İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN VE GÜNCEL YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU İLE İSG PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR MODEL

DOKTORA TEZİ

Nur Efşan ERUSTA

Mimarlık Anabilim Dalı

Proje ve Yapım Yönetimi Programı

TEMMUZ 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN VE GÜNCEL YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU İLE İSG PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR MODEL

DOKTORA TEZİ

Nur Efşan ERUSTA
(502182437)

Mimarlık Anabilim Dalı

Proje ve Yapım Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Begüm SERTYEŞİLIŞIK

TEMMUZ 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

A CONCEPTUAL MODEL TOWARDS SOLUTION OF OHS PROBLEMS THROUGH ADAPTATION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES AND CONTEMPORARY IA TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ph.D. THESIS

Nur Efsan ERUSTA
(502182437)

Department of Architecture

Project and Construction Management Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Begum SERTYESILISIK

JULY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502182437 numaralı Doktora Öğrencisi Nur Efşan ERUSTA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN VE GÜNCEL YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU İLE İSG PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR MODEL" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Begüm SERTYEŞİLIŞIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Bahriye İLHAN JONES** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gamze ALPTEKİN .....
İstanbul Kültür Üniversitesi

Doç. Dr. Fatma Pınar ÇAKMAK .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sema ERGÖNÜL .....
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Mayıs 2025
Savunma Tarihi : 07 Temmuz 2025

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu doktora tez çalışması boyunca beni destekleyen, değerli zamanını, bilgi ve tecrübelerini her zaman paylaşan ve yol gösteren, akademik geleceğime ışık tutan tez danışmanım sevgili Prof. Dr. Begüm SERTYEŞİLIŞIK'a,

Değerli geri bildirimleri, destekleyici ve motive edici katkılarından dolayı çekirdek jüri üyeleri Doç. Dr. Bahriye İLHAN JONES ve Doç. Dr. Gamze ALPTEKİN'e, tez savunma jürimdeki katkılarından dolayı ve Prof. Dr. Sema ERGÖNÜL'e ve Doç.Dr. Fatma PINAR ÇAKMAK'a,

Her zaman ve her koşulda sevgilerini, desteklerini hissettiğim canım ailem, annem Hülya ERUSTA, babam Metin ERUSTA ve kardeşim Ecmel ERUSTA'ya,

Tez çalışmam sırasında özellikle veri toplama kısmında sosyal medya aracılığı ile ulaştığım, kapısını çaldığım bana büyük bir içtenlikle yardım etmek isteyen ve zaman ayıran, tecrübelerini büyük bir özveri ile paylaşmaktan çekinmeyen tüm katılımcılara,

İçtenlikle teşekkür ederim.

Mayıs 2025

Nur Efşan ERUSTA
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ……ix
İÇİNDEKİLER xi
KISALTMALAR..... xiii
SEMBOLLER xv
ÇİZELGE LİSTESİ..... xvii
ŞEKİL LİSTESİ..... xix
ÖZET ……xxiii
SUMMARY xxvii
1. GİRİŞ ……1
1.1 Çalışmanın Arka Planı ve Problemin Belirlenmesi..... 1
1.2 Çalışmanın Amaç, Hedef ve Yöntemleri 4
1.3 Tez Çalışmasının İçeriği..... 6
2. LİTERATÜR TARAMASI 9
2.1 İnşaat sektöründe İSG problemleri..... 9
2.2 İnşaat sektöründe İSG Problemlerinin Çözümüne Yönelik Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Güncel Yenilikçi Yaklaşımlar 16
2.3 Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Güncel Yenilikçi Yaklaşımların İnşaat Sektöründe İSG'ye Entegrasyonu..... 21
2.3.1 Engeller ve kritik başarı faktörleri 21
2.3.2 Yeterlilikler 27
2.3.3 OSHA standartları..... 34
2.3.4 Olgunluk modelleri 39
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ..... 43
3.1 Anket Çalışması 53
3.2 Delphi Çalışmaları..... 55
3.3 Mülakat Çalışması..... 60
4. BULGULAR 63
4.1 Anket Çalışmasının Bulguları 63
4.2 Delphi Çalışmalarının Bulguları 90
4.2.1 Engeller ve KBF'lere yönelik bulgular..... 90
4.2.2 Yeterliliklere yönelik bulgular 97
4.3 Mülakat Çalışmasının Bulguları..... 101
5. TARTIŞMA 113
5.1 İS'de İSG4.0 İçin Tüm PYD'nin İncelenmesine Yönelik Bulguların Tartışılması..... 114
5.2 Engeller ve Kritik Başarı Faktörlerine Yönelik Bulguların Tartışılması 132
5.3 Yeterliliklere Yönelik Bulguların Tartışılması..... 134
5.4 OSHA Standartlarına Yönelik Bulguların Tartışılması..... 138
5.5 Oluşturulan Kavramsal Modelin Olgunluk Modelleri ile Entegrasyonuna Yönelik Bulguların Tartışılması..... 139

5.6 Oluşturulan Kavramsal Modelin Tartışılması 142
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 149
KAYNAKLAR 161
EKLER ……183
ÖZGEÇMİŞ 195

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AG : Arttırılmış Gerçeklik

BGT : Bilgisayarla Görme Teknolojileri

ÇZ : Çoklu Zeka

ÇY : Çevik Yönetim

ÇZT : Çoklu Zeka Teorisi (*Multiple Intelligence Theory*)

DÇ : Delphi Çalışması

DF : Dijital Fabrikasyon *(Digital Fabrication)*

DÖ : Derin Öğrenme

DZ : Duygusal Zeka

E4.0 : Endüstri 4.0

E4T : Endüstri 4.0 Teknolojileri

ENG : Engel

GZRFT : Gerçek Zamanlı Radyo Frekansı Tanımlama (*Real time radio frequency identification- RFID*)

GYY : Güncel Yenilikçi Yaklaşım

GT : Giyilebilir Teknolojiler

HSE : İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (*Health and Safety Executive*)

ITvUT : Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini *(Light Detection and Ranging-LIDAR)*

IA : Innovative Approach (Yenilikçi yaklaşımlar)

IQ : Zeka katsayısı *(Intelligence Quotient)*

İHA : İnsansız Hava Aracı

İÖGP : İnşaat Öncesi Güvenlik Planlaması

İPYD : İnşaat Proje Yönetimi

İPYD : İnşaat Proje Yaşam Döngüsü

İS : İnşaat Sektörü

İSG : İş Sağlığı ve Güvenliği

İSG4.0 : İş Sağlığı ve Güvenliği 4.0

İK : İnsan Kaynakları

İKY : İnsan Kaynakları Yönetimi

İKY4.0 **:** İnsan Kaynakları Yönetimi 4.0

İTÜ **:** İstanbul Teknik Üniversitesi

JIT **:** Tam Zamanında Üretim *(Just in-time)*

KBF **:** Kritik Başarı Faktörü

KKE **:** Kişisel Koruyucu Ekipman

KOBİ **:** Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler

KSA **:** Kablosuz Sensör Ağı

MMİ **:** Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat

MÖ **:** Makine Öğrenmesi

Ni **:** Nesnelerin İnterneti

OSHA **:** İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (*Occupational Safety and Health Administration*)

OSHAS **:** İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu Standartları

OM **:** Olgunluk Modeli (*Maturity Model)*

PMBOK **:** Proje Yönetimi Bilgi Birikim Klavuzu

PYD **:** Proje Yaşam Döngüsü

Ro **:** Robotik

SAT **:** Üniversite Giriş Sınavı *(Scholastic assesment/aptitude test)*

SG **:** Sanal Gerçeklik

SPSS® **:** Statistical Package for the Social Science

Sim **:** Simülasyon

TKY **:** Toplam Kalite Yönetimi

YBM **:** Yapı Bilgi Modelleme *(Building Information Modelling)*

YSA **:** Yapay Sinir Ağları

YTK **:** Yeterlilik

YY **:** Yalın Yönetim

YZ **:** Yapay Zeka

ZKT **:** Zeka Tipi

3D **:** Üç Boyutlu Baskı

SEMBOLLER

m	**:** Ortalama Değer
p	**:** Sigma Değeri
ss	**:** Standart Sapma
N	**:** Öge Sayısı
%	**:** Yüzde değeri
CO_2	**:** Karbondioksit
C°	**:** Santigrat
F	**:** Fahrenhayt

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tez kapsamında incelenen İSG riskleri **10**
Çizelge 2.2 : Engel ve KBF'lere yönelik literatür özeti **26**
Çizelge 2.3 : Yeterliliklere yönelik literatür özeti **34**
Çizelge 3.1: Tezin amacı ve hedeflerine yönelik olarak kullanılan nitel ve nicel araştırma yöntemleri **48**
Çizelge 4.1 : Anket çalışmasına yönelik güvenilirlik analizlerinin sonuçları **63**
Çizelge 4.2 : Anket çalışmasının birinci (oluşum sıklığı) ve ikinci (kök neden) soru grubunun verilerinin karşılaştırılmasına yönelik *Spearman*'ın korelasyon analizi bulguları -EK A 1&2) **73**
Çizelge 4.3: OSHA'nın en sık atıfta bulunulan 10 standardının tanımlayıcı istatistikleri **89**
Çizelge 5.1: Çalışma kapsamında İSG risklerinin dört ana kategori altında incelenmesi **115**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Araştırma yönteminin akış diyagramı **5**
Şekil 1.2 : Tezin akış diyagramı **6**
Şekil 3.1 : Tezin hedeflerine yönelik kullanılan araştırma yöntemlerinin akış şeması **49**
Şekil 3.2 : Tez çalışmasının akış şeması..... **51**
Şekil 3.3 : Araştıma yöntemlerinin kavramsal modelin oluşturulmasına yönelik kullanımı **52**
Şekil 3.4 : Anket çalışmasına yönelik soru gruplarının içeriği..... **54**
Şekil 3.5 : Anket çalışmasına yönelik katılımcı bilgileri..... **54**
Şekil 3.6 : Delphi çalışmalarının akış grafiği **56**
Şekil 3.7 : Birinci delphi çalışmasının (engeller) katılımcılarının özellikleri **57**
Şekil 3.8 : İkinci delphi çalışmasının (KBF) katılımcılarının özellikleri **58**
Şekil 3.9 : Üçüncü delphi çalışmasının (yeterlilikler) katılımcılarının özellikleri **58**
Şekil 3.10 : Mülakat çalışması katılımcılarının özellikleri..... **61**
Şekil 4.1 : İSG problemlerinin İPYD'nin fazlarında görülme sıklığı..... **65**
Şekil 4.2 : Katılımcı profillerinin risklerin ilgili fazlarda görülme sıklığına verdikleri cevaplara yönelik bulgular..... **67**
Şekil 4.3 : İSG problemlerinin kök nedenlerinin İPYD'nin hangi aşamasında yapılan eksikliklerden kaynaklandığına yönelik bulgular..... **69**
Şekil 4.4 : Katılımcı profillerinin risklerin ilgili fazlarda kök nedenlerinde yapılan eksiklikleri hakkında verdikleri cevaplara yönelik bulgular..... **70**
Şekil 4.5 : İSG risklerinin E4T&GYY ile entegre olarak çözülebilme potansiyeline yönelik bulgular (EK A, 3) **76**
Şekil 4.6 : İSG risklerinin E4T&GYY'ler ile çözülebilme potansiyelinin araştırılmasına yönelik t-test bulguları (EK A, 3)..... **78**
Şekil 4.7 : E4T&GYY'lerin, İPYD'in fazları ile ilişkisi (EK A, 4) **80**
Şekil 4.8 : E4T&GYY'lerin, İPYD'in fazları ile ilişkisine yönelik t-test bulguları (EK A, 4) **82**
Şekil 4.9 : Literatürden sentezlenen çalışma alanlarının İS'de İPYD'nin fazları boyunca İSG problemlerine çözüm olma potansiyeline yönelik bulgular (EK A, 5)..... **83**
Şekil 4.10 : Literatürden sentezlenen çalışma alanlarının İS'de İPYD'nin fazları boyunca İSG problemlerine çözüm olma potansiyeline yönelik verilerin çarpıklık ve basıklık test sonuçları..... **84**
Şekil 4.11 : Anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerine yönelik bulgular (EK A, 5**)** **86**
Şekil 4.12 : Anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerine yönelik yapılan t-test analizinin sonuçları (EK A, 5) **88**
Şekil 4.13 : Engelleri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. turlarının bulguları **92**

Şekil 4.14 : KBF'leri belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. turlarının verilerine yönelik bulguları **94**
Şekil 4.15 : Engellere ve KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'lerin bulgularının özeti **96**
Şekil 4.16 : Yeterlilikleri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. tur verilerine yönelik bulguları (1.kısım) **97**
Şekil 4.17 : Zeka tiplerini belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin 1.,2., 3. ve 4. tur verilerine yönelik bulguları (2.kısım) **99**
Şekil 4.18 : Üçüncü DÇ'nin bulgularının özeti **100**
Şekil 4.19 : Yeterlilikler ve zeka tiplerini belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin mülakat bulguları **105**
Şekil 4.20 : İS'de İSG problemlerinin E4T ve GYY'ler ile çözümüne yönelik öneri kavramsal model **111**
Şekil 5.1 : Tez kapsamında incelenen İSG risklerinin en çok çözülebilme potansiyelinin bulunduğu E4T&GYY **116**
Şekil 5.2 : Sözleşme-ihale aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **117**
Şekil 5.3 : Tasarım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **119**
Şekil 5.4 : Mobilizasyon aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **121**
Şekil 5.5 : Yapım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **122**
Şekil 5.6 : Demobilizasyon aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **123**
Şekil 5.7 : Bakım-onarım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **124**
Şekil 5.8 : Yıkım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY **125**
Şekil 5.9 : İPYD öneri odak risk grupları ve E4T ve GYY'ler ile potansiyel entegrasyonuna yönelik yol haritası **128**
Şekil 5.10 : Engeller ve KBF'lerin bulgularının tartışılması **133**
Şekil 5.11 : E4T'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu (engeller, KBF'ler, yeterlilikler) **136**
Şekil 5.12 : OSHA Standartları, E4T'ler ve İS arasındaki ilişki **139**
Şekil 5.13 : İS'de İSG4.0 öneri olgunluk modeli **140**
Şekil 5.14 : Oluşturulan kavramsal model **143**
Şekil 6.1 : E4T'lerin ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal model. **151**
Şekil A.1 : Anket çalışmasına yönelik bilgilendirme ve kişisel sorular **184**
Şekil A.2 : Anket çalışmasının birinci soru grubu (İSG riskleri & oluşum sıklığına ilişkin İPYD fazları) (EK A, 1) **185**
Şekil A.3 : Anket çalışmasının ikinci soru grubu (İSG riskleri & kök nedenlere ilişkin İPYD fazları) (EK A, 2) **187**
Şekil A.4 : Anket çalışmasının üçüncü soru grubu (İSG riskleri & E4T'ler ve GYY'ler) (EK A, 3) **189**
Şekil A.5 : Anket çalışmasının dördüncü soru grubu (E4T'ler ve GYY'ler & İPYD fazları) (EK A, 4) **191**
Şekil A.6 : Anket çalışmasının beşinci soru grubu (Literatürden elde edilen ana başlıklar& İPYD fazları) (EK A, 5) **192**
Şekil A.7 : Anket çalışmasının altıncı soru grubu (İfadelere katılım derecesi) (EK A, 6) **193**

Şekil A.8 : Anket çalışmasının yedinci ve sekizinci soru grubu (OSHA standartları) (EK A, 7 & EK A, 8) **194**

ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN VE GÜNCEL YENLİKÇİ YAKLAŞIMLARIN İNŞAAT SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU İLE İSG PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR MODEL

ÖZET

İnşaat sektörü (İS), düşük performans gösteren İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamaları ile bilinmekte olup İS, kazaların ve ramak kala olayların olumsuz etkilerini deneyimlemektedir. Kazalar ve ramakkala olaylar, İS'de süre, maliyet, kalite, şirket prestiji vs. gibi bir çok konuda da çeşitli problemleri beraberinde getirmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı, İS'deki verimsizlik kalemlerinden olan İSG problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. İS, kaza ve ramak kala olayların olumsuz sonuçlarından önemli derecede etkilendiği için İSG problemlerinin çözümüne yönelik çalışmaların yapılması, İS'deki İSG problemlerinin iyileştirilmesi için önemli olabilir. Endüstri 4.0 teknolojileri (E4T) ve yalın, çevik, toplam kalite yönetimi (TKY) gibi güncel yenlikçi yaklaşımlar (GYY), İS'deki İSG problemlerini çözebilmek için destek olmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasının amacı, E4T'ler ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik, kavramsal bir model oluşturmaktır. Bu tez çalışmasının amacına ulaşabilmesi için altı adet hedef belirlenmiştir. İlk hedef, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak E4T'lerin kullanıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar için girdi sağlamaktır. İkinci hedef, İS'deki tüm proje yaşam döngüsünü (PYD), İSG açısından inceleyerek, E4T'lerin ve GYY'lerin entegrasyonuna yönelik öneriler sağlamaktır. Tez çalışmasının üçüncü hedefi, inşaat proje yönetiminin (İPY) bütün süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına ve doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine ve bu konudaki yeterliliklerin belirlenmesine yönelik araştırma yapmaktır. Tez çalışmasının amacına ulaşabilmesi için belirlenen dördüncü hedef ise, literatürdeki mevcut olgunluk modellerini ve İS'de İSG4.0 için kullanım alanlarını araştırmaktır. Tez çalışmasının beşinci hedefi, kavramsal modeli oluşturmak olup, son hedefi ise, kavramsal modeli doğrulamak ve test etmektir.

Çalışmanın amacına ulaşılabilmesi çeşitli araştırma yöntemleri (literatür taraması, anket, delphi çalışmaları ve mülakat çalışması ile uzman görüşlerinin alınması) kullanılmıştır. Literatür taraması, tezin tüm hedeflerine yönelik olarak yapılmıştır. Literatürden elde bulgular ve bulguların sentezi, bu tezin amacına yönelik olarak belirlenen birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü hedeflere ulaşmak için kullanılan araştırma yöntemi olan anket çalışmasında girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın üçüncü hedefine ulaşabilmesi için ise anket çalışmasına ek olarak, birbirine paralel ve

her biri dört turdan oluşmak üzere üç adet delphi çalışması yapılmıştır. İlk dört hedefe yönelik olarak yapılan tüm araştırma yöntemlerinin bulguları, birleştirildikten sonra, bir kavramsal model oluşturulmuştur. Oluşturulan kavramsal model, tezin beşinci ve altıncı hedefine yönelik olarak, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca doğrulanmış ve test edilmiştir. Tüm çalışmaya yönelik olarak açık uçlu genel değerlendirme mülakatı yapılmıştır. Mülakat sırasında uzmanlardan, önerilen modelin faydalı yönleri, eksik yönleri, geliştirilmesi gereken noktaları, genel olarak yorumları, nasıl yaygınlaştırılabileceği, nasıl faydalı olabileceği, genel düşünceleri, değerlendirmeleri, önerileri ve kritik düşüncelerin alınması, güncel yenilikçi yaklaşımlar (örn; yalın, çevik, TKY) ile entegre olabilme potansiyeline yönelik görüşleri alınmıştır.

Anket çalışması, literatür tabanlı olarak belirlenen İSG risklerinin inşaat PYD boyunca görülme sıklıklarını, ilgili İSG risklerinin kök nedenlerinin, inşaat sektöründeki hangi aşamada yapılan eksikliklerden kaynaklandığını, ilgili İSG risklerinin hangi endüstri 4.0 teknolojileri ve güncel yenilikçi yaklaşımlar ile çözülebilme potansiyelinin en çok olduğunu, ilgili E4T'ler ve GYY'lerin proje yaşam döngüsünün hangi fazına en çok entegre olarak İSG problemlerini çözebileceğini, literatürden elde edilen çalışma başlıklarının (örneğin; güvenlik izleme), PYD'nin çeşitli aşamalarına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelini, literatürün sentezi sonucu elde edilen ifadelerin ağırlıklandırılmasını, E4T ve GYY'lerin olgunluk modellerine entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelini, ve OSHA standartlarının E4T'ler ile entegre olabilme potansiyelinin araştırılmasına yönelik yapılmıştır. Anket çalışmasının bulguları, E4T ve GYY'lerin, İPY'nin bütün süreçlerine adapte olarak, İSG problem ve risklerinin çözümü için destek olabilme potansiyelini ortaya çıkarmıştır. İS'nin iyi olmayan İSG performansı, İS'nin güncel E4T'leri etkin bir şekilde adapte edilebilmesi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Çalışmanın üçüncü hedefine yönelik olarak yapılan birbirine paralel olarak yürütülen ve herbiri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışmasının ilki, İSG4.0 (İş Sağlığı ve Güvenliği 4.0)'ın İS'ye adaptasyonu için karşı engelleri, ikincisi kritik başarı faktörlerini (KBF), ve üçüncüsü ise yeterlilikleri belirlemek için yapılmıştır. Literatür, anket ve delphi çalışmalarına yönelik tüm bulgular birleştirilerek kavramsal model oluşturulmuş ve mülakat çalışmaları sırasında İSG uzmanlarının kavramsal modele yönelik görüşleri alınmış ve model doğrulanmıştır.

Mülakat çalışması, literatür çalışmasının bulgularını desteklemektedir. Literatür çalışmasının sonucunda, E4T ve GYY'lerin İS'deki İSG sorunlarının tüm PYD boyunca çözümünü desteklediği görülmüştür. Literatür çalışması, E4T'lerin İSG sorunlarını güncel literatürde nasıl ele aldığını incelemekte ve gelecek çalışmalara ilişkin yön belirtmektedir. Literatür tabanlı olarak yapılan anket çalışmasının bulguları, mülakatlar sırasında uzmanlarca doğrulanmıştır.

Anket çalışmasının bulgularına yönelik olarak yapılan mülakat çalışmasında uzmanlar, anket çalışmasına yönelik tüm bulguları doğrulamışlardır. İS'deki İSG risklerini ve güncel literatüre uygun olarak özellikle seçilen 33 adet İSG riskini, 4 kategori altında (hastalıklar ile ilgili olan, yönetimsel, hareketlerden kaynaklanan, çalışma koşullarından kaynaklanan) incelenmesinin faydalı olabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca anket çalışmasının bulgularına yönelik olarak yapılan mülakat çalışmasında uzmanlar, İS'de İSG problemlerini çözebilmeye yönelik odak risk gruplarını tüm PYD boyunca belirleyerek, bir yol haritası sunulmasını desteklemişlerdir. İSG risklerinin E4T'lerden en çok robotik, Makine öğrenmesi, bilgisayar ile görme teknolojileri, giyilebilir teknolojiler ile GYY'lerden ise en çok TKY ile çözülebilme potansiyelinin bulunabileceği, anket çalışmasının önemli

bulguları arasındadır. Anket çalışması İS'de İSG problemlerini en iyi şekilde çözebilmek için odak risk gruplarını, PYD'nin her fazı özelinde belirleyerek, hangi E4T'ler ve GYY'ler ile entegre olarak çözülebileceğine yönelik literatüre ve profesyonel çalışma hayatına bir yol haritası sunmuştur.

Engelleri ve kritik başarı faktörlerini (KBF) belirlemeye yönelik olarak yapılan delphi çalışmalarının bulguları, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca doğrulanmıştır. 15 adet engel faktörü ve 13 adet KBF delphi çalışmasının dördüncü tur bulguları olarak ortaya koyulmuştur. Uzmanlar ayrıca her iki DÇ'nin sonuçlarının birlikte yorumlanmasının önemine dikkat çekmişlerdir. Belirtilen dört turluk iki grup DÇ ve çalışmaların bulgularına yönelik yapılan mülakat çalışmasının sonuçları, maliyet, insan kaynakları (İK) ve yönetim gibi birbiri ile ilişkili üç temel kategoride engelleri ve KBF'leri değerlendirmiştir.

İS'de İSG4.0 için gerekli yeterlilikleri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin bulguları, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca doğrulanmıştır. DÇ'nin ilk kısmı, İS'ye İSG4.0'ın adaptasyonunu desteklemek için profesyonellerin sahip olması gereken yeterlilikleri belirlerken, DÇ'nin ikinci kısmı, İS'de İSG4.0'ın adaptasyonunu desteklemek için sahip olunması gereken zeka türlerini Howard Gardner'ın Çoklu Zeka Teorisi (ÇZT)'ni temel alarak belirlemiştir. DÇ bulgularını doğrulatmak üzere yapılan mülakat çalışmasında uzmanlar delphi çalışmasının bulgularını da onaylamışlar ve zeka türleri ile yeterlilikler arasındaki ilişkiler konusunda görüşlerini paylaşmışlardır. Yeterlilikler, İK literatürüne dayanarak teknik, metodolojik, kişisel, yönetsel olmak üzere dört temel kategori altında incelenmiştir.

İş sağlığı ve güvenliği standartları (İSGS), İS'de İSG performansını artırmak için yol gösterici bir rol oynayabilir. Standartların, İS'deki İSG ile ilgili değişen ihtiyaçlar, teknolojiler ve gereklilikler doğrultusunda güncellenmesi, standartların güncelliğini koruması açısından önemli olduğu düşünülmektedir. İS'de İSG 4.0 için, E4T entegrasyonu önemli olabileceğinden, İSGS'yi yeniden düşünmek ve incelemenin gerekli olabileceği görülmüştür. İncelenen 10 OSHA standardının bulguları, İS'deki İSG'ye E4T'leri adapte edebilme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Tez kapsamında yapılan mülakat çalışmasının bulguları, İS'de İSG4.0 için olgunluk modellerinden destek alınması potansiyelini vurgulamıştır. Literatür incelendiğinde, olgunluk modellerinin proje yönetiminde, İS'de, İPY'de ve İSG'de çeşitli kullanım alanlarının olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, İS'de İSG4.0'ın adaptasyonuna yönelik olgunluk modellerinin kullanılabilme potansiyelinin olduğu görülmüştür. Uzmanların da önerileri doğrultusunda, bu tez çalışmasının bulgularını içeren bir İSG4.0 olgunluk ölçeği geliştirilmiştir. Firmalar, kendi İSG4.0 olgunluk seviyelerini tez kapsamında önerilen olgunluk ölçeği ile belirleyebilir ve bir sonraki olgunluk seviyesine geçebilmek için stratejiler planlayabilir.

Tez çalışmasının amacına ulaşması için belirlenen hedefe yönelik olarak tüm araştırma yöntemlerinin bulguları, İS'de İSG4.0 için bir kavramsal modelin girdileri olarak değerlendirilmiştir. Önerilen kavramsal model, İS'de İSG4.0 adaptasyonunu sağlamak için yol gösterici olarak düşünülmüştür. Bu doktora tez çalışması ile oluşturulan kavramsal modelin, İS'de İSG profesyonelerine, mimar ve mühendislere, İK'ya, işyeri sahiplerine, proje yöneticileri gibi tüm İS paydaşlarına faydalı olacağı düşünülmektedir.

A CONCEPTUAL MODEL TOWARDS SOLUTION OF OHS PROBLEMS THROUGH ADAPTATION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES AND CONTEMPORARY IA TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY

SUMMARY

As accidents and near-misses experienced in construction industry can have adverse consequences and can cause problems in various aspects (e.g. time, cost, quality, company reputation). Studies are needed to solve the problems related to occupational health and safety (OHS) in construction industry as studies on eliminating these OHS problems can contribute to the improvement in the OHS practices in construction industry.

The aim of this PhD dissertation is to develop a conceptual model towards solving OHS problems through adoptation of I4Ts and contemporary innovative approaches (IA) to construction industry. With this aim, six objectives were determined and appropriate research methods were planned for each objective. The first objective was to examine literature with respect to studies on the use of I4Ts for the solution of OHS problems and to provide insight to future studies. The second objective was to develop recommendations for the integration of I4Ts and OHS through examining the entire life-cycle of construction projects from the OHS perspective. The third objective was to identify the competencies of construction industry professionals so that all stakeholders can participate effectively to all stages of construction project management and technology is used and integrated appriopriately. The fourth objective was to examine the maturity models in litereature and to investigate the areas of use of these models in relation to the OHS practices in construction industry. The fifth and sixth objectives were to create and validate the conceptual model to be developed within the scope of the thesis.

Various research methods (literature review, questionnaire survey, delphi studies, interview study) were used to achieve the aim of the study. The literature review was conducted for all objectives of the thesis. The findings obtained from the literature and the synthesis of the findings were used as input to the questionnaire survey, which is the research method used to achieve the first, second, third and fourth objectives. In order to achieve the third objective of the study, in addition to the questionnaire survey, three Delphi studies were conducted in parallel, each consisting of four rounds. A conceptual model was created based on the findings of all research methods conducted fulfilling the objectives of this research. The conceptual model created was validated by experts during the interview study for the fifth and sixth objectives of the thesis. An open-ended general evaluation interview was conducted for the entire study.

The findings of the questionnaire survey revealed the potential of I4Ts and IAs to support the solution of OHS problems and risks by adapting to all processes of construction project management. The poor OHS performance of construction industry brings about the need for construction industry to effectively adapt the current I4Ts.

The first of the three parallel Delphi studies, each consisting of four rounds, conducted for the third objective of the study, was conducted to determine the barriers, the second to identify the critical success factors (CSF), and the third to determine the competencies for the adaptation of OHS4.0 (Occupational Health and Safety 4.0) to construction industry. The conceptual model was created by combining all findings of the literature, questionnaire survey and Delphi studies. Furthermore, the opinions of OHS experts on the conceptual model were obtained during the interview studies and the model was validated.

The interview study supports the findings of the literature study. As a result of the literature study, it was seen that I4Ts and IAs supported the solution of OHS problems in construction industry throughout the entire project life-cycle. The literature study examines how I4Ts can address OHS problems in the current literature. The findings of the literature review-based questionnaire survey were confirmed by experts during the interviews.

In the interview study conducted regarding the findings of the questionnaire survey, experts confirmed all findings of the questionnaire survey. Interviewees emphasized that it would be useful to examine the OHS risks and 33 OHS risks specifically selected in accordance with the current literature under 4 categories (i.e. related to diseases, administrative, arising from actions, arising from working conditions). Furthermore, experts supported the presentation of a road map by determining the focal risk groups for solving OHS problems in construction industry throughout the entire project life-cycle. Furthermore, the potential solution of OHS risks provide through I4Ts (mostly robotics, machine learning, computer vision technology, wearable technologies) and IAs (especially TQM). The survey study determined the focal risk groups for each phase of PLC in order to solve OHS problems in OHS and presented a potential road map to the literature and professional working life regarding which I4Ts they can be solved in an integrated way.

The findings of the Delphi studies (DSs) conducted to determine the barriers and critical success factors were confirmed by the experts during the interview study. 15 barrier s and 13 CSFs were revealed as the fourth round findings of the Delphi study. The experts also drew attention to the importance of interpreting the results of both barriers and CSFs together. The results of the interview study conducted on the findings of the two four-round DSs and evaluated the barriers and CSFs under three basic categories related to each other (i.e. cost, human resources (HR) and management).

The findings of the DS conducted to identify the competencies for OHS4.0 in CI were confirmed by experts during the interview study. While the first part of the DS determined the competencies that professionals should have to support the adaptation of OHS4.0 to CI, the second part of the DS identified the types of intelligence that professionals should have to support the adaptation of OHS4.0 to CI based on Howard Gardner's Multiple Intelligence Theory (MIT). During the interviews conducted to verify the DS findings, experts also confirmed the findings of the third DS and shared their views on the relationships between intelligence types and competencies.

Competencies were examined under four basic categories based on HR literature: technical, methodological, personal, and managerial. The findings supported that the adaptation of OHS4.0 to OHS can be enhanced in line with the determined competencies and intelligence types.

As the integration of I4Ts especially in the context of OHS 4.0 is important, and as there is need for reconsidering and evaluating the existing OHS standards, the 10 OSHA standards examined reveal the potential of I4Ts in terms of integration into OHS processes in construction industry and offer various suggestions for the future in this context.

As the literature review on the maturity models is being widespread and as these models are being widely used in various fields (e.g. project management, construction industry, construction project management, OHS), there is a potential for the use of maturity models in the adaptation process of OHS 4.0 in CI. The findings of the interview study conducted within the scope of the thesis emphasized the potential of receiving support from maturity models for OHS4.0 in OHS. When the literature is examined, it is seen that maturity models have various areas of use in project management, construction sector, construction project management and OHS. In this direction, it is seen that maturity models have the potential to be used for the adaptation of OHS4.0 in OHS. In line with the suggestions of the experts, an OHS4.0 maturity scale that includes the findings of this thesis study has been developed. Companies can determine their OHS4.0 maturity levels considering the preliminary maturity scale suggested within the scope of the thesis and plan strategies to move to the next maturity level as potential inputs.

In order to achieve the aim of this research, the findings of all research methods were evaluated as inputs to the conceptual model for OHS4.0 in construction industry. The proposed conceptual model is considered to be a preliminary guide to support OHS4.0 adaptation in construction industry. This conceptual model can be useful for all OHS stakeholders (e.g. OHS professionals, architects, engineers, HR, business owners, and project managers) in construction industry.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Arka Planı ve Problemin Belirlenmesi

İnşaat sektörü (İS), ülkelerin kalkınmaları için gereken süreçte önemli bir rol almaktadır (Nawi ve diğ., 2016). Ancak, İS, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) problemlerini günümüzde hala yaşamaya ve sonuçlarından olumsuz etkilenmeye devam etmektedir. İS, tehlikeli çalışma ortamlarını bir arada barındırdığından ciddi yaralanmaların ve ölümlerin yaşandığı tehlikeli bir sektör olarak bilinmektedir (Ramos-Hurtado ve diğ., 2022; Alkaissy ve diğ., 2023; Cangan, 2019; Angelia ve diğ., 2021; Kurien ve diğ., 2018; Nawi ve diğ., 2016; Hamdan ve Awang, 2015; Vignoli ve diğ., 2021). Ayrıca, İS, diğer sektörler ile kıyaslandığında İSG koşullarında iyileştirmeye olan daha fazla ihtiyacı ile bilinmektedir (Kukoyi ve Smallwood, 2017). Şantiyelerde yaralanma ve ölümlerin görülme oranlarının fazlalığı, inşaat süreçlerinde bulunan risklerin durumunu gözler önüne sermektedir (Awolusi ve diğ., 2019). Nnaji ve Karakhan (2020), diğer endüstrilere kıyasla İS'de işçi yaralanmaları ve ölüm oranlarının daha yüksek olduğunu bildirmiştir. İS, tüm sektörlerin ortalamasının neredeyse beş katı olan yüksek yaralanma oranına sahip olması nedeni ile, İS'deki İSG ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir (Hallowell, 2009). Örneğin, Cho ve diğ. (2018), çalışmasında, İS çalışanlarının iş ile ilgili kas-iskelet sistemi bozukluklarına bağlı olarak yaşadıkları problemlerin diğer meslek gruplarına kıyasla, daha sık olarak erken emekli olduklarının altını çizmiştir. Ayrıca, Akram ve diğ. (2019), İSG yönetimi uygulamalarındaki problemlerin, İS'nin itibarına da zarar verdiğini belirtmiştir. Zhang ve diğ. (2020a), İS'nin, kaza önleme ile ilgili olarak problemler yaşamaya devam ettiğini vurgulamıştır. Son çalışmalar, İS'de İSG performansında son zamanlarda iyileştirmeler yaşandığını göstermesine rağmen, yaralanma oranlarının yine de yüksek seviyede olduğunu ortaya koymuştur (Tixier ve diğ., 2014). Ancak, dünyadaki tüm şantiyelerde sıfır kazayı sağlamak ve inşaat işçilerinin güvenliğini sağlamak birincil derecede gösterilen sosyal bir sorumluluktur (Patel ve Jha, 2015).

İS'de İSG'nin iyileştirilmesi için proje yaşam döngüsü (PYD)'nin inşaat öncesi, inşaat ve inşaat sonrası olmak üzere tüm aşamalarının bütüncül bir şekilde ve bir arada değerlendirilmesi önemli olabilir. Örneğin, Pereira ve diğ. (2018), PYD boyunca İSG başarısı üzerindeki birden fazla kararın etkisini güvenilir bir şekilde değerlendirebilen vaka tabanlı kavramsal bir yaklaşım önermiştir. Lin ve Cheung (2020), önerdikleri Yapı Bilgi Modelleme (YBM) (*Building Information Modeling, BIM*) modelinin PYD'nin tüm aşamalarına adapte edilebileceğini vurgulamıştır. İlgili çalışmalar PYD'nin tüm aşamalarında İSGyi vurgulamasına rağmen yalnızca belirli teknolojileri ele almışlardır. PYD'nin tamamı üzerinde ve tüm güncel E4T'lerin bir arada ele alındığı çalışmalara ihtiyaç vardır. PYD'nin tüm aşamalarını dikkate alarak gelecek çalışmaların kurgulanması önemlidir çünkü kaza ve ramakkala olayların herbiri İS'de İSG problemlerine yol açabilir. Ayrıca, PYD'nin her aşamasında en çok görülen risk grupları farklılaşabileceğinden, İSG sorunlarını çözebilmek için gereken en etkin teknolojiler de farklı olabilir. Ayrıca, PYD'nin tüm aşamalarında en çok yaşanan riskleri belirlemek, bu riskleri çözebilme potansiyeli olan anahtar teknolojileri belirlemek, risklerin ve teknolojilerin birbirleri ile olan bütüncül etkilerini ele almak önemli olabilir. Ayrıca, Lombardi ve diğ. (2019), yasal yönetmeliklerin giderek daha da sıkı hale gelmesine rağmen İS'deki kaza oranlarının yine de kaydadeğer bir şekilde azalmadığına dikkat çekmiştir. Lombardi ve diğ. (2019), kazaları analiz etmek ve kazaların kök nedenlerini belirlemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmenin, İSG problemlerine yönelik daha etkili önleme politikalarının ve stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlayabileceğini ifade etmiştir.

Endüstri 4.0'deki (E4.0) gelişmeler, inşaat 4.0'ı meydana getirmekte ve inşaat projelerinin (İP) yönetim süreçlerini yeniden gözden geçirmesini sağlamaktadır (Perrier ve diğ., 2020). İS'de İSG sorunlarının çözümü için önerilerin geliştirilmesine olan ihtiyaç, İS'ye entegre edilen E4T'ler, İSG sorunlarının, kazaların ve ramakkala olayların yok edilmesine/en aza indirilmesine destek olma potansiyeline sahip olabilir. E4T'ler, İSG problemlerine yönelik bir çözüm yolu olarak sunulmaya devam ettikçe (Nnaji ve Karakhan, 2020), İS, E4T'ler aracılığı (Suferi ve Rahman, 2021) ile birçok avantaj sağlayabilir. İS, en az dijitalleşmiş endüstrilerden biri olarak kabul edilmekte (Bademosi ve diğ., 2018) ve E4T'lerin adaptasyonunun önünde bir çok engel olduğu bilinmektedir (Taher, 2021). Önceki çalışmalar, inşaat sektöründe İSG yönetimi için teknoloji kullanımını sınırlayan faktörler ile ilgili gelecek çalışmalara olan ihtiyacı

vurgulamıştır (Nnaji ve Karakhan, 2020). Birçok çalışma (örneğin, Bhatia ve Kumar, 2020; Nwaiwu ve diğ., 2019) kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ile ilgili gelecek çalışmaların gerekliliğine dair vurgu yaparken, bazı çalışmalar ise (örneğin, Sony ve diğ. 2021), hem engellerin hem de KBF'lerin birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğine değinmiştir.

Dijitalleşmenin yaygınlaşması ile birlikte, İS'de ve tüm sektörlerde istihdam ve beceriler üzerinde önemli bir etkiyi de beraberinde getireceği tahmin edilmektedir (Störmer ve diğ., 2014). Gardner (1983), matematik ve okumanın da dışında bilinen zekalara ek olarak, çoklu zekaların da öneminin de altını çizerek tüm dünyada birçok okula ve eğitim ile ilgili hareketlere farklı bir bakış açısı kazandırmıştır (Tuğberk ve Şirin, 2024). Bu yönü ile İSG4.0'ın inşaat sektörüne adaptasyonu için İSG profesyonellerinin yeterliliklerini ve zeka tiplerini belirlemeye ihtiyaç vardır. İlgili yetkinlik ve zeka tiplerinin İS'de PYD'nin tümüne bütüncül bir şekilde entegre edilmesi önemli olabilir.

E4.0 ile birlikte değişen şartlar ile uyumlu olabilecek şekilde uzmanlar tarafından alınacak İSG önlemleri, yeni standartlar ile uyumlu olmalı ve mevzuatın ilgili konularını kapsayacak şekilde güncellenmesi ile ilgili çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir (Tepe, 2021). E4T'lerin giderek önem kazandığı günümüz koşullarında, İS'deki İSG standartlarının (İSGS), İSG'de E4T'lerin tümünü kapsayacak şekilde güncel değişikliklere adaptasyonunun sağlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. İS'de İSG4.0 için İSGS'leri yeniden düşünmeye ve incelemeye odaklanılması önerilmektedir.

Güvenlik olgunluğu düzeyi, iş kazalarını önlemek için firmalara destek olabilir (Maryani ve diğ., 2019). Literatürdeki çeşitli çalışmalar (örn: Soltanmohammadlou ve diğ., 2023), İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olgunluk modellerinden (OM) destek alınabileceğini önermiştir. OM'ler İS'de İSG 4.0 için E4T ve GYY'lerin adaptasyonuna yönelik bir olgunluk çerçevesi geliştirilmesini sağlayabilmektedir. Firmaların bulundukları İSG 4.0 olgunluk düzeylerini görmeleri, bir sonraki düzeye ilerleyebilmeleri için gerekli stratejiler oluşturmaya yönelik çeşitli çözüm yolları arayışlarını destekleyebilir.

Tüm bu nedenlerden ötürü, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik yukarıda detaylı olarak belirtilen doğrultuda çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. E4T'ler ve

GYY'ler, İPY'nin tüm PYD'sine adapte olarak, İS'deki İSG problemlerini çözebilme potansiyeli sunabilir.

1.2 Çalışmanın Amaç, Hedef ve Yöntemleri

İS'nin, yurt içinde ve yurt dışında ekonomiyi ayakta tutabilme potansiyeli yönü ile önemli bir sektör olduğu bilindiğinden, sektörün verimsizlik kalemlerinin tespiti oldukça önemlidir. İS'nin kaza ve ramak kala olayların olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak çözüm yolları arayışı, aynı zamanda İS'nin sürdürülebilir olabilmesini de destekleyebilir. Kaza ve ramak kala olayların İS'de sıklıkla yaşanması süre, maliyet ve kalite gibi çeşitli problemleri de beraberinde getirmektedir. İS'de İSG problemlerinin yaşanması, aynı zamanda şirketlerin prestijlerini de olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum ilgili şirketlerin yurtiçinde ve yurtdışında sektördeki pazar paylarını azaltmaya, böylece rekabet avantajlarını kaybetmelerine dahi sebep olabilmektedir. Tüm bu olumsuz etkilerin azaltılması ve hatta yok edilebilmesi için İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır. E4T'lerin ve yalın, çevik ve TKY gibi GYY'lerin İS'de İSG problemlerini çözebilme potansiyeli olabilir.

Bu doktora tez çalışması, E4T'lerin ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmayı amaçlamaktadır. Amaç, hedef ve yöntem tablosu, Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Amaç, hedef ve yöntem tablosu

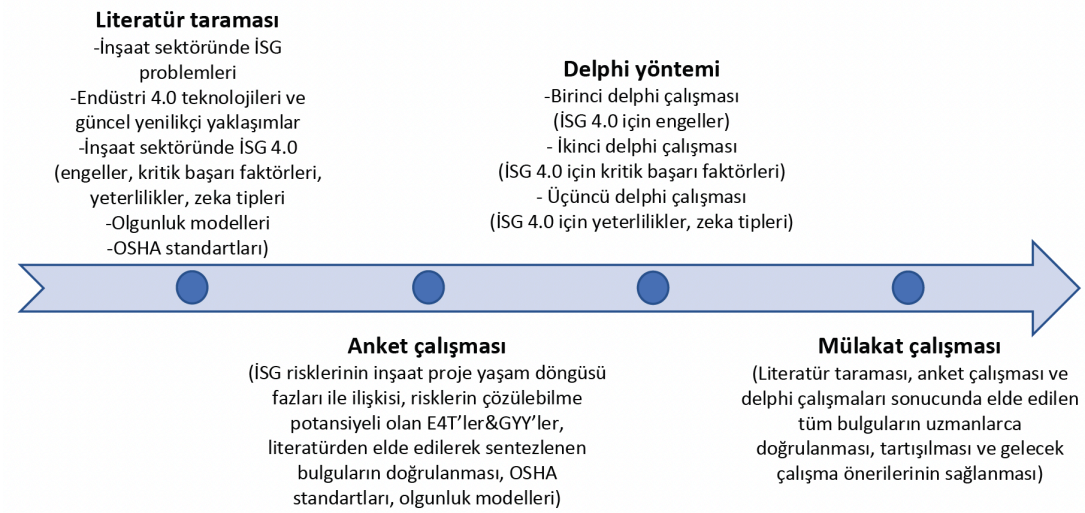
Tezin Amacı	Tezin Hedefleri	Araştırma Yöntemleri
Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların inşaat sektörüne adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmak	İnşaat sektöründe İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili girdi sağlamak	Literatür taraması, anket çalışması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
	Inşaat sektöründeki tüm proje yaşam döngüsünü İSG açısından inceleyerek, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların entegrasyonuna yönelik öneriler geliştirmek	Literatür taraması, anket çalışması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
	İnşaat proje yönetiminin bütün süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına ve doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine ve bu konudaki yetkinliklerin belirlenmesine yönelik araştırma yapmak	Literatür taraması, anket çalışması, delphi anketi çalışmaları, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması

Çizelge 1.1 (devamı): Amaç, hedef ve yöntem tablosu

Literatürdeki mevcut olgunluk modellerinin araştırmak	Literatür taraması, anket çalışması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
Kavramsal modeli oluşturmak	Uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
Kavramsal modeli doğrulamak ve test etmek	Uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması

Çizelge 1.1'de, bu doktora tez çalışmasının amacına, yönelik olarak belirlenen altı adet hedef ve her bir hedefe ulaşabilmek için, kullanılan yöntemler detaylı olarak verilmiştir.

Şekil 1.1, doktora tez çalışmasının araştırma yöntemine ait akış diyagramını ifade etmektedir.

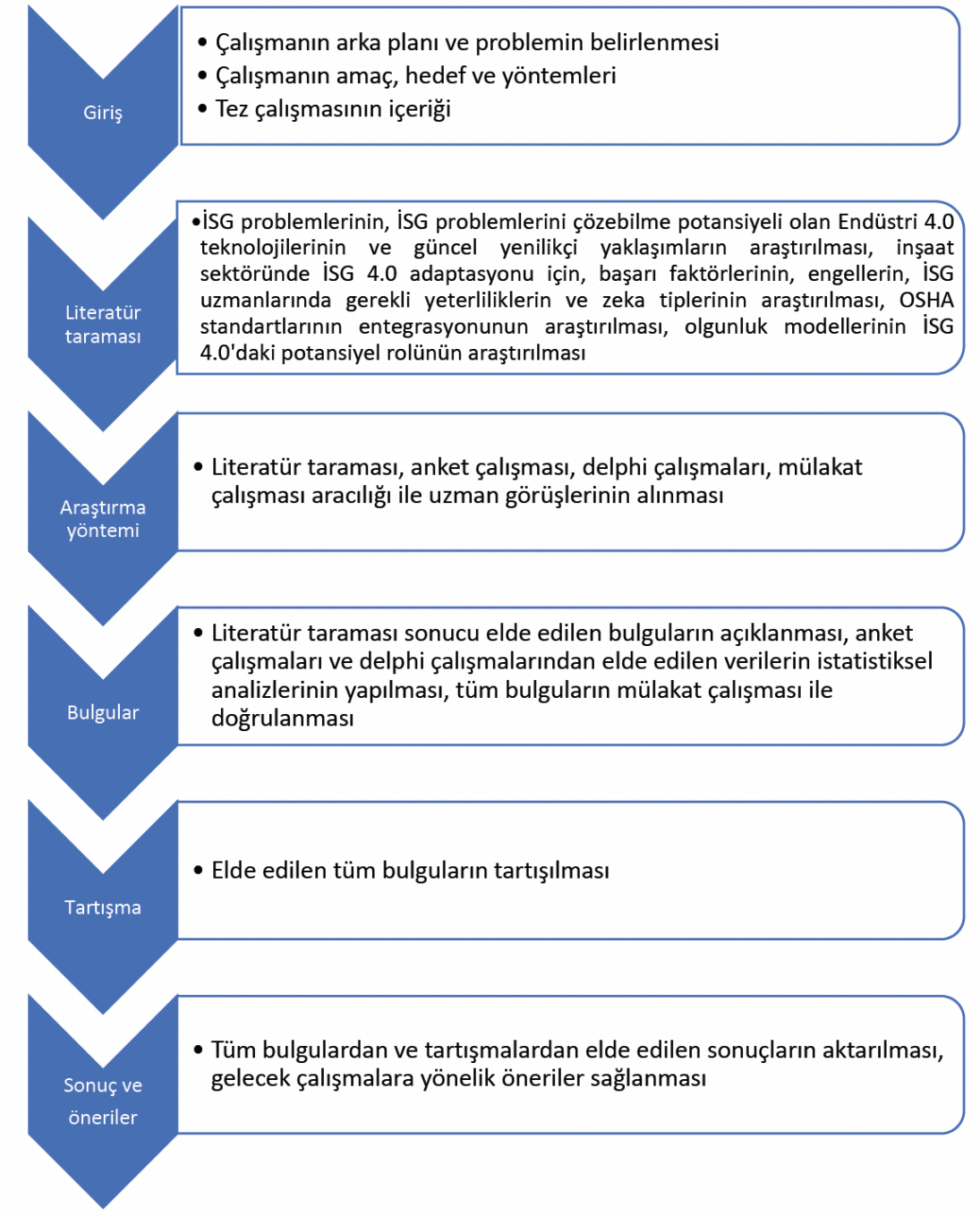


Şekil 1.1 : Araştırma yönteminin akış diyagramı

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, doktora tez çalışması, kapsamlı bir literatür taraması ile başlayarak, literatür çalışmasından elde edilen bulgular çalışmanın amaç ve hedeflerine ulaşabilmesi için, anket çalışmasına girdi oluşturmuştur. Daha sonra, birbirine paralel ve her biri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışması, uygulanmıştır. Literatür taraması, anket çalışması ve delphi çalışmalarının bulguları bir araya getirilerek, model kurgulanmış, çalışma bulguları İSG uzmanlarınca doğrulanmış ve bulgulara yönelik değerlendirmeler sağlanmıştır.

1.3 Tez Çalışmasının İçeriği

Şekil 1.2, tez çalışmasının içeriğini özetlemektedir.



Şekil 1.2 : Tezin akış diyagramı

Şekil 1.2'de verildiği üzere, ilk bölüm olan giriş bölümünde, bu doktora tez çalışmasının arka planı ve problemin tanımı, amaç, hedef ve yöntemleri ile birlikte çalışmanın içeriği detaylı olarak açıklanmıştır. Literatür taraması, tez çalışmasının ikinci bölümü olarak ele alınmış olup, tez çalışmasının konusuna yönelik İSG

problemlerinin, İSG problemlerini çözebilme potansiyeli olan E4T'lerin ve GYY'lerin araştırılması, İS'de İSG 4.0 adaptasyonu için gerekli KBF'lerin, karşısındaki engellerin, İSG uzmanlarında bulunması gereken yeterliliklerin ve zeka tiplerinin, OM'lerin İSG 4.0'daki potansiyelinin araştırılması üzerine yapılan çalışmaları özetlemiştir. Tezin üçüncü bölümünde, araştırma yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır. Literatür taraması, anket çalışması ve delphi çalışmaları, mülakat çalışması ile ilgili, örneklem kümesine dair özelleşmiş bilgiler ve yapılan istatistiksel analizler, detaylı olarak açıklanmıştır. Tezin dördüncü bölümünde ise yapılan anket çalışması ve delphi çalışmalarının detaylı sonuçlarını, analizlerini içeren çalışma bulguları sunulmuştur. Ayrıca, mülakat çalışmasında uzmanların tüm çalışma bulgularını doğruladıkları ve mülakatlar sırasında uzmanların sağladıkları ek görüşler ele alınmıştır. Tezin beşinci bölümünde tüm bulgular bir araya getirilerek, bulguların ve oluşturulan kavramsal modelin doğrulanmasına yönelik uzman görüşleri ve güncel literatür ile birlikte tüm bulgular tartışılmıştır. Tezin altıncı ve son bölümünde ise tez çalışmasının sonuçlarına ve bu kapsamda yapılabilecek gelecek çalışmalara dair önerilere yer verilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, E4T'lerin ve GYY'lerin, İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tezin amacına ulaşabilmesi için belirlenen altı temel hedefe yönelik olarak çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda ele alınmıştır. Tezin amacına yönelik olarak yapılan, anket çalışmasında belirli sorular, OSHA (2005) ve HSE (20209 (*Health and Safety Executive*)'nin tanımladığı 33 adet İSG problemi ile sınırlı tutulmuştur. Ayrıca, ilgili İSG risklerinin çözülebilme potansiyelinin olduğu belirli E4T'ler ve GYY'ler anket çalışmalarında sınırlı tutulmuştur. Tüm bunlar ile birlikte, tezin araştırma yöntemi kısmında daha detaylı belirtildiği üzere, İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler İnsan Araştırmaları Etik Kurul'undan onay alınmıştır. Gelecek çalışmaların, çalışmanın tüm bulguları bir arada düşünülerek yapılması önerilmektedir. Bu doktora tez çalışmasının sektör profesyonellerine, İSG uzmanlarına, İSG alanında çalışan akademisyenlere ve politika yapıcılara faydalı olacağı beklenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 İnşaat sektöründe İSG problemleri

İS'de yaşanan. İSG problemleri üzerine literatür tabanlı olarak inceleme yapılmıştır. Örneğin, Pillsbury ve diğ. (2020), şantiyelerde çalışmanın, hem tehlikeli hem de fiziksel açıdan zorlu olduğunu vurgulamıştır. Zhang ve diğ. (2020a) ise İS'nin kazaların önlenmesi konusunda çeşitli zorluklarla karşı karşıya olduğunu belirtmiştir. Her inşaat projesinin kendine özgü, benzersiz özellikleri bulunduğundan dolayı, inşaat projelerinde karşılaşılan tehlike düzeyi farklı şantiyeler özelinde farklılaşabilmektedir (Patel ve Jha, 2017).

İSG tehlikeleri çalışanlarda zarara yol açabilecek durum, faaliyet ya da uygulamaların tümünü içermektedir (ISO, t.y.). İSG tehlikelerinin ortadan kaldırılmaması veya etkin bir şekilde kontrol altında tutulmaması, İSG risklerinin ortaya çıkmasına neden olur (ISO, t.y.). Şantiyelerde meydana gelen yüksek oranlardaki yaralanmalar ve ölümler, inşaat süreçlerindeki tehlikelerin boyutunu ortaya koymaktadır (Awolusi ve diğ., 2019). Nasab ve diğ. (2023), İS'de İSG risklerinin artması ile ilgili en önemli faktörlerden birinin, şantiyelerde aynı anda yürütülen çok sayıda inşaat faaliyeti olduğunu vurgulamıştır. Yüksek yerlerde çalışma ve elektrikli ekipmanlara yakınlık, inşaat çalışanları açısından başlıca İSG riskleri arasında sayılmaktadır (EU-OSHA, 2022). İS, özellikle şantiyelerde gerçekleştirilen faaliyetlerin niteliği ve işlerin karmaşıklığı gibi birçok çeşitli etkenler nedeni ile önemli derecede güvenlik sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır (Afzal ve diğ., 2021).

İPYD'nün tüm evrelerinde, özellikle de inşaat aşamasında, İSG'ye ilişkin belirsizliklerin oldukça yaygın olduğu bilinmektedir (Liu ve diğ., 2018). PYD'nin farklı aşamalarında ortaya çıkan ilgili İSG belirsizliklerinin büyük bir kısmı potansiyel tehlikeleri meydana getirmektedir (Liu ve diğ., 2018). Hallowell (2009), İS'nin, tüm endüstri kollarının ortalamasının yaklaşık beş katı oranında yüksek iş kazası oranına sahip olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde, Yap ve diğ. (2023) de, İS'nin yüksek kaza oranlarının olumsuz sonuçlarından etkilenmeye devam ettiğini vurgulamıştır.

Ayrıca, Wang ve diğ. (2018), İS'yi yüksek kaza oranlarına sahip olan yüksek riskli bir sektör olarak tanımlamaktadır. İS'nin, diğer sektörler ile kıyaslandığında en ölümcül olan sektörler arasında yer aldığı bilinmektedir (Olivencia ve diğ., 2017). İSG raporlarının verileri, çalışanların tehlikeli iş koşullarına maruz kalmasının önemli bir oranda yaralanmalara ve ölümlere neden olduğunu açıkça göstermiştir (Riaz ve diğ., 2015).

Yüksek kaza oranları nedeni ile İSG, İS'de önemli bir endişe kaynağı hâline gelmiştir (Perez ve diğ, 2020). İS'deki İSG sorunları, mesleki ölümler, hastalıklar ve yaralanmalar açısından küresel çapta ciddi bir problem alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Martinez ve diğ., 2020). Ayrıca, birçok ülke, İS'nin İSG konusundaki olumsuz imajından dolayı önemli derecede etkilenmektedir (Golzad ve diğ., 2023). Tennant (2001), çalışanların genellikle, az güvenli ortamda çalışmaya maruz bırakıldıklarını ifade etmiştir. Ayrıca, işyerlerinde İSG problemlerinin, felaket ile sonuçlanabilecek problemlere yol açtığı bilindiğinden sürece dair tüm güvenlik önlemleri önemlidir (Liang ve diğ., 2020).

Bu doktora tez çalışması kapsamında özellikle odaklanılarak incelenen 33 adet İSG probleminin kısa bir literatür özeti aşağıda verilmektedir. İncelenen İSG risklerinin aşağıda verildiği sıra ile ilk 29 tanesi HSE (2020)'den ve son 4 tanesi ise OSHA (2005)'ten alınmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Tez kapsamında incelenen İSG riskleri

Risk numarası	**Risk adı**
İş kaynaklı sağlık sorunları *(Work-related ill health)* (HSE, 2020)	
1	İş ile ilgili stress/depresyon veya anksiyete (HSE, 2020)
2	İş ile ilgili kas/iskelet sistemi rahatsızlıkları (HSE, 2020)
3	Mesleki akciğer hastalığı (HSE, 2020)
4	Mesleki kanser (HSE, 2020)
5	Mesleki sağırlık (HSE, 2020)
6	El kol titreşimi (HSE, 2020)
7	Kronik Obstrüktif akciğer hastalığı (HSE, 2020)
8	Kontakt dermatit (HSE, 2020)
İşyeri yaralanması *(Workplace injury)* (HSE, 2020)	
9	Aynı seviyede kaymalar, takılmalar veya düşmeler (HSE, 2020)
10	Yükleme/iletme, kaldırma veya taşıma (HSE, 2020)
11	Hareket eden nesnenin çarpması (HSE, 2020)
12	Şiddet içeren davranışlar (HSE, 2020)
13	Yüksekten düşme (HSE, 2020)
14	Makineler veya aletler (HSE, 2020)
İşyeri riskleri (*Workplace risks*) (HSE, 2020)	

Çizelge 2.1 (devamı): Tez kapsamında incelenen İSG riskleri

15	Kaldırma/hareket etme (HSE, 2020)
16	Araçlar (HSE, 2020)
17	Tekrarlayan hareketler (HSE, 2020)
18	Kaymalar, takılmalar veya düşmeler (HSE, 2020)
19	Kimyasal, biyolojik (HSE, 2020)
20	Yüksek ses (HSE, 2020)
21	Zor müşteriler (HSE, 2020)
22	Yorucu/acı verici pozisyonlar (HSE, 2020)
23	Sıcak, soğuk veya cereyan (HSE, 2020)
24	Zaman baskısı (HSE, 2020)
25	Uzun/düzensiz saatler (HSE, 2020)
26	Zayıf iletişim (HSE, 2020)
27	İş güvensizliği (HSE, 2020)
28	Etki eksikliği (HSE, 2020)
29	Ayrımcılık (HSE, 2020)
OSHA (2005)'e göre İSG riskleri	
30	Hendek çökmesi (OSHA, 2005)
31	İskele çökmesi (OSHA, 2005)
32	Elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması (OSHA, 2005)
33	Uygun kişisel ekipmanın kullanılmaması (OSHA, 2005)

HSE (2020)'ye göre belirlenen iş kaynaklı sağlık sorunlarının kısa bir literatür özeti aşağıda verilmiştir.

İş kaynaklı sağlık sorunları *(Work-related ill health)* (HSE, 2020):

(1) İş kaynaklı stres, depresyon veya kaygı (*Work-related stress, depression or anxiety*) (HSE, 2020): HSE (2020), ilgili sağlık sorununu, insanların çalışma ortamlarında maruz kaldıkları haksız baskı ve talepler sonucunda, kendilerine verdikleri zararlı tepki olarak tarif etmektedir.

(2) İş ile ilgili kas-iskelet sistemi bozuklukları (*Work-related musculoskeletal disorders*) (HSE, 2020): İlgili İSG probleminin genellikle sağlıksız duruşlar, yetersiz molalar, aşırı çalışma saatleri gibi çeşitli organizasyonel faktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir (Annalee, 2000).

(3) Mesleki akciğer hastalığı (*Occupational lung disease*) (HSE, 2020): Arlene ve Jeffrey (2009), solunan hava ile birlikte tozun, akciğerlerde doku hasarına neden olarak, mesleki akciğer hastalığını meydana getirebileceğini vurgulamıştır.

(4) Mesleki Kanser (*Occupational Cancer*) (HSE, 2020): Siemiatycki (2020), asbest, ağır metaller gibi çeşitli kanserojen maddelerin mesleki kansere sebep olduğunun bilinmekte olduğunu ve özellikle gelişmekte olan ülkelerin konu ile ilgili

standartlar ile geliştirilmiş özel güvenlik önlemleri alınmasının gerekliliğine değinmiştir.

(5) Mesleki Sağırlık *(Occupational Deafness)* (HSE, 2020): Goldner (1945), ilgili İSG probleminin başlangıcının yalnızca hafif bir işitme kaybı olması nedeni ile yeterince önemsenmediğini, ancak bilinenin aksine ilgili hastalığın önemine değinmiştir.

(6) El Kol Titreşimi (Titreşim Beyaz Parmak ve Karpal Tünel Sendromu) (Hand Arm Vibration *(Vibration White Finger and Carpal Tunnel Syndrome)* (HSE, 2020): Sauni ve diğ. (2010), ilgili hastalığın eklemlerde ağrı, kas zayıflaması, parmaklarda beyazlama, karıncalanma, uyuşma gibi kas-iskelet problemleri yaşatabileceğine ve bu yönü ile işçilerin yaşam kalitesinin önemli bir oranda düşebileceğine dikkat çekmiştir.

(7) Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease)* (HSE, 2020): Cazzola ve diğ. (2007), KOAH'ın giderek artan bir İSG problemi olduğuna ve genellikle sigara kullanımına ek olarak mesleki tozlar, hava kirliği gibi çeşitli çevresel ve zararlı maddelere maruz kalınmasından kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

(8) Kontakt dermatit (HSE, 2020): İlgili İSG problemi, genellikle nikel, kobalt gibi bazı kimyasallar ile teması sonucu görülebilen bir cilt problemidir (Medicalpark, 2025). Sasseville (2008), iş kaynaklı olarak görülen cilt rahatsızlıklarının %90'ını oluşturduğunu ifade etmiştir.

HSE (2020)'ye göre belirlenen iş yeri yaralanmalarının kısa bir literatür özeti aşağıda verilmiştir.

İşyeri yaralanması *(Workplace injury)* (HSE, 2020):

(9) Aynı seviyede kayma, takılma veya düşme (HSE, 2020) *(Slips, trips or falls on same level)*: Chang ve diğ. (2016), aynı düzeydeki mesleki kaymalar, takılmalar ve düşmelerin dünya çapında önemli yaralanmalara neden olabileceğinden çeşitli önleme stratejilerine acil ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

(10) Tutma, kaldırma veya taşıma *(Handling, lifting or carrying)* (HSE, 2020): Ağır yükleri kaldırmak, taşımak, itmek veya çekmek gibi hareketler çalışanları, burkulma, eklem veya kemik yaralanmaları gibi çeşitli problemlere maruz bırakabilir (Worksafe, 2024).

(11) Hareket eden bir cismin çarpması *(Struck by moving object)* (HSE, 2020): Düşen, yuvarlanan, uçan vs. nesneler bir çalışana önemli ölçüde zarar verebilir (National safety council, 2025). Örnek durumlar arasında, inşaat işçilerinin inşaat malzemelerine çarpması, araçların kriko üzerinden kayması, oduncuların ağaçlara çarpması verilebilir (National safety council, 2025).

(12) Şiddet içeren durumlar *(Acts of violence)* (HSE, 2020): İşyerinde şiddet ve saldırganlık, çalışanların fiziksel ve ruhsal sağlığını kötü yönde etkilemektedir (Hseni, t.y.). Wassel (2009), çalışma alanlarında şiddetin önlenmesine yönelik ihtiyaç olabilecek müdahaleleri önermeye yönelik, mevcut literatürün taranmasına dair öneri sunmuştur.

(13) Yüksekten düşme *(Falls from a height)* (HSE, 2020): Yüksekten düşmeler (YD) dünya çapında önemli bir tehlike olup, inşaat sektörü çalışanları için ciddi ve ölümcül yaralanmaların önde gelen nedenlerinden biri olarak görülmektedir (Nadhim ve diğ., 2016).

(14) Makineler veya araçlar *(Machines or tools)* (HSE, 2020): Mucenski ve diğ. (2018)'in çalışmasının bulguları, kamyonların ve kule vinçlerin en riskli makineler olduğunu, dairesel testerelerin, taşlama makinelerinin ve delme makinelerinin ise en riskli mekanik aletler olduğunu ve önemli İSG risklerini de beraberinde getirebileceğini göstermiştir.

HSE (2020)'ye göre belirlenen işyeri risklerine ait kısa bir literatür özeti aşağıda verilmiştir.

İşyeri riskleri (*Workplace risks*) (HSE, 2020)

(15) Kaldırma/taşıma (*Lifting/moving*) (HSE, 2020): Bir kişinin güvenli olarak taşıyabileceği ağırlık miktarınının aşılması durumunda, kas-iskelet yaralanmaları, burkulmalar gibi çeşitli riskler meydana gelebilir (Mastermover, 2024). Kurien ve diğ. (2018)'in çalışması, insan gücündeki bu sınırlılıkları ve beraberinde getirdiği yaralanmaları, gelişen robot teknolojisi ile birlikte aşılabileceğini ifade etmektedir.

(16) Araçlar *(Vehicles)* (HSE, 2020): Riaz ve diğ. (2006), İS'de, tesis ve ekipman operasyonunun kazaların ve yaralanmaların önde gelen nedenlerinden biri olduğunu ifade etmiştir. Küresel konumlandırma sistemleri (*Global positioning system- GPS*) ile birlikte, çalışma alanını izleyen bir model önerisi sunulabilir, önerilen model, yaklaşan

tehlikeler ile ilgili önceden bilgilendirme sağlayabilir ve bu yol ile kazaların azaltımına katkı sağlayabilir (Riaz ve diğ., 2006).

(17) Tekrarlayan hareketler *(Repetetive movement)* (HSE, 2020): Tekrarlayan bir aktivite, yapılan hareketlerin %50'sinden fazlasında benzer hareket kalıplarını içerimektedir (Parida ve Ray, 2012). Worksafe (2025), ilgili riskin, özellikle masada uzun saatler geçiren, yazı yazan veya tekrarlayan görevler yapan çalışanlar için yaygın bir problem olduğunu ifade etmektedir.

(18) Kayma, takılma veya düşme (*Slips, trips or falls*) (HSE, 2020): İşyerlerinde, en sık görülen yaralanma nedenlerinden biri olarak bilinmektedirler (Stepchangeinsafety, t.y.). Lipscomb ve diğ. (2006), ilgili risk grubunun işçi tazminat taleplerinin %25'ine neden olduğunu ifade etmiştir.

(19) Kimyasal/biyolojik *(Chemical/biological)* (HSE, 2020): Liang ve diğ. (2020), ilgili İSG riskinin, zehirli gaz sızıntısı, yangın ve patlama gibi güvenlik sorunlarını içerdiğini belirtmiştir. *International labour organization* (2025), biyolojik risklerin insanlar arasında HIV (*human immunodeficiency virus*), hepatit, grip vb. gibi veya hayvanlar ve insanlar arasında ise sıtma gibi hastalıklara da sebep olabileceğini vurgulamıştır.

(20) Yüksek ses *(Loud noise)* (HSE, 2020): İşyerlerindeki gürültü, işitme kaybı, kulak çınlaması olmak üzere diğer kulak rahatsızlıkları dahil olmak üzere geçici veya kalıcı işitme problemlerine neden olabilir (Prospect, 2023). Kwon ve diğ. (2018), gürültüye bağlı risklerin belirlenmesi için *Monte Carlo* simülasyon modeli kullanımı ile bir gürültü riski modeli üretilebilmesi önerisinde bulunmuştur.

(21) Zor müşteriler vb. *(Difficult customers etc.)* (HSE, 2020): Park ve Kim., (2021), öfkeli müşteriler ile daha fazla etkileşime giren çalışanların depresyon ve kaygı yaşama gibi çeşitli İSG risklerinin daha fazla olabileceğini ifade etmiştir.

(22) Yorucu/acı verici pozisyonlar *(Tiring/painful positions)* (HSE, 2020): Mastrangelo ve diğ. (2008)'in çalışmasının bulguları, çalışanların %46'sının, çalışma saatlerinin dörtte birinden fazlasında ilgili riske maruz kaldıklarını göstermiştir. Thenbs (2018), en önemli risklerden biri olarak gösterilmese de yorgunluğun genellikle, bir çok inşaat kazasının nedenlerinden biri olduğunu ifade etmiştir. Uzun süre ayakta durmak, kardiyovasküler hastalık, erken doğum, varisli damarlar gibi dolaşım sorunları ve felç riskine de sebep olabilmektedir (Oshwiki, 2020).

(23) Sıcak, soğuk veya cereyan (*Heat, cold or draught*) (HSE, 2020): Lee ve diğ. (2021)'in çalışması, İS'de, mevsim koşullarına bağlı olarak sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi dış hava koşullarının etkisi altında ölümcül yaralanmalar ve kazaların meydana gelebileceğini ifade etmiştir.

(24) Zaman baskısı (*Time pressure*) (HSE, 2020): İnşaat şirketlerinin, günümüz çalışma koşullarında zaman ve bütçe hedeflerine ulaşmak için önemli bir baskı altında olduğu bilinmektedir (Couto ve diğ., 2017). Bu nedenle, Couto ve diğ. (2017), böyle durumlarda son teslim tarihlerine uymak zorunluluğunun öncelik kazanabileceğini ve buna bağlı olarak güvenli olmayan bir çalışma ortamı oluşturulabileceğini vurgulamıştır.

(25) Uzun/düzensiz çalışma saatleri (*Long/irregular hours*) (HSE, 2020): İlgili risk, çalışanlarda yorgunluk oluşturabileceğinden önemli bir İSG problemi olarak tanımlanabilir (Cunningham ve diğ., 2022). Ayrıca, yorgun bir çalışanın dikkat seviyesi de düşeceğinden yanlış kararlar almasına neden olabilir (Thenbs, 2018).

(26) Zayıf iletişim (*Poor communications*) (HSE, 2020): Haslam ve diğ. (2005), zayıf iletişim sebepleri arasında yerel dile hakim olmama, yüksek gürültü nedeni ile iletişim kurulamaması ya da fiziksel mesafe gibi sebeplerin güvenlik açısından problem oluşturabileceğini ifade etmiştir.

(27) İş güvencesizliği *(Job insecurity)* (HSE, 2020): Erdem (2020), ilgili riskin, çalışanların motivasyonlarını ve verimliliklerini düşürdüğünü ifade etmiştir. Ayrıca, Zhang ve diğ. (2021)'in çalışması, iş güvencesizliği durumunun, çalışanların güvenlik davranışı ile negatif ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

(28) Etki eksikliği *(Lack of influence)* (HSE, 2020): İş yerlerinde insan davranışı ve performansı, organizasyonların kültürlerinden etkilenmekte olup, iyi olmayan güvenlik kültürü bir çok büyük kazalara ve kişisel yaralanmalara sebep olabilir (HSE, t.y.). Maliha ve diğ. (2021), ise çalışanların sosyalleşmesinin çalışanların işlerini olumlu etkileyeceğini vurgulamıştır.

(29) Ayrımcılık (*Discrimination)* (HSE, 2020): Bir kişinin diğerinden daha az uygun yaklaşımlara maruz kalması ayrımcılık olarak nitelendirilir ve cinsiyet, ırk, yaş gibi çeşitli sebepler, ayrımcılığı etkileyebilir (European Agency for Safety and Health at work, 2022). Bowen ve diğ. (2013)'ün çalışması, Güney Afrika'daki etnik ve

cinsiyete dayalı taciz ve ayrımcılığın bulunmasının birçok İS çalışanının ve de özellikle mimarların deneyimlediği önemli bir stres kaynağı olduğunu vurgulamıştır.

OSHA (2005)'e göre belirlenen İSG risklerinin kısa bir literatür özeti aşağıda verilmiştir.

(30) Hendek çökmesi *(Trench collapse)* (OSHA, 2005): Kale (2021), çok sayıda işçinin ilgili risk nedeni ile hayatını kaybettiğini, bu riskin nadiren atlatılabilir olduğunu ancak gerekli önlemler alınırsa tamamen önlenebileceğini vuruglamıştır.

(31) İskele çökmesi (*Scaffold collapse*) (OSHA, 2005): Hamdan ve Awang (2015), ilgili riskin birçok ölüm ve yaralanmaya neden olduğunu, ilgili kazaları etkileyen faktörleri araştırmalara olan ihtiyacı ve önemi vurgulamıştır.

(32) Elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması *(Electric shock and arc flash/arc blast)* (OSHA, 2005): Neitzel (2016), tüm projelerin planlama ve tasarım aşamalarına, elektrik ekipmanları, sistemleri ve elektrik güvenliği konusunda uzmanlaşmış güvenlik profesyonellerini dahil edilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır.

(33) Uygun kişisel koruyucu ekipmanın kullanılmaması (KKE) *(Failure to use proper personal protective equipment)* (OSHA, 2005): Sehsah ve diğ. (2020), KKE'lerin kullanılmaması veya yanlış kullanılmasının, kaza riskini önemli ölçüde arttırabileceğini vurgulamıştır. Al-Bayati ve diğ. (2023), KKE ile ilgili güvenli olmayan davranışların, üst yönetim desteğinin eksikliği, İSG personeli yetersizliği ve yetersiz İSG denetimi gibi çeşitli faktörlerin bir sonucu olduğunu vurgulamıştır.

2.2 İnşaat sektöründe İSG Problemlerinin Çözümüne Yönelik Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Güncel Yenilikçi Yaklaşımlar

İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik E4T'ler ve GYY'ler incelenmiştir. İS'de, güvenliği iyileştirme amacına yönelik olarak gelişen teknolojiler kulanılabilir (Awolusi ve diğ., 2019). Toyin ve diğ. (2024), inşaat teknolojilerinin, İS'de uygulanan projeleri iyileştirmek için tasarlanmış ve oldukça çeşitli olabilen, makine ve yazılım uygulamalarını kapsadığını vurgulamıştır. İS'de E4T'lerin entegrasyonu sayesinde İSG problemleri iyileştirilebilir (Mazibuko ve Smallwood, 2022). İS'de İSG problemlerini tüm PYD boyunca çözebilme potansiyeli bulunabilen E4T'lerin bir özeti aşağıda sunulmuştur.

Yapay zeka (YZ), İS'deki İSG problemlerinin çözümüne destek olabilir. Örneğin, Kwon ve diğ. (2017), gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini düşünerek, İPYD'nin inşaat öncesi aşamasında, gürültü yönetimine odaklanmış ve vaka tabanlı olmak üzere bir gürültü tahmin modeli önermiştir. Pereira ve diğ. (2018), ise gerçekleştirdikleri simülasyon modeli çalışmasında, YZ tabanlı olarak bir entegre akıl yürütme uygulaması modelini İS'deki İSG için çözüm önerisi olarak sunmuştur. Makine Öğrenimi (MÖ), İS'de İSG denetimi gibi bir çok alanda fayda sağlayabilme potansiyeline sahiptir (Xu ve diğ., 2021). Hatami ve diğ. (2019), yapay sinir ağları (YSA)'nın, bilgisayar ile bütünleşmiş bir akıllı üretim sistemi oluşturmaya yönelik fayda sağlayabilme potansiyeline dikkat çekmiştir. Örneğin, Lim ve diğ. (2016), kazaları en aza indirmek için, işyerinde yürürken meydana gelebilecek kayma ve takılmaları tespit etmek ve ramakkala durumları sınıflandırmak amacına yönelik olarak bir YSA tabanlı sınıflandırma yöntemi önermiştir. Ayrıca, Ajayi ve diğ. (2020a), kaza verilerinden elde edilen bir derin öğrenme (DÖ) yaklaşımını çalışmasında kullanarak, elektrik altyapısı projelerinde İSG risk yönetimi için bir model önermiştir. Wang ve Wu (2020), ise büyük verinin (BV) İS'de akıllı İSG modeli gibi çeşitli faydaları olabileceğine yönelik içgörülerini paylaşmıştır.

İS'de E4T'ler ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik gerçekleştirilen bazı çalışmalarda ise bilgisayar ile görme teknolojilerinin (BGT) kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Mneymneh ve diğ. (2018), BGT kullanımı ile birlikte inşaat şantiyelerinde çalışanların özellikle kask takmamak gibi çeşitli güvenlik kurallarının ve yönetmeliklerin ihlaline dayanan herhangi bir davranışın tespit edilebileceğini vurgulamıştır.

Akram ve diğ. (2019), YBM'nin, güvenlik performansının iyi olmadığı durumlarda, güvenlik perfomansını PYD boyunca iyileştirebileceğini vurgulamıştır. Costin ve diğ. (2015), gerçek zamanlı radyo frekansı tanımlama (GZRFT) *(Real time radio frequency identification*- RFID) ve YBM tabanlı olarak çalışanların konumunun izlenebilmesi ve acil bir durumda çalışma alanındaki çalışan sayısını belirlemek gibi çeşitli faydalar sağlayabileceğini ifade etmiştir. Venkatesh ve Ergan (2023)'e göre, şantiyelerdeki İSG standartlarının manuel olarak ele alındığı yaklaşım, İSG planlarına göre gerekli olan önlemlerin doğru bir şekilde yer alıp almadığını izleme imkânı sağlamadığı için, YBM tabanlı olarak otomatik İSG uygulamaları kontrolünün sağlanması, İS'de İSG için süreç verimliliğini destekleyebilir. Bu bağlamda, Fargnoli ve Lombardi, (2020), İS'de

YBM'nin güvenlik eğitimi ve öğretimi için kullanımı kritik bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Lin ve Cheung (2020), YBM'nin İS'ye ilişkin verilerini, İS'nin tüm PYD aşamalarında üç boyutlu olarak dijital modele entegre edebilme potansiyelini vurgulamıştır. Ayrıca, YBM kullanımı ile birlikte tüm İS paydaşları, disiplinler arası işbirliği ile birlikte ilgili şantiye özelinde çeşitli ve detaylı bilgiler sağlayabilir (Garyaev ve Garyaeva, 2019). Wetzel ve Thabet (2018), kapsamlı bir YBM modelinin, İS'de tesis yönetimine güvenliğe ilişkin veriler sağlayabileceklerini iletmiştir. Diğer bir örnek olarak ise, Akinade ve diğ. (2018)'e göre, YBM tabanlı Dijital fabrikasyon (DF) teknikleri, bina bileşenlerinin bilgisayar kontrollü olarak prefabrikasyonunu sağlayabilir. YBM tabanlı DF ile birlikte, malzeme israfı olmadan spesifik olarak parçalar tasarlanabilir, tasarımın esnekliği artabilir, YBM hesaplama platformunun kullanımı ile birlikte yapım ve yıkım atıklarında azalmayı sağlayabilir (Akinade ve diğ., 2018). YBM'nin prefabrik inşaatın yerinde montajını desteklemek için yararlı bir araç olduğu söylenebilir (Li ve diğ., 2018). Ayrıca, YBM tabanlı çerçeve, prefabrik yapılar için yerinde makine yeteneklerini değerlendirebildiğinden, daha az iş, daha az zaman, hava koşullarına daha az bağımlılık, daha yüksek ürün verimliliği ve kalite sunmayı mümkün kılabilir (An ve diğ., 2020). YBM tabanlı DF, üretim çizimleri için tek tip bir çizim formatının üretilmesini destekleyebileceğinden, okunabilirliği iyileştirmeye ve hataları azaltmaya yardımcı olabilir (Deng ve diğ, 2021). İnşaat sektörü, otomasyon tabanlı olarak ilerledikçe, üretimde iş akışı ve veri birlikte çalışabilirliğini desteklemek için YBM ve Endüstri Temel Sınıfları aracılığı ile saha dışı üretime yönelik girişimler daha çok artmaktadır (Liu ve diğ., 2021). Saha dışı üretim, inşaat süresini azaltarak kalite, değer, İSG ve sürdürülebilirlik konularında potansiyel olarak iyileşme sağlayabilir (Todi ve diğ., 2018). Ayrıca saha dışı imalat ile birlikte, daha az yere ihtiyaç duyulabilir, daha az hata yapılabilir ve inşaat projeleri henüz şantiyelerde başlamadan önemli bir miktarda iş yapılabilir (The Irish Advantage web sayfası, 2018). YBM tabanlı DF ile, tasarım ve üretim disiplinleri arasındaki iş akışı kolaylaştırılabileceğinden, emek ve çabadan önemli ölçüde tasarruf edilebilir (Hamid ve diğ., 2018). Gbadamosi ve diğ. (2019), YBM tabanlı DF için, bina montaj teknikleri oluşturmanın ve oluşturulan sisteme yalın yönetim ile ilgili prensipleri de dahil etmenin avantajlarını vurgulamıştır. YBM tabanlı olarak DF, çatı kaplama kurulumlarına da destek olarak, çevre dostu yapı uygulamalarını desteklerken, aynı zamanda tüm süreçler içindeki atıkları da minimize edebilir (Liu ve diğ., 2019). Hwang ve diğ. (2020), YBM tabanlı DF ile birlikte, izleme ve merkezi koordinasyonun

sağlanabileceğini, inşaat güvenliğinin konum izleme teknolojileri ile birlikte kullanılarak da gerçek zamanlı olarak izlenebilme potansiyelinin altını çizmiştir. He ve diğ. (2022), gelecekte YBM, Nİ, prefabrik binalar ile entegre çözümler birlikte düşünülerek entegre inşaat proje yönetimi politikalarına olan bütünleşmesine yönelik içgörülerini vurgulamıştır. Bu bağlamda, YBM tabanlı DF, İS'de İSG problemlerinin çözümüne destek olabilir. Ayrıca, YBM'nin İS'de kullanımı, iki boyutlu çizimlerde gözden kaçabilme ihtimali olan problem alanlarını tüm PYD boyunca ortaya çıkabilecek risklerin tanımlanmasını sağlayabileceğinden, İS'de İSG performansına katkıda bulunabilir (Erusta ve Sertyesilisik, 2020).

Okpala ve diğ. (2019), robotik ve nesnelerin intermeti (Nİ) kullanımı ile birlikte İS'de İSG performansının arttığını vurgulamıştır. İS'de İSG sorunlarının çözümü, robotik kullanımı ile desteklenebilir. Örneğin, Kurien ve diğ. (2018), vücut ve el takibi aracılığı ile İS çalışanlarının gerçek zamanlı simülasyonununa yönelik robotik inşaat işçisi ile ilgili çalışma önerisinde bulunmuştur.

Waqar ve diğ. (2024), inşaat projelerine robotik teknolojisini dahil etme konusundaki çeşitli engellere rağmen, ilgili teknolojinin kritik olduğunun altını çizmiştir. Yeo ve diğ. (2020), Nİ ile ilgili detaylı araştırma yapmanın İS'deki problemleri azaltma konusunda destek olabilme potansiyeline dikkat çekmiştir. Lin ve Cheung (2020), kablosuz sensör ağları (KSA)'nın ise Nİ için temel bir teknoloji olarak değerlendirilebileceğini ifade etmiştir. Lin ve Cheung (2020), akıllı şehirlerde KSA ve YBM tabanlı entegre bir sistemin, gerçek zamanlı olarak karbon monoksit, sıcaklık ve nem koşulları ile hava kirliliğini değerlendirilmesi amacına yönelik bir model üzerinde çalışmıştır. Akarsu ve diğ. (2008) ise, Işık tespiti ve uzaklık tayini (ITvUT) (*Light Detection and Ranging, LIDAR*) teknolojisinin, geleneksel fotograf yöntemlerinden farklı ve daha gelişmiş bir teknoloji ile iyileştirilmiş veriler toplanabileceğini ve mimarlıkta kullanımının gerekliliğine değinmiştir.

Zollmann ve diğ. (2014), arttırılmış gerçeklik (AG)'in, İS'de çalışma alanlarının izlenmesi ve karmaşık verilerin dokümantasyonu gibi çeşitli amaçlar ile kullanıldığı zaman fayda sağlayabileceğini belirtmiştir. Schranz ve diğ. (2021), YBM tabanlı AG uygulamalarının İS'deki kullanımının gerekliliğini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Wang ve Dunston (2007), AG'nin inşaat ekipmanına yönelik uygulamalarında ve operatör eğitimlerinde kullanılma potansiyelini vurgulamıştır. Örneğin, Zollmann ve

diğ. (2014), AG ile inşaat şantiyelerinin izlenmesi ve karmaşık bilgilere yönelik belgelendirme kullanımını desteklemiştir.

Eiris ve Gheisari (2017), sanal gerçekliği (SG) (*Virtual reality*), gerçek dünyanın sanal bir animasyonunu iletmesi ile birlikte insanların zaman, konum ve güvenlik ile ilgili herhangi bir sınırlamaları ve endişeleri olmadan deneyim yaşamaları için sağladıkları olanak olarak tanımlamıştır. Asgari ve Rahiminia (2017), İS'de İSG problemlerinin çözümü için gereken denetim ve izleme süreçleri için SG teknolojisinin önemli avantajlar sağlayabileceğine yönelik içgörülerini paylaşmışlardır. Asgari ve Rahiminia (2017), İS'de İSG için denetim ve izleme süreçlerinin genellikle yüksek maliyetine dikkat çekmiş ve SG'nin ilgili konulardaki avantajlarına dikkat çekmiştir.

Zhou ve diğ. (2018), insansız hava araçları (İHA)'ların da İS'de İSG problemlerine yönelik kullanımını desteklemiştir. Örneğin, Zhou ve diğ. (2018), İHA'ların inşaat sürecini olumsuz etkileyebilecek olan İSG ihlalleri veya tehlikeli durumlara yönelik, gerçek zamanlı veri toplayabileceğini vurgulamıştır.

Awolusi ve diğ. (2019)'a göre, giyilebilir teknolojiler (GT) ve Nİ, İS'de İSG için inşaat işçilerinin İSG ile ilgili durumlarının gerçek zamanlı izlenmesi gibi bir çok alanda katkı sağlayabilir. GT'ler, Awolusi ve diğ (2019)'a göre, inşaat işçilerinin güvenliğini izleme konusunda destek olabilen güncel teknolojilerden biri olarak olarak sınıflandırılabilir. Örneğin, İS'de işçiler gerçek zamanlı olarak izlendiğinde, uygun inşaat kıyafetlerinin seçimi, kask takma gibi çeşitli İSG'ye ait prodesürler kontrol edilebilir. Ayrıca, Bangaru ve diğ. (2020), İS'de özellikle gürültüye uzun süreler maruz kalınabilen şantiye ortamlarında, ilgili işçiler için kulak tıkaçlarının etkin kullanımının İSG için önemine vurgu yapmıştır.

İS'de İSG problemlerini çözebilme potansiyeli bulunan GYY'ler ile ilgili olarak yalın yönetim, çevik yönetim ve TKY bu doktora tez çalışması kapsamında ele alınmıştır. Wu ve diğ. (2019), yalın inşaatı, kaynak israfı ve İSG ile ilgili olmak üzere kazalar gibi çeşitli istenmeyen aktiviteleri azaltmak için etkili bir yönetim yaklaşımı olarak önermiştir. Larios ve diğ. (2012), yalın inşaat felsefesinin getirdiği ilkeler ve yöntemlerin, İS'de işyerlerindeki süreçlerin performansını arttırmasına rağmen, İSG problemlerini çözmeye olan ihtiyacın hala devam ettiğini vurgulamaktadır. Gao ve diğ. (2023), yalın inşaatın, İS'de İSG'yi iyileştirdiğinin bilinmesine rağmen, yalın

inşaat teknolojilerinin İS'de İSG yönetimine nasıl uygulanabileceğinine dair gerekli araştırmaların eksikliğini vurgulamıştır.

Kashikar ve diğ. (2016), yalın ve dijital teknolojilerin, İS'yi çevik duruma getirebileceğini ve maliyetler, zaman, kalite, İSG ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli açılardan avantajlar sunabileceğini vurgulamıştır. Stalhane ve diğ. (2016), ürünlerin pazara sunulma süresini kısaltmak, maliyetleri düşürmek ve kalitenin arttırılması gibi çeşitli amaçlara yönelik olarak özellikle son yıllarda İSG açısından kritik yazılımlar geliştirilmesinin, çevik geliştirme yöntemlerinin de kullanımı arttırdığına dikkat çekmiştir. Mizrak (2020) ise, aksiyonomerik tasarım prensipleri ile çevik yönetimi bir arada ele alarak bir İSG sistemi önerisinde bulunmuş ve şirketlerde, İSG'ye yönelik koşulları iyileştirmeyi amaçlamıştır.

Tamimi ve diğ. (2017)'nin çalışması, İS'nin en önemli hedeflerinden biri olan İS'de İSG'yi sağlamanın toplam kalite yönetimi (TKY) uygulamaları ile sağlanabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca Tamimi ve diğ. (2017), TKY ve Toplam Güvenlik Yönetiminin birleşiminin, İS'de İSG'yi sağlayan en iyi uygulamalardan biri olarak değerlendirilebileceğinin altın çizmiştir. Loushine ve diğ. (2006) ise, genel olarak güncel literatürde, İS'de entegre İSG ve kalite yönetiminin kullanımının desteklendiğini vurgulamıştır.

2.3 Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Güncel Yenilikçi Yaklaşımların İnşaat Sektöründe İSG'ye Entegrasyonu

2.3.1 Engeller ve kritik başarı faktörleri

E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu için engeller ve KBF'lerin belirlenmesine yönelik inceleme yapılmıştır. Örneğin, Zabidin ve diğ. (2021), E4T'lerin benimsenmesinde finansal sınırlamaların belirleyici bir rol oynadığını ifade etmiştir. Ling ve diğ. (2020), E4T'lerin sağlayacağı maliyet ve faydaların yeterince kavranamamasının, benimseme sürecinde önemli bir engel oluşturduğunu vurgulamıştır. Ayrıca Cugno ve diğ. (2021), işletmelerin, teknolojik dönüşüm sürecinde karşılaştıkları temel zorluklardan biri olarak ekonomik ve finansal kısıtlamaları gördüklerini ifade ermiştir. Delgado ve diğ. (2020a), AG ve SG gibi İS'de kullanılabilecek teknolojilerin benimsenmesinde karşılaşılan başlıca engel olarak ilgili teknolojilerin genellikle yüksek maliyetli olarak algılanmasına vurgu yapmıştır.

Ancak, Arowoiya ve diğ. (2021), AG gibi yenilikçi teknolojilerin inşaat projelerinde maliyet avantajı sağlayabileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle, Sukathong ve diğ. (2021), kuruluşların, yeni teknolojileri benimsemeden önce gerekli altyapı ve ekipman yatırımları ile bunların olası faydalarını dikkatle değerlendirmelerinin önemine dikkat çekmiştir. Oesterreich ve Teuteberg (2018), mimarlık, mühendislik ve inşaat (MMİ) sektöründe, özellikle yüksek başlangıç maliyetleri gibi çeşitli faktörlerün, birçok şirketin E4T'lerden YBM'ye yatırım yapmaktan kaçınmasına yol açtığını belirtmiştir. Tüm bunlara ek olarak Cai ve diğ. (2020) ise, ekonomik getirilere ilişkin belirsizliklerin, firmaların E4T'lere yatırım yapma kararlarıa olumsuz etki yaptığını belirtmiştir. Özellikle İS'de, İSG'ye yönelik teknolojilerin benimsenmesi için, yüksek ilk yatırım maliyetleri önemli bir engel olarak görülmektedir (Nnaji ve Karakhan, 2020; Cai ve diğ., 2020; Sony ve diğ., 2021).

Nnaji ve Karakhan (2020), bazı teknolojilerde maliyetlerin, yalnızca donanım ve yazılım gibi çeşitli unsurlara yapılan yatırımlar ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda personelin eğitimi için gereken ek harcamalarla da yükselebildiği durumları işaret etmiştir. Bu noktada, Sukathong ve diğ. (2021), İK uygulamalarının yeni teknolojilerin kurumsal düzeyde benimsenmesini kolaylaştırıcı bir rol üstlenebildiğini vurgulamıştır. Örneğin, insan faktörü, Nİ'nin etkin entegrayonu için gerekli KBF'ler arasında yer almaktadır (Hakim ve diğ., 2021).

Eğilmez ve Koca (2018)'e göre, E4T'lere ilişkin farkındalık düzeyinin düşük olması, eğitim yolu ile aşılması gereken bir başka engel olarak görülmektedir. Luthra ve Mangla (2018), E4.0 kavramına ilişkin bilgi eksikliğinin, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar arasında oldukça yaygın olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, Delgado ve diğ. (2020b), İS projelerinde müşterilerin AG ve SG gibi E4T'lerin kullanımını zorunlu tutmamasını, ilgili teknolojilerin benimsenmesini sınırlayan faktörlerden biri olarak ifade etmiştir. Buna ek olarak, AG ve SG teknolojilerinin yaygınlaşmasının önündeki diğer önemli engeller arasında, bu sistemleri kullanabilecek yeterli sayıda ve yeterlilikte nitelikli mezunun, profesyonel ekiplerin eskliği yer almaktadır (Delgado ve diğ., 2020b). Cugno ve diğ. (2021) ise, sektörün ihtiyaçlarına paralel olarak ilgili teknolojileri etkin şekilde kullanabilecek İK'yı yetiştirmenin, önemli bir engel olarak karşımıza çıkabildiğini ifade etmiştir. Türkeş ve diğ. (2019), özellikle, küçük ve orta ölçekli işletmelerde (KOBİ), İK yetersizliğinin, E4.0 adaptasyonunun önünde ciddi bir engel oluşturduğunu vurgulamıştır. Buna paralel olarak, Eigege ve diğ. (2020) ise

personel eğitiminin eksikliğinin İSG süreçlerinin teknolojik adaptasyonu için bir engel faktörü olarak nitelemiştir. Bu duruma çözüm önerisi olarak, Moshood (2020), E4T'leri süreçlerine entegre etmeyi amaçlayan inşaat şirketlerinin, çalışanlarını bu dönüşüme uygun şekilde eğitmeleri gerekliliğini vurgulamıştır. Bu doğrultuda, şirketlerin İK'nın yetkinliklerini geliştirmek amacına yönelik olarak gereken kaynak aktarımını yapmaları önem taşımaktadır (Karimulla, 2020).

Sony ve diğ. (2021), E4.0 uygulamaları için çalışan eğitimi ve adaptasyonunun, organizasyonel başarının sağlanmasında kritik önemine dikkat çekmiştir. Sukathong ve diğ. (2021), personel eğitimini, örgütlerin yeni teknolojileri süreçlerine entegrasyonuna katkı sağlayan temel faktörlerden biri olarak değerlendirmiştir. Masood ve Egger (2020), teknolojik adaptasyon süreci için, uzman ve uzman olmayan çalışanların arasında öğrenme hızında farklılıkların bulunduğuna dikkat çekmiştir. Firmaların, İK'yı uygun şekilde eğitmesi, E4.0 uygulamalarının başarılı bir şekilde hayata geçirilmesinde önemli bir KBF olarak gösterilebilir (Nwaiwu ve diğ., 2019). E4.0'ın örgütlerce benimsenmesi, örgütler için birçok yeni beceri ve sorumluluğa dair yeni uygulamalara olan ihtiyacı da beraberinde vurgulamıştır (Khan ve diğ., 2022). Bu bağlamda Sony ve diğ. (2021), firmaların E4T kapsamında gerekli teknik bilgi ve becerilere sahip personellerini bünyesinde bulundurmasını temel bir gereklilik olarak değerlendirmiştir. Koçak ve Diyadin (2018), E4.0 ile birlikte operasyonel süreçlerin, insan gücüne olan ihtiyacın fiziksel emekten zihinsel yetkinliklere doğru dönüşmesine neden olduğunu, bu durumun ise işletmelerin nitelikli iş gücüne olan taleplerini arttırdığının altını çizmiştir. Karimulla (2020), dijital dönüşüm sürecinde eğitim, yeni sistemlerin, ekipmanların ve prosedürlerin anlaşılması ve etkin bir şekilde uygulanmasıın önemini vurgulamıştır.

Karimulla (2020), firmaların rekabet avantajını sürdürebilmeleri için problem çözümüne yönelik en etkin E4T'lere yönelmeleri, bu teknolojilere uyum sağlayacak becerileri geliştirmeleri ve konuya yönelik araştırmalar yürütmeleri ve ihtiyaca yönelik kaynakları ise tahsis etmelerine olan ihtiyacı vurgulamıştır. Türkeş ve diğ. (2019), E4T'lerin KOBİ'ler tarafından etkin şekilde benimsenebilmesi için iyi eğitilmiş İK'nın önemine dikkat çekmiştir.

Türkeş ve diğ., (2019), firmaların, E4.0'a geçiş sürecinde sorumluluk alabilecek uzmanlara ve uzmanların oluşturduğu yetkin ekiplere olan ihtiyacını vurgulamıştır. Ayrıca, Aripin ve diğ. (2019), İS süreçlerinde robotik teknolojilerinin kullanılabilmesi

için yeterli sayıda donanımlı ve yetenekli operatörün bulundurulmasının gerekliliğine vurgu yapmıştır. E4T'lerin İS'de uygulanması, güncel durumdaki mevcut iş gücünün yetkinlikleri ile kıyaslandığında daha fazla beceri ve yeterlilik talep edilmesine yol açmakta ve bu durum çeşitli zorlukları da beraberinde getirmektedir (Moshood, 2020).

Eğilmez ve Koca (2018), E4.0'ın kurumsal düzeyde firmalara entegrasyonunu engelleyen faktörler arasında yetersiz yönetim ve hükümet desteği ile politika ve uluslararası standartların eksikliğinin yer aldığının altını çizmiştir. Luthra ve Mangla (2018), inşaat 4.0'ın uygulanması ile ilgili olarak karşılaşılan temel engellerden birinin, sektöre özgü etkin sözleşmelerin, net kamu politikalarının ve yeterli sayılabilecek düzeyde standardizasyonun bulunmaması olarak belirtmiştir. Ayrıca, Eigege ve diğ. (2020), İSG uygulamalarının İS süreçlerine etkin bir şekilde entegre edilememesinin nedenlerinden biri olarak, ilgili uygulamaların genellikle ihale seçim kriterleri arasında bulunmaması olduğunu öne sürmüştür. Gelişmiş uygulama ve modellerin eksikliği, E4.0'ın benimsenmesi sürecinde önemli engellerden biri olarak öne çıkarken, vergilendirme ve raporlama alanındaki eksik uygulamalar da ilgili engelleri arttırıcı etki yapmaktadır (Sadeghi ve ve diğ., 2022). Ayrıca, örgütsel uyum ve stratejik yönetim konusundaki eksiklikler, E4.0 entegrasyonunun önündeki temel engeller arasında sayılabilir (Taher, 2021). Birçok organizasyonun, E4.0'a geçişi için dijital vizyonlarını, misyonlarını, yol haritalarını ve stratejilerini net bir şekilde ortaya koyamadığı bilinmektedir (Luthra ve Mangla, 2018).

Cugno ve diğ. (2021), E4.0 ile ilgili başlıca engellerden biri olarak kültürel direnç ve organizasyonel süreçlerin etkin bir şekilde dönüştürülememesini göstermiştir. Dikhanbayeva ve diğ. (2021), çalışanların kültürel algısının E4T'leri benimseme konusundaki engeller arasında yer alabileceğine yönelik vurgusu dikkat çekicidir. Ayrıca çalışanlar, E4T'lerin uygulanması nedeni ile kendilerine yönelik gelecekte iş kaybı yaşayabileceklerine dair çeşitli endişeler taşıyabilirler (Dikhanbayeva ve diğ., 2021). Yeni teknolojilere adaptasyon süreci içinde, çalışanlar işsizlik korkusu duyabilirler (Aripin ve diğ., 2019). E4.0'ın uygulanmasında karşılaşılan diğer bir önemli engeli ise Sony ve diğ. (2021), veri güvenliği ile ilgili duyulan endişe olarak belirtmiştir.

Firmalar, E4T'leri benimseme ya da E4.0'a yatırım yapma konusunda gönülsüz olabilirler (Aripin ve diğ., 2019). Bunun nedenlerinden biri olarak Karimulla (2020), yeni teknolojilerin genellikle şirketler ve çalışanlar tarafından karmaşık olarak

görülmesini olabileceğini vurgulamıştır. Belirtilen durum ise firmaların geleneksel yöntemleri kullanmaya devam etmesine ya da yeni E4T'leri benimsemekte tereddüt yaşamalarına yol açmaktadır (Karimulla, 2020). Masood ve Egger (2020), E4T'ler ile ilgili olarak örgütsel ve yönetsel konuların oldukça önemli engeller oluşturmasına rağmen, ilgili faktörlere değinen araştırmaların literatürde yeterince yer almadığını vurgulamıştır. Sony ve diğ. (2021), E4T'lerin yönetimi için üst yönetimin desteğinin, özellikle gerekli kaynakların sağlanması açısından kritik bir rol üstlendiğini ifade etmektedir. Sukathong ve diğ. (2021)'e göre, üst yönetimin taahhüdü, örgütleri hedeflerine ulaşmaya yönelik politika ve faaliyetlere ulaştıran bir güç olarak yer almaktadır. İnşaat projelerinin başarılı olmaları için yönetimin desteği, KBF'ler arasında yer almaktadır (Zia, 2020). Khan ve diğ. (2022)'e göre, üst yönetimin desteği ve taahhüdü, organizasyonel stratejilere uyum sağlayarak E4.0'ın etkin bir şekilde benimsenmesine olanak tanımaktadır. Koçak ve Diyadin (2018)'e göre, E4.0 ile birlikte organizasyonlar, değer zincirinde yatay ve dikey entegrasyonu sağlamak için bütünsel bir iş stratejisi geliştirmelidir. Sony ve diğ. (2021)'e göre, örgütleri dijitalleştirmek ve değişim yönetimini etkin bir şekilde yürütmek, E4.0'ın başarılı bir şekilde entegrasyonu için önemli faktörler olarak kabul edilmektedir.

Luthra ve Mangla (2018), yönetim desteği ve yönetimin katılımı ile birlikte E4.0'a yönelik sürdürülebilirlik odaklı uygulamaların benimsenebileceğine ve ilgili uygulamaların yaygınlaştırılmasının da kritik olduğuna dikkat çekmiştir. Karimulla (2020)'ye göre, E4T'lerin benimsenmesi, etkin proje yönetimi için temel bir gerekliliktir. Şirketlerin uluslararası pazarda rekabet edebilmesi için E4T'lerini süreçlerine entegre etme konusunda kararlı olmaları gereklidir (Karimulla, 2020). İS'deki paydaşların, teknoloji kullanımını benimsemesi, İS adına önemli bir adım olarak değerlendirilebilir (Nnaji ve Karakhan, 2020). Karimulla (2020)'ye göre, en son teknolojilerin kullanılması, şirketlere uluslararası rekabet avantajı elde edilebilmesi imkanı sağlar. Ayrıca, kurum kültürünün yalın yönetim anlayışı ile de birleştirilerek bir bütün olarak düşünülmesi, E4.0'ın başarılı bir şekilde entegrasyonunda KBF'ler arasında yer alabilir (Pozzi ve diğ., 2023). Aynı zamanda, Pozzi ve diğ. (2023)'e göre, E4T'ler ile entegre edilmiş sürekli iyileştirme ve yalın yönetim anlayışı, kalite ve esneklik temelli rekabet gücü ve üst düzey yönetim liderliği de E4.0'ın etkin entegrasyonuna katkı sağlayan önemli KBF'ler arasında yer alabilir.

Tüm bunların yanısıra, Sony ve diğ. (2021), siber güvenliğin başarılı bir şekilde yönetilmesinin, E4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için de KBF olarak sayılabileceğini vurgulamıştır.

Engeller ve KBF'lere yönelik literatürün bir özeti Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Engel ve KBF'lere yönelik literatür özeti

Engel ve KBF'ler	**Kaynaklar**
Maliyete yönelik engeller ve KBF'ler	
Yüksek ilk yatırım maliyetleri, maliyet-fayda ilişkisini göstermede zorluk veya konu üzerinde çalışma eksikliği	Oesterreich ve Teuteberg, 2018
Yüksek benimseme maliyetleri	Ling ve diğ., 2020
Finansal imkanlar	Moeuf ve diğ., 2020; Ling ve diğ., 2020; Bhatia ve Kumar, 2020; Dikhanbayeva ve diğ., 2021; Sukathong ve diğ., 2021
Maliyet-fayda analizi	Oesterreich ve Teuteberg, 2018; Nnaji ve Awolusi, 2021
İnsan kaynaklarına yönelik engeller ve KBF'ler	
Endüstri 4.0'a ilişkin düşük anlayış	Luthra ve Mangla, 2018
Eğitim eksikliği, teknolojilerin benimsenmesinin uzun vadede büyük avantajlar sağlayabileceği anlayışının eksikliği, yeni teknolojilerin karmaşıklığı	Karimulla, 2020
Kullanıcı eğitimi ve öğretimi, proje ekibinin yeterliliği	Moeuf ve diğ., 2020
Çalışan eğitimi	Nnaji ve Awolusi, 2021
Yönetime yönelik engeller ve KBF'ler	
Şirketlerin teknolojideki gelişmeleri takip edememesi, uzun vadeli zayıf planlama	Karimulla, 2020
Endüstri 4.0'ın benimsenmesine yönelik yetersiz araştırma ve geliştirme, şirketlerin yeni teknolojileri kullanma konusundaki isteksizliği, zayıf yönetim desteği, şirketin zayıf dijital operasyon vizyonu ve stratejisi	Luthra ve Mangla, 2018
Dijital kültür eksikliği	Luthra ve Mangla, 2018; Eğilmez ve Koca, 2018
Üst yönetim desteği	Moeuf ve diğ., 2020; Suferi ve Rahman, 2021; Hakim ve diğ., 2021
Organizasyon kültürü, net hedef ve amaçlar, bilgi teknolojileri ve inovasyon	Moeuf ve diğ., 2020
Sürekli iyileştirme	Moeuf ve diğ., 2020; Pozzi ve diğ., 2023
Değişiklik yönetimi	Moeuf ve diğ., 2020; Yadav ve diğ., 2021; Suferi ve Rahman, 2021; Sony ve diğ., 2021
Verimlilik	Nnaji ve Awolusi, 2021
Kültürel	Dikhanbayeva ve diğ., 2021

2.3.2 Yeterlilikler

E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu için yetkinlikler ve zeka tiplerinin belirlenmesine yönelik inceleme yapılmıştır. Fotwe ve Caffer (2000), İS'deki proje yöneticilerinin ve tüm proje paydaşlarının, içinde bulundukları temel rollerin ve görevlerin gündengüne artan bir değişim ve dönüşümün içinde bulunduğunu vurgulamıştır. İlgili dönüşüm, yeni koşullara uyum sağlamak adına yeterlilik ve beceri gereksinimlerini daha çok ön plana çıkarabilmektedir. Bu nedenle İS paydaşlarının, içinde bulundukları değişimi başarı ile karşılamaları için yetkinliklere önem vermeleri gerekebilir.

Shah ve diğ. (2024)'e göre, yeterlilik kavramı, yalnızca beceriyi değil; aynı zamanda iletişim, etik ve profesyonellik gibi çok boyutlu unsurları da kapsayacak şekilde daha geniş bir çerçevede ele alınmaktadır. Yeterlilik, bir çalışanın "yeterli" olarak değerlendirilebilmesi için sahip olması gereken çeşitli yetkinlikleri içeren bütüncül bir kavram olarak tanımlanabilir (Shah ve diğ., 2024). Shah ve diğ. (2024)'e göre, bir becerinin yeterlilik düzeyine ulaşabilmesi için, yalnızca teknik bilgi değil; aynı zamanda iletişim becerisi, bilgi birikimi, muhakeme yeteneği, değerler, duygular ve düşünsel unsurlar gibi çeşitli bileşenlerin bütüncül biçimde entegre edilmesi gerekmektedir. Yeterlilik yönetimi, günümüz koşullarında personelin ve kurumsal çalışma planlarının, işletmenin genel hedefleriyle uyumlu olmasını sağlamak açısından kritik bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır (Homer, 2001). Homer (2001)'e göre, kuruluşların kişilerin yeterliliklerini değerlendirme ve gerekli becerilere yönelik boşlukları tespit etme becerisi, daha uygun adayları seçmelerine imkan verebilmektedir.

Johari ve Jha (2021), her iş pozisyonun, verimli bir istihdam düzeyine ulaşması için belirli bir yeterlilik yelpazesine ihtiyaç duyacağını vurgulamıştır. Bununla birlikte, özellikle karmaşık eylemlerin söz konusu olduğu profesyonel alanlarda, yeterliliklerin tanımlanması ve ölçülmesi zorlu bir süreç olarak karşımıza çıkabilir (Oladotun ve Edosa, 2016). Oladotun ve Edosa (2016), her pozisyon için geçerli olan belirli temel yeterlilikler bulunduğunu ve bu yeterliliklerin işin niteliğine göre farklılık gösterebileceğini belirtmiştir. Örneğin, İS'de proje yöneticilerinin yetkinliklerini modern koşullara uygun hâle getirmek ve İS'nin giderek artan zorluklarını yönetebilmelerine olanak vermek için stratejik ve sistematik bir plana gereksinim duyulmaktadır (Pariafsai ve Bahzadan, 2021). İS'de proje yöneticilerinin nasıl

eğitileceğine dair yeniden bir değerlendirme yapılmasına dair ilk adım, mevcut yeterlilik boşluklarının belirlenmesi ve bu boşlukları kapatacak niteliklere dair tanımlamalar yapılmasıdır (Pariafsai ve Bahzadan, 2021). Bu bağlamda düşünüldüğünde, beceri yönetiminin İK alanında giderek daha fazla önem kazanan bir uygulama haline dönüştüğü söylenebilir (Homer, 2001).

Etkin beceri yönetimi, kuruluşların kaynaklarını daha verimli kullanmaları yönünde destekleyerek maliyet avantajı elde etmelerini de olanak verebilir (Homer, 2001). Ayrıca Homer (2001)'e göre çalışanların sahip oldukları beceri setlerinin, ilgili kurumların belirli hedefleri ve stratejik eğilimleri ile ne ölçüde örtüşebildiğini öngörmek, örgütsel başarı açısından oldukça önemlidir. E4.0'ın gerekliliklerine paralel olarak günümüzde sektör profesyonellerinin sahip olması gereken birçok yeterlilik bulunmaktadır (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020). Hernandez-de-Menendez ve diğ. (2020), teknolojik çözümlerin benimsenmesi kadar, ilgili E4T'leri etkin bir şekilde kullanabilecek nitelikli İK'nın entegrasyonun da E4.0'ın başarılı uygulanması için önemine dikkat çekmiştir.

Hernandez-de-Menendez ve diğ. (2020), gelecekteki İS profesyonellerinin, ilgili E4T dönüşüm sürecinin yalnızca katılımcısı değil, aynı zamanda destekleyicisi olmaları da gerekliliğinin altını çizmiştir. İS'de, Johari ve Jha (2021), nitelikli iş gücü için genel yeterlilikler ile birlikte, özellikle problem çözme, okuma, yazma ve temel matematik gibi bilişsel becerilerin, temel yeterlilikler içinde bulunduğuna dikkat çekmiştir. Johari ve Jha (2021)'e göre, bir işçinin verilen görevleri başarı ile tamamlayabilmesi için, bu becerilere ek olarak iletişim, ekip çalışması ve sayısal yetkinlik gibi belirli yeterlilik gruplarının edinimine de olan ihtiyacı vurgulamıştır. Bir çalışanın kendisine verilen görevleri en yüksek düzeyde performans ile yerine getirebilmesi için, yüksek düzeyde yetkinliğe ve olumlu bir motivasyona gereksinimi bulunmaktadır (Johari ve Jha, 2021).

Fotwe ve Caffer (2000)'e göre, proje yönetiminde yeterlilik, yalnızca teorik bilgiye değil; aynı zamanda bu bilginin uygulamaya dönüştürülmesine olanak tanıyan deneyim ve becerilerin bütüncül düşünülmesine dayanmaktadır (Fotwe ve Caffer, 2000). Fotwe ve Caffer (2000)'e göre, bu süreçte iletişim becerileri, bilgi alışverişini kapsayan temel bir gerekliliktir. Aynı zamanda, Fotwe ve Caffer (2000)'e göre, etkin iletişim, kapsamlı bir bilgi ve beceri temeli gerektiren önemli bir yetkinlik alanıdır.

Problem çözme becerileri, geçmişte yaşanmış sorunlar ile ilgili olarak ilgili problemleri tanımlama ve ilgili problemlere yönelik karar verme süreçlerinin bir araya getirilmesini içermektedir (Fotwe ve Caffer, 2000). Örneğin, Sunindijo ve Zou (2011)'in çalışmasında, İS'de yenileme projeleri için belirlenen 75 farklı yönetim becerisi ve bilgi alanı arasında liderlik, sözlü ve yazılı iletişim, başkalarını motive etme, İSG, karar verme ile tahmin ve planlama en kritik altı faktör olarak vurgulanmıştır. Oladotun ve Edosa (2016), iletişim becerilerinin hem sözlü hem de yazılı düzeyde etkin bir iletişimi kapsadığını ve buna karşın, problem çözme becerilerinin ise ihtiyaçları analiz etmeye, problemleri tanımlamaya ve problemlere yönelik çözüm geliştirmeye odaklanan yaklaşımların oluşturulmasını içermektedir.

İSG profesyonelleri, İS'de İSG 4.0 adaptasyonunu etkin bir şekilde desteklemek için belirli yeterlilikleri bulundurmalıdır. MMİ firmalarının, İKY stratejileri ve uygulamaları doğrultusunda, projelerdeki görevlerini yerine getirebilecek nitelikli ekipleri oluşturmaları oldukça önemlidir (Shahhosseini ve Sebt, 2011). Ribeiro ve diğ., (2021)'e göre, yeterlilik, bir bireyin belirli bir iş ya da durum karşısında etkin bir performans gösterebilmesi için temel bir özelliktir. Joerres ve diğ. (2016), teknik becerileri, ekipman bakımı ve onarımı, ekipman işletimi ve kontrolü, programlama, kalite kontrolü, teknoloji ve kullanıcı deneyimi tasarımı ile sorun giderme olmak üzere çeşitli işlevsel başlıklar altında sınıflandırmıştır. Hecklau ve diğ. (2016), teknik yeterliliklerin, bilgi teknolojileri, otomasyon programlama ve veri analizi gibi güncel teknolojik alanları içerdiğini ifade etmiştir. Ewin ve diğ. (2017), tasarım odaklı düşünmenin, paydaş katılımını ve stratejik yaklaşımı destekleyerek yenilikçi çözümler geliştirilmesine olanak tanıdığını ifade etmektedir. Bademosi ve diğ. (2018)'e göre, İS'de teknolojik yeniliklerin uygulanması, değişen iş gücü taleplerine yanıt verebilmek ve yeni çalışanları inşaat robotik sistemlerini yönetebilecek yetkinlikler ile donatmak adına pedagojik yaklaşımların geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda düşünüldüğünde, Bademosi ve diğ. (2018), geleceğin iş gücünde yer alacak bireylerin İS'de E4T'lerin uygulanmasına katkı sunabilmeleri için gerekli bilgi, beceri ve yetkinliklerin tanımlanmasının kritik önem taşıdığının altını çizmiştir. Joerres ve diğ. (2016), ikna kabiliyeti, duygusal zeka ve öğretme yetisi gibi sosyal becerilerin, teknik beceriler kadar önemli görülmesi ve ilgili alanların gelişimine yönelik eğitim olanaklarının da desteklenmesi gerekliliğine vurgu yapmıştır.

Cimini ve diğ. (2020)'ye göre, kişilerarası yeterlilikler; etkili iletişim kurma, iş birliği yapma, sosyal etkileşim kurma, liderlik gösterme, ekip içinde etkin çalışabilme ve ağ kurma gibi becerileri içermektedir. Hecklau ve diğ. (2016), kişisel yeterliliklerin ise bireylerin değerleri, motivasyonları ve genel tutumları ile ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda düşünüldüğünde, kişisel çeviklik olarak adlandırılabilen, yani bireylerin farklılıklara uyum sağlama, yeni bilgi ve yeterlilikleri benimseyerek öğrenmeye dahil edebilme kapasitelerinin gittikçe daha fazla önem kazanabileceği söylenebilir (Störmer ve diğ., 2014). Ayrıca, Ewin ve diğ. (2017), proje yönetimi ile ilgili yapılan araştırmalarda, yumuşak becerilerin *(soft skills)*, PMBOK (Proje yönetimi bilgi birikimi kılavuzu) *(A guide to the project management body of knowledge*) gibi standart kılavuzlarda yer verilmediğini ancak özellikle proje yöneticilerinin eğitimi sürecinde daha fazla vurgulanması gerekliliği ile ilgili ortak görüşler bulunduğunu ifade etmiştir. Störmer ve diğ. (2014)'e göre, gelecekte öne çıkabilecek temel yetkinlikler arasında, etkili iletişimi yönlendirme, ilişki sistemlerini yapılandırma ve bilgi ağlarını düzenleme gibi becerileri işaret etmiştir. Bu kapsamda düşünüldüğünde, Störmer ve diğ. (2014)'e göre, disiplinler arası yeterliliklerin önemi giderek artmaktadır ve ilgili yeterlilikler, çeşitli endüstriler ve uzmanlık alanları arasındaki etkileşimleri ve farklılıkları derinlemesine kavrayabilmeyi gerektirmektedir. Ayrıca, Hecklau ve diğ. (2016), metodolojik yeterliliklerin, yaratıcı düşünme, karar alma süreçlerine etkin katılım ve çatışma çözme gibi beceri ve yetenekleri içerdiğini ifade etmiştir.

İnsan zekâsının doğası, binlerce yıldır tartışılan bir konu olarak süregelmektedir (Kaufman ve diğ., 2013). Belirtilen yöndeki tartışmalar ile bağlantılı olarak zekânın ölçülmesi ile ilgili, CHC (*Cattell-Horn-Carroll*) teorisi ve PASS (planlama, dikkat-uyarılma, eşzamanlı ve ardışık) modeli gibi teoriler literatürde bulunmatadır (Kaufman ve diğ., 2013). Carol Dweck (2006)'nın büyüme odaklı zihniyet teorisi'ne göre, bireylerin kendilerini nasıl algıladıkları ve zorluklar ile nasıl başa çıktıkları, iki farklı türde zekâ anlayışını temel almaktadır (Prodyanatasari ve diğ., 2023). Prodyanatasari ve diğ., (2023), ilk türün, zekâ ve yeteneklerin sabit ve değiştirilemez olduğu inancını benimseyen sabit zekâ olduğunu vurgulamıştır. İkinci türün ise, zekâ ve yeteneklerin çaba ve eğitim ile geliştirilebileceğine yönelik inanca sahip ilerleme zekâsıdır (Prodyanatasari ve diğ., 2023).

Howard Gardner (1983)'ün ÇZT'si, her bireyin yalnızca sözel veya mantıksal-matematiksel zekâ ile sınırlı olmadığını ve ilgili zeka türlerinin ötesinde çeşitli zekâ türlerine sahip olduğunu vurgular (Prodyanatasari ve diğ., 2023). Gardner, ÇZT'sini, geleneksel zekâ testlerinin birçok yeteneği göz ardı ettiğini fark ettiği için geliştirmiştir (Kaufman ve diğ., 2013). ÇZT'ye göre, sözel-dilsel, mantıksal-matematiksel, görsel-uzamsal, bedensel-kinestetik, müzikal, kişilerarası ve kişisel olmak üzere yedi farklı zeka kategorisi bulunmaktadır (Prodyanatasari ve diğ., 2023). Cavas ve Cavas (2020), ÇZ'nin, IQ (zeka katsayısı) (*intelligence quotient*) testleri ile ölçülebilen sadece iki yönün ötesinde, zeki olmanın pek çok farklı yönü olduğunu savunmaktadır. Prodyanatasari ve diğ. (2023) ise Carol Dweck (2006)'nın teorisinin, başarıları öğrenme fırsatları olarak görmeyi ve teşvik edici bir eğitim ortamı yaratmayı vurguladığının altını çizmiştir. ÇZT ise, zekanın çeşitliliğini kabul ederek, tüm zeka türlerinin eğitimde geliştirilmesi gerekliliğini vurgular (Prodyanatasari ve diğ., 2023).

ÇZT, 1970'lerin sonları ve 1980'lerin başlarında Amerikalı psikolog Howard Gardner tarafından ortaya atılmış ve her bireyin kendine özgü bir öğretim biçimine sahip olduğunun altını çizmektedir (Cavas ve Cavas, 2020). Tuğberk ve Şirin (2024), Gardner'ın, matematik ve okumanın ötesindeki çoklu becerilerin önemini vurgulayarak dünyadaki pek çok okul ve eğitim ile ilgili hareketlere ilham kaynağı olduğunu vurgulamıştır. Pratheesh ve Khalid (2024)'e göre, ÇZT ile uyumlu eğitim yaklaşımlarını benimsemek, kurumsal örgütlerde işe alım ve eğitim süreçlerinin daha verimli olmasına katkı sağlayabilir. ÇZT, zekaya yönelik yeni bir bakış açısı sunmuş olup, farklı bakış açıları geliştirilmesini sağlar (Pratheesh ve Khalid, 2024). Örneğin, Pratheesh ve Khalid (2024), birkaç dili öğrenmek ve kullanmanın beyindeki verimliliği arttırabileceğini vurgulamıştır. Vem ve diğ. (2024) ise eğitim politikalarını oluşturmak ile ilgilenen profesonellerin manevi literatürü benimsemeleri gerektiğini vurgulamıştır. Vem ve diğ. (2024)'e göre, üst bir ölçekte manevi zekaya sahip eğitim çalışanları, çalışma hayatlarında daha fazla anlamlılık hissedebilecekler ve varoluşsal amaçlarına ulaşabilecekdir. Ye ve diğ. (2024), öz yeterlilik, motivasyon ve esneklik gibi yapıcı psikolojik özelliklerin, duygusal zeka (DZ) (*Emotional Intelligence - EI*) ile bağlantılı olarak zihinsel refah ve akademik başarı arasındaki ilişkiye aracılık ettiğini ifade etmiştir. DZ'yi geliştirmeye yönelik eylemlerde bulunmak, üniversite öğrencileri arasında hem zihinsel refahı hem de öğretim başarısına destek olabilir (Ye ve diğ., 2024). DZ'nin geliştirilmesi ile birlikte öğrenciler, maruz kaldıkları çeşitli

zorbalıklara, entegrasyon sorunlarına, zihinsel ve öğretimle ilgili güçlükler ve önceki terk durumları gibi engelleri aşmalarına destek olabilir (Katsarou ve diğ., 2024). Katsarou ve diğ. (2024)'e göre öğrenciler DZ'lerinin gelişimine paralel olarak, sürekli eğitime dair daha sağlıklı bir tutum, özerklik ve verimlilik geliştirebilir ve eğitmenlerine daha fazla ilgi gösterebilirler. Ayrıca, DZ'nin öğrenmeye yönelik alanlarda, yıkıcılığın engellenmesi, sosyal hizmet eğitiminde bağlantılar kurma ve sürdürme gibi çeşitli kullanımları vardır (Katsarou ve diğ., 2024).

İSG profesyonellerinin sahip olduğu zeka türleri, İSG4.0'ın inşaat sektörüne entegrasyon sürecini etkileyebilir. Howard Gardner (1983; 1999), zeka ve yaratıcılık ile ilgili olarak çeşitli araştırmalar gerçekleştirmiştir (Strauss, 2013). Gardner (1983), IQ ve SAT *(Scholastic assesment/aptitude test)* gibi testlerin yalnızca bireyin yeteneklerinin veya potansiyelinin belirli bir bölümünü değerlendirebildiğini vurgulamaktadır (Talu, 1999). Gardner ve Moran (2006), kültürel bağlamda zeka türlerine ilişkin; zorlukları kavrama ya da belirli alanlarda değerli sonuçlar üretme amacının altını çizmiştir. Gardner'ın zeka tanımı ise; gerçek hayatta karşılaşılan problemleri çözmeye ilişkin, işe yarayabilen sonuçlar elde etmek ve yeni sorunları ortaya koymak ya da fark edebilmek amacına yönelik problem çözme becerilerinin ardışık şekilde kullanılması ile ilişkilidir (Salman, 2018). Gardner, 1999 yılında ÇZT'sini güncelleyerek doğa zekasını da modeline eklemiştir (Waterhouse, 2006). Gardner'ın ÇZT'sini ortaya koymasının ardından, çeşitli yeni zeka türleri ile ilgili de yeni araştırmalar yapılmıştır (Talu, 1999).

İS projelerinde görev alacak personellerin seçimi sürecinde, yeterliliklerler ile ilişkili olarak belirli zeka türlerine sahip çalışanların tercih edilmesi, İSG4.0 sistemlerinin etkin bir şekilde entegrasyon süreçlerine katkı sağlayabileceği literatür incelendiğinde görülmüştür. Örneğin; Salman (2018), sözel/dilsel zeka düzeyi yüksek olan bireylerin, genellikle şairlik, yazarlık ya da gazetecilik gibi iletişim odaklı meslekler ile ilgilendiklerini ifade etmiştir. Salman (2018), mantıksal/matematiksel zekaya sahip bireyler ise sayıların kullanımı ve mantıksal düşünme konusunda yetkin olduklarını ifade ederken, Gardner (1983) ise ilgili zeka tipine sahip kişilerin problem çözme konusunda genellikle hızlı ve etkili hareket ettiklerini vurgulamıştır. Talu (1999), uzamsal/görsel zekanın, bir nesnenin üç boyutlu yapısını ve görünümünü zihinde canlandırma yeteneği ile ilişkisini vurgulamıştır. Uzamsal/görsel zeka, mimarlık, mühendislik, yelkencilik ve pilotluk gibi alanlarda gereklidir (Salman, 2018). Gardner

(1983), müzikal zekanın, bireyin herhangi bir eğitim almadan seslere tepki verebilmesi, bir enstrüman konusunda hızlı ilerleme kaydedebilmesi ve müzik ile ilgili bir yaşama hazırlık yapabilmesi gibi yetkinlikleri kapsadığını ifade etmiştir. Müzikal zeka türüne sahip kişiler, notaları ayırt etme, ritim duygusu, ton ve melodiye hassasiyet gibi konu ile ilişkili becerilere sahiptir ve beste yapabilirler (Salman, 2018). Bedensel-kinestetik zeka ise Gardner (1983) tarafından, bedenin bilişsel yönlerini kullanabilme becerisi olarak tanımlanmakta ve aynı zamanda bireyin hareketlerini etkin bir şekilde kullanabilme kapasitesi olarak açıklanmaktadır (Gardner, 1983; Talu, 1999). İlgili zeka türüne sahip kişiler genellikle, dansçılar, sporcular, cerrahlar ve el işçileri gibi mesleklerde kendini göstermektedirler (Salman, 2018). Gardner (1983), kişilerarası zekanın, bireyler arasında bulunan özellikle zihinsel durumları, huyları, motivasyonları ve niyetlerdeki farklılıkları anlama becerisine dayandığını ifade etmiştir. Gardner (1983), ilgili zeka türünün, kişinin kendi duygusal deneyimlerine ulaşabilme, başkalarının duygularını tanıma, bu duyguları ayırt etme ve tanımlama becerisi ile birlikte, bireyin kendi davranışlarını anlama, yönlendirme ve bu süreçten iyi derecede fayda sağlama yeteneğini içerdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda kişilerarası zeka, kişinin kendisi ile ilgili farkındalığı ve bu farkındalık doğrultusunda çevresi ile uyumlu şekilde etkileşim kurma kabiliyeti olarak da tanımlanabilir (Gardner, 1999). Zeka türlerinden biri olan doğa zekâsını ise; Salman (2018), doğaya duyarlı olma, çevreye katkıda bulunma arzusu olarak tanımlarken, Talu (1999), bitki örtüsünü tanıyabilme, doğadaki belirgin farklılıkları ayırt etme ve bu beceriyi avcılık, tarım ya da biyoloji gibi işlevsel alanlarda kullanabilme yeteneği olarak tanımlamıştır. Mentalup (2019), varoluşsal ya da ruhsal zekâyı ise, genellikle mantık yürütmenin zor olduğu ya da doğrudan hissedilemeyen konular için, soyut ve sezgiye dayalı olarak anlamlı çıkarımlar yapabilmeye yönelik kabiliyet olarak ifade etmiştir. Duygulu (2011)'e göre, okuma zekâsı, bireyin kelime dağarcığını ve zihinsel kapasitesini geliştirmesi ve düzenli okuma alışkanlığı edinmesi ile yakından bağlantılıdır. Okuma alışkanlığının gelişmesi, okuma zekâsı ile diğer zekâ türleri arasındaki ilişki sağlamlaştırabilir ve böylece bireylerdeki genel zekâ seviyesinin çeşitli alanlarda da ilerlemesini sağlayabilir (Duygulu, 2011).

Yeterliliklere ve ilişkili zeka tiplerine yönelik literatür özeti, aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Yeterliliklere yönelik literatür özeti

Yeterlilikler	Kaynaklar
Liderlik becerileri	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011; Cimini ve diğ, 2020
Teknik beceriler, bir takım içinde çalışabilmek	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Cimini ve diğ., 2020
Risk yönetimi, İSG yönetimi, maliyet yönetimi,	Riberio ve diğ., 2021
Problem çözümü	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Riberio ve diğ., 2021
Analitik beceriler	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016
Yaratıcılık	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011
İnovasyon tabanlı yaratıcılık	Verma ve Venkatesan, 2022
Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak	Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020
Tasarım odaklı düşünmek	Ewin ve diğ., 2017
İletişim becerileri	Fotwe ve Caffer, 2000; Cimini ve diğ., 2020
İkna kabiliyeti	Joerres ve diğ., 2016
Zeka tipleri	
Matematiksel zeka, sözel-dilsel zeka, müzik zekası, kişilerarası zeka, uzamsal-görsel zeka, içsel zeka, doğa zekası, bedensel-kinestetik zeka, varoluşsal zeka	Gardner, 1983; Gardner, 1999; Gardner, 2000; Salman 2018; Talu, 1999; Waterhouse, 2006; Cimini ve diğ., 2020; Joerres ve diğ., 2016
Okuma zekası	Duygulu, 2011

2.3.3 OSHA standartları

OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*- Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi), işyeri güvenliği ile ilgili kuralları belirleyen ve ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de Çalışma Bakanlığı'na bağlı olarak kurulmuş olan bir devlet kurumudur (Woodson, 2012). OSHA, 1970'lerin başında yürürlüğe giren İSG yasası sonucunda kurulmuştur (360training, 2022). 360training (2022), ilgili yasanın, ABD'de çıkarılan ilk İSG düzenlemesi olmasa da, kapsam açısından en genişi olduğunu vurgulamıştır. Shrm (2022), OSHA standartlarını (OSHAS), işverenlerin, bünyelerinde istihdam ettikleri çalışanlarını İSG risklerinden korumak için kullanmaları gereken bir dizi yöntemleri tanımlayan kurallar bütünü olarak ifade etmiştir. Safetyculture (2022), OSHAS'ın, ABD'deki işletmelerin iş İSG ile ilgili tehditleri azaltmasını sağlamak amacına yönelik OSHA tarafından hazırlanan gereklilikleri içerdiğini ifade etmiştir.

Safetysign (2022), OSHAS'ın tüm işyeri çalışanlarının İSG'ye yönelik politikaların geliştirilmesine katılımını teşvik ettiğini vurgulamıştır.

OSHAS, bir işyerinde çalışanların tümünün İSG açısından korunmasını sağlamak amacına yönelik belirlenmiştir (Safeopedia, 2018). Safeopedia (2018), OSHA'nın temel ilkesinin, işverenlerin güvenli bir çalışma ortamı sağlama yükümlülüğüne sahip olduğunun altını çizmiştir. Safetysign (2022), her endüstride işverenlerin uyması gereken OSHA güvenlik kurallarının birbirlerinden farklılaşsa bile, OSHA kuralların ortak amacının çalışanları korumak olduğunu ifade etmiştir. OSHAS, genel endüstri, inşaat, denizcilik ve tarım genel endüstrisi, inşaat, denizcilik ve tarım olmak üzere dört ana kategoride tanımlanır (OSHA, 2019). 360training (2022), bazı standartların sektöre göre farklılık gösterecek şekilde detaylandırıldığının altını çizmiştir. İlgili detayların bir kısmı yalnızca belirli sektörlere özgü iken, detayların bazıları ise tüm sektörlerde geçerlidir (Creative Safety Supply, 2022). İS'ye yönelik standartlar, İS'deki tüm İSG işverenleri için gerekli olan belirli ihtiyaçlara odaklanmaktadır (Keller, 2010). Keller (2010), İS işverenlerinin ilgili kurallara ve 29 CFR Bölüm 1910'daki genel sanayi standartları dahil olmak üzere ilgili tüm düzenlemelere uyması hukuken mecburiyet gerektirdiğinin altını çizmiştir. Firmaların faaliyet alanları ya da büyüklüklerine bakılmaksızın, tüm işyerlerinin OSHAS'a uyması zorunludur (Breitbarth, 2021). Breitbarth (2021), tüm işverenlerin yerine getirmesi gereken beş temel yükümlülüğün bulunduğunu vurgulamış olup, bunlar; çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak; OSHA tarafından hazırlanan ve İSG ile ilgili afiş ve bilgilendirme materyallerini çalışanların görebileceği alanlara yerleştirmek; iş ile ilgili kazalar, meslek hastalıkları ve acil durumlara yönelik kayıtları tutmak; içeriği kapsamlı bir İSG planı oluşturmak ve iş yerlerinde bulunan çalışanları tüm potansiyel tehlikeler konusunda düzenli olarak bilgilendirme amacına yönelik eğitimler düzenlemektir. Paoletta (2019), çalışanların, OSHA'ya şikâyette bulunma ve çalıştıkları iş yerlerinde denetim talep etme hakkı olduklarını vurgulamıştır. Compliance Quest (2022), OSHA'nın herhangi yeni bir standardı yürürlüğe koymadan önce, geniş çaplı kamuoyu katılımını içeren detaylı bir süreci tamamlaması gerekliliğine dikkat çekmiştir. OSHA, iş yerlerinde ciddi bir yaralanma ya da ölüm yaşandığında, istenmeyen bu olayın ardından planlı denetimler gerçekleştirir ve kendi kurallarının uygulanmasını sağlar (Creative Safety Supply, 2022). OSHA, işverenlerin

ilgili kurallara uymadığını tespit ettiği durumlarda, para cezası ya da altı aya kadar uzanabilen çeşitli yaptırımlar gerçekleştirebilir (Creative Safety Supply, 2022).

Bu doktora tez çalışması kapsamında incelenen 10 OSHAS'ın kapsamı aşağıda kısaca verilmiştir:

• Düşme Koruması, inşaat (*Fall protection, construction*) (29 CFR 1926.501): çalışanların karşılaşabileceği düşme riskleri ile ilgili işverenlerin çalışma alanlarında yapması gerekenlere odaklanmaktadır.

• Tehlike İletişim Standardı, genel endüstri (*Hazard communication standard, general industry*) (29 CFR 1910.1200): Firma ile ilişkili tüm kimyasal maddelerin potansiyel tehlikelerinin işverenler tarafından incelenmesi ve çalışanlara bildirilmesi gerekliliği ile ilgilidir.

• Solunum Koruması, genel endüstri (*Respiratory protection, general industry*) (29 CFR 1910.134): İşyerlerinde olabilecek çeşitli zararlı tozlar, sisler, dumanlar gibi, çalışanların sağlığını tehdit edebilecek durumlarda işverenlerin alması gereken önlemlere odaklanır.

• İskele, genel gereklilikler, inşaat (*Scaffolding, general requirements, construction*) (29 CFR 1926.451): İskelelerde çalışan işçilerin güvenliğini sağlamaya yönelik, işverenlerin alması gereken önlemlere odaklanır.

• Merdivenler, inşaat (*Ladders, construction*) (29 CFR 1926.1053): Sabit veya taşınabilir merdivenlerin işyerlerinde neden olabileceği olası risklere odaklanarak, işverenlerin alması gereken önlemlere odaklanır.

• Tehlikeli Enerji Kontrolü (kilitleme/etiketleme), genel endüstri (*Control of hazardous energy (lockout/tagout), general industry*) (29 CFR 1910.147): Tehlikeli enerjilerin çalışma ortamlarında oluşturabileceği İSG risklerine ilişkin, işverenlerin alması gereken önlemlerin ayrıntıları ile ilgilenir.

• Motorlu Endüstriyel Kamyonlar, genel endüstri (*Powered industrial trucks, general industry*) (29 CFR 1910.178): İşyerlerinde motorlu endüstriyel kamyonların güvenli kullanımı gibi, çalışanlara risk oluşturmayacak şekildeki özel ayrıntılara odaklanır.

• Düşme Koruması–Eğitim Gereksinimleri (*Fall protection-training requirements*) (29 CFR 1926.503): İşyerinde düşmeden kaynaklanabilecek risklere yönelik,

işverenlerin işçileri bilgilendirme ve eğitme yükümlülüğüne yönelik çeşitli detayları içerir.

• Göz ve Yüz Koruması (*Eye and face protection*) (29 CFR 1926.102): Çalışanların yüz ve gözlerine zarar verebilecek risklere karşı, işverenlerin koruma yükümlülüklerine odaklanan bir standarttır.

• Makine ve Makine Koruması, genel gereksinimler (*Machinery and mahine guarding, general requirements*) (29 CFR 1910.212): Dönen parçalarve kıvılcımlar gibi işyerlerinde meydana gelebilecek çeşitli makinelerde çalışan işçileri koruma amacına yönelik, işverenlerin alması gereken önlemleri içeren bir standarttır.

Güncel literatür incelendiğinde, OSHA standartlarına yönelik çalışmaların yapılmaya devam ettiği görülmüştür. Örneğin, Choe ve diğ. (2016), çalışma istatistikleri bürosundan *(Bureau of Labor Statistics)* elde ettikleri verileri kullanarak, ABD'deki İS'de yer alan yapısal demir ve çelik endüstrisinde mesleki yaralanmaların önlenmesine dair güncellenmiş OSHA 29 CFR 1926 standardının etkin olduğuna dair bulgular sunmuştur. Benzer şekilde, Al-Bayati ve diğ. (2021), OSHA'nın ölüm ve tehlike raporlarının özetlerine dair ilgili metinleri detaylı olarak incelemiş ve gelecekte benzer vakaların tekrarını önlemeye yönelik, politikacıların yeterli olmayan güvenlik düzenlemelerini belirlemelerine katkı sağlamayı amaçlayan bir araştırma gerçekleştirmiştir. Koshy ve diğ. (2021), iş yerlerinde gelecekte karşılaşılabilecek biyolojik tehditler ve bulaşıcı hastalıklar ile ilgili bir araştırma yürütmüştür. Grant ve Hinze (2014), kafes sistemlerinin kurulumu sırasında ortaya çıkan riskleri daha iyi değerlendirebilmek amacına yönelik, OSHA'nın ölüm ve felaket olayları ile ilgili bilgileri içeren veritabanını analiz etmiştir. Malaby (2016), OSHA'nın laboratuvar standartlarının tarihsel gelişimlerini içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Chokor ve diğ. (2016), OSHA'nın raporlama verilerini MÖ desteği ile analiz eden bir çalışma gerçekleştirmiştir. Woodson (2012) ise, işverenlerin OSHA denetimlerinden başarısız olması ve bu denetim sonucunda işverenlerin mali kayıplar ile karşılaşmasını önlemek amacına yönelik olarak bilgi ve temel yükümlülükler konusunda destek vermeye çalışmıştır. Taylor (2015), OSHA'nın 10 saatlik güvenlik eğitiminin sağladığı yararları incelemiş ve iş kazaları ile yaralanmalara dair olan kayıtların etkin tutulmasına yönelik çeşitli önerilere odaklanan bir araştırma yapmıştır. Biller (2016), OSHA'nın göz ve yüz koruma standardı'nın güncellenmiş durumuna odaklanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Keller (2010) ise, elektrik problemlerine yönelik olarak ilgili İSG'yi

sağlamak amacıyla OSHA'nın alt bölüm düzenlemeleri üzerine odaklanmıştır. Tepe (2021), E4.0'ın İSG üzerindeki etkilerini değerlendirmiş, E4.0'ın çeşitli meslek hastalıkları ile iş kazalarına neden olabilecek yeni tehlikeleri nasıl ortaya çıkarabileceğini detaylı biçimde ele almıştır.

Graphic products (2022), geçmiş yıllardan günümüze kadar, çalışanların karşı karşıya kaldığı İSG risklerini azaltmak için birçok kural, düzenleme ve yeni standartlar üzerinde çalışıldığını vurgulamıştır. E4amf (2022), E4.0'ü, üretim sektöründe iş süreçlerini ve üretim sistemlerini iyileştirmek amacına yönelik verilerin ve dijital teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılması olarak tanımlamıştır. Badri ve diğ. (2018), gerçek zamanlı iletişim ve insan-makine işbirliği gibi unsurların, endüstride giderek daha fazla önem kazandığını vurgulamıştır. Badri ve diğ. (2018), E4.0'ın günlük yaşam üzerindeki etkilerinin artması ile birlikte, yeni bir paradigma değişikliği yaşanabileceğine ve bu durumun İSG yönetimini de etkileyebileceğine değinmiştir. Ayrıca, İSG'nin E4T'lere entegrasyonu konusunda farkındalığın artırılması önemlidir ve bu süreçte yer alan uzmanların ve sanayicilerin işbirliği yapması, E4.0'a dönüşümün başarılı geçişi için kritiktir (Badri ve diğ., 2018). Zorzenon (2022), E4T'leri, iş dünyasında ve çalışanlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olan yeni bir üretim modeli olarak tanımlamıştır. Ancak, Zorzenon (2022), E4T''lerin nin İSG üzerindeki etkilerinin günümüzde hala belirsiz olduğunu vurgulamıştır. Iavicoli ve diğ. (2022), E4T'lerin büyük veri, eklemeli üretim, bulut bilişim gibi üretim teknolojilerindeki otomasyon ve veri paylaşımındaki yenilikleri de içerdiğini ifade etmektedir. E4T, yeni gelişebilecek İSG risklerine de yol açabilir ve bu durum, etkin bir risk değerlendirmesi için ihtiyaç gerektirebilir (Iavicoli ve diğ., 2022). Javaid ve diğ. (2022)'ye göre, E4T'ler gelecekteki yenilikler ve iş geliştirme ile ilgili olarak güncel bakış açıları sunduğundan, sürdürülebilir bir ortam oluşturma konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Javaid ve diğ. (2022), E4.0 döneminde üretim, bilgi ve iletişim sistemlerinin, birbirleri ile yakından ilişkisine vurgu yapmıştır. E4T'ye yönelik olarak dönüşüm, endüstriyel üretimin daha verimli, esnek ve kaliteli hale gelmesini sağlayarak, yapılış şekli ile çalışanların İSG'sini olumlu yönde etkileyebilir (Leso ve diğ., 2018). Standartlar, E4.0'a geçişin temel yapı taşlarından biridir (E4amf, 2022). E4.0'ı geliştirebilmek için standartların gerekliliğine dair bilinç düzeyinde gündengüne iyileşme olmaktadır (E4amf, 2022).

2.3.4 Olgunluk modelleri

İS'de İSG4.0 için olgunluk modellerinin (OM) kullanımına yönelik çalışmalara literatürde günden güne daha çok rastlanmaya başlanmıştır. Chen ve diğ. (2024), OM'lerin İS'de en çok kullanılan olgunluk değerlendirme araçlarından biri haline geldiğini ifade etmiştir. Bu doktora tez çalışması kapsamında literatürde bulunan mevcut olgunluk modelleri araştırılmıştır. Literatürde bulunan çeşitli olgunluk modellerinin İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik katkı sunabilme potansiyelinin olduğu görülmüştür.

Mevcut çalışmalar, olgunluk modellerinin firmalardaki güvenlik kültürünü değerlendirmenin etkin bir yolu olabileceğini vurgulamaktadır (Filho ve Waterson, 2018). Soltanmohammadlou ve diğ. (2023), inşaat güvenlik yönetiminde güvenlik problemlerinin üstesinden gelebilmek için E4.0 teknolojilerini entegre ederek, oluşturulacak olan akıllı güvenlik OM'lerine olan ihtiyacı vurgulamıştır. Benzer şekilde, Kusma ve diğ. (2024) de birçok işletmenin E4.0 kavramları ve bu kavramların İSG ile ilişkisine yönelik, OM'lerden destek alarak kapsamlı bir araştırmaya ihtiyaç olabileceğinin altını çizmiştir.

Literatür incelendiğinde, inşaat projelerinde güvenliğin olgunluk düzeyini bilmenin, iş kazalarını önlemek için önemli olduğu görülmüştür. Örneğin, Maryani ve diğ. (2019), güvenliğin olgunluk düzeyini bilmenin, iş kazalarını önlemek için önemini vurgulamıştır. Güvenlik kültürünün olgunlaşmasının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar, organizasyonların güvenlik risklerini yönetme ve sürekli olarak yüksek bir güvenlik performansı elde etmeye yönelik çabalarını destekleyebilir (Trinh ve Feng, 2022). Güvenlik olgunluğunun belirlenmesi, beklenen güvenlik performansını değerlendirebilmek için kullanılabilen, birbirine bağlı olabilecek faktörleri de ele alabilen bir inşaat organizasyonu niteliği olarak değerlendirilebilir (Karakhan ve diğ., 2018).

İnşaat 4.0'ın uygulandığı günümüz çağında, çok sayıda akıllı bilgi teknolojisinin ve yönetimsel yaklaşımların İS'de uygulanmasına rağmen, inşaat yönetiminin olgunluğunun nasıl değerlendirileceği konusunda süregelen belirsizlikler bulunmaktadır (Lin ve diğ., 2022). Belirtilen belirsizliklere rağmen, literatürde konuya açıklık getirmek adına çalışmaların yapılmaya devam edildiği görülmüştür. Örneğin; Trinh &Feng (2022), çalışmasında inşaat güvenlik kültürünü ölçmek için iki aşamalı

bir güvenlik OM önermiştir. Modelin ilk aşaması, güvenlik modelini oluşturmaya yönelik literatürün incelenmesine, ve ikinci bölümü ise delphi tekniği kullanılarak modelin değerlendirilmesine dayandırılmıştır (Trinh &Feng, 2022). Maryani ve diğ. (2019), çalışmasında bir inşaat projesinin güvenlik olgunluk düzeyini değerlendirebilmek için İS'de sahalarda kullanılmak üzere bir güvenlik anketi tasarlamıştır. Kusma ve diğ. (2024), E4.0 bağlamında İSG'yi değerlendirmek için bir OM, önermekte olup, strateji, liderlik, operasyonlar, organizasyon kültürü, insanlar, yönetişim ve teknoloji olmak üzere yedi analiz grubundan oluşan bir çerçevede geliştirmiştir (Kusma ve diğ., 2024). Kusma ve diğ. (2024), kriterlere ağırlık atayarak modelin etkinliğini değerlendirmek için en iyi-en kötü yöntemini (*the best-the worst - BWM*)'yi kullanmıştır. Lin ve diğ. (2022), çalışmasında, literatür incelemeleri, anket, uzman görüşleri ve vaka çalışması ile birlikte 5 değerlendirme boyutu ve 20 değerlendirme göstergesi içeren bir şekilde olgunluk değerlendirme tablosu oluşturmuştur. OM araştırmalarında genellikle, çeşitli etiketlere sahip beş seviyeli bir olgunluk ölçeği kullanılmaktadır (Iftadi ve diğ, 2023). Chan (2023)'ün çalışmasında ise, Hong Kong'daki (yeni) inşaat projelerini değerlendirmek için bir güvenlik kültürü olgunluğu müşteri güvenlik kültürü, ana yüklenici güvenlik kültürü ve alt yüklenici güvenlik kültürü olmak üzere çerçevesini üç düzeyde geliştirmiştir.

Soltanmohammadlou ve diğ. (2023)'nin çalışmasının bulguları, güvenlik olgunluğunu ilerletmek için E4.0 teknolojilerini süreç, insanlar ve politika alanlarına entegre etmenin büyük önemini vurgulamıştır. İS'de güvenlik olgunluğunu değerlendirmek için yapılan çalışmalar yalnızca inşaat aşaması için değil, PYD'nin diğer aşamalarını da kapsayabilir; örneğin, Karakhan ve diğ. (2018), sözleşme imzalanmadan önce inşaat müteahhitlerinin güvenlik olgunluğunu değerlendirmeyi, birçok mal sahibinin uygulamaya başladığını, uygulamayan müteahhitlerin ise başlaması gereken etkin bir strateji olarak değerlendirmiştir. Karakhan ve diğ. (2018)'e göre, işyeri güvenliği için sözleşmeyi, güvenlik koşullarını daha çok önemseyen müteahhitler ile imzalamak, güvenlik, kalite, maliyet ve süre açısından proje performans sonuçlarını iyileştirebilir. Diğer bir çalışma olarak, Endroyo ve diğ. (2017), inşaat öncesi güvenlik planlamasını (İÖGP) geliştirmek için, İÖGP'nin olgunluğunun nasıl değerlendirileceğini ölçmüştür. Endroyo ve diğ. (2017), çalışmasında yöntem olarak, anket, mülakat çalışması ve odak gruplar için tartışma gibi yöntemleri kullanmıştır. Bu doktora tez çalışmasında kullanılan anket ve delphi çalışmalarının sonuçları da, (örn; Maryani ve diğ., 2019;

Karakhan ve diğ., 2018; Endroyo ve diğ., 2017)'nin çalışmasına benzer şekilde İS'de, tüm PYD boyunca firmaların ve İS çalışanlarının, İSG uzmanlarının kendi olgunluk düzeylerini ölçebilmek üzere bir girdi olarak değerlendirilmiştir.

Olugboyega ve Windapo (2019)'un çalışması, İS'de güvenlik kültürünün boyutlarını tanımlamış ve YBM'nin belirlenen boyutlarda inşaat işçilerinin güvenlik olgunluğunu geliştirmesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Poghosyan ve diğ. (2020), bireysel ve kurumsal olmak üzere tasarımcıların tasarım yolu ile İSG risklerini azaltma amacına yönelik web tabanlı bir yetenek olgunluk modeli geliştirmişlerdir. Filho ve Waterson (2018), OM ve güvenlik kültürü konularını içeren belirledikleri 41 adet makalenin içerik analizlerine odaklanmışlardır. Moreira ve diğ. (2021), İS'de çalışacak geleceğin profesyonellerinin yetiştirildiği akademik ortamlara ilişkin, güvenlik kültürü olgunluğunu değerlendirmeye odaklanmışlardır. Jia ve diğ. (2013), büyük ölçekli inşaat projeleri için risk yönetimi olgunluğunu ölçmek için bir OM önerisinde bulunmuşlardır. Benzer şekilde, Mohamed ve diğ.(2018), Malezya'da riske dayalı denetim uygulamalarının olgunluk seviyelerini ölçmeye yönelik araştırma yapmıştır. Onur (2007), proje yönetiminde stratejik planlamaya yönelik işletmelerin olgunluk seviyelerini ölçmek için bütünleşik yetenek olgunluk modeli üzerinde çalışmıştır. Omacan (2008) ise, bütünleşik yetenek olgunluk modeli için kritik başarı faktörlerini belirlemiştir. Oswald ve Lingard (2019), İSG iyileştirmelerinin inşaat liderleri tarafından daha etkin yapılabilme ihtimalinden yola çıkarak ilgili alanı anlamak ve izlemek için bir sağlık ve liderlik güvenlik modeli geliştirmiştir. Kerzner (2003) ve Kerzner (2001), proje yönetiminde mükemmelliğe ulaşabilmek amacına yönelik olarak beş olgunluk seviyesinden oluşan proje yönetimi OM geliştirmiştir. OGC (2006), program, pörtföy ve proje yönetimi süreçlerini iyileştirmeye yönelik portfolyo, program, proje yönetimi olgunluk modeli üzerinde çalışmıştır. Yıldız (2016), Türkiye'de belirli teşvikler ile desteklenen kuruluşların, süre, maliyet, kalite gibi çeşitli proje yönetimi konularında olgunluklarını ölçmeye, değerlendirmeye, olgunluk seviyelerinin arttırılması amacına yönelik çözüm önerileri sunmak üzerine çalışmıştır. Literatür taramasının sonuçları, İS'de İSG4.0 için olgunluk modellerinin destek olma potansiyelini desteklemiştir.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu doktora tez çalışması, E4T ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmayı amaçlamıştır. Bu doktora tez çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Sosyal ve Beşeri Bilimler İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'dan 27.10.2021 tarihinde 199 proje numarası ile onay almıştır. Bu tezin amaca yönelik olarak hedefler, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak E4T'lerin kullandıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili girdi sağlamak, İS'deki tüm PYD'yi İSG açısından inceleyerek, E4T ve GYY'lerin entegrasyonuna yönelik öneriler geliştirmek, İPY'nin bütün süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına ve doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine ve bu konudaki yeterliliklerin belirlenebilmesine yönelik araştırma yapmak, literatürde bulunan mevcut OM'leri araştırmak, kavramsal modeli oluşturmak, doğrulamak ve test etmektir. Doktora tezinde yöntem olarak, anket çalışması, her biri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışması (DÇ) ve tüm bulgular birleştirildikten sonra, tüm bulguları ve bulgular doğrultusunda oluşturulan kavramsal modeli doğrulamaya ve test etmeye yönelik uzmanlar ile mülakat sağlanmıştır. Bu doktora tez çalışmasının tüm araştırma yöntemlerinde örneklem kümesi olarak araştırma konusu ile ilgili sektörde tecrübesi olan ve/veya akademik yayını olan profesyonellere ve araştırma konusu ile ilgili akademik yayını olan akademisyenlere ulaşılmıştır. Katılımcılardan akademisyen olanlara yayınlarında belirttikleri e-posta iletişim adreslerinden, sektör çalışanlarına ise LinkedIn web sayfası üzerinden ulaşılmıştır. Çevrimiçi anket ve delphi formları, internet üzerinden örneklem kümesine ulaştırılmıştır. Mülakat çalışması için internet üzerinden çevrimiçi program kullanılmış, gerektiğinde telefon ile mülakat örneklem kümesine ulaşım sağlanmıştır.

Bu doktora tez çalışmasında, çalışmanın amacına ulaşabilmesi için tezin belirlenen hedeflerine yönelik olarak çeşitli araştırma metotları (literatür taraması, anket, delphi çalışmaları, mülakat) kullanılmıştır. Karma yöntem araştırması, nitel ve nicel yöntemlerin aynı çalışmada birleştirilmesi ve bütünleştirilmesidir (Molina, 2016).

Araştırmacılar, uzun yıllardır nitel ve nicel verileri bir araya getirmiş olsalar da, karma yöntem araştırmalarına ilişkin güncel kavramsallaştırmalar, 1980'lere kadar ortaya çıkmamıştır (Molina, 2016). Karma yöntem araştırması, mevcut durumda bilinen yöntemlerin dışına çıkmayı ve böylece eğitimde yöntem havuzunu genişletmeyi sağlayabilir (Mertens ve diğ., 2016). Nitel ve nicel araştırma yöntemlerinin kullanımına yönelik çeşitli avantajlar olmasına rağmen, bazı metotların kullanımının inşaat proje yönetiminde sınırlı olduğu görülmüştür. Örneğin, Sourani ve Sohail (2015), DÇ'nin İPY'de sınırlı kullanımının, inşaat yönetimini inceleyen araştırmacılar arasında delphi konusunda farkındalık eksikliğinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Literatür incelendiğinde DÇ'lerin, bir konu hakkında karar vermek için önyargıyı azaltmayı hedeflemesi yönü (Keeney ve diğ., 2021; Chan ve diğ., 2001) ile İPY araştırmaları (Ameyaw ve diğ., 2016) için önemli olduğu görülmüştür.

Nicel araştırma yöntemlerinden biri olan anket, çeşitli araştırma alanlarında veri toplama için çok yönlü ve etkili bir araçtır (Tang ve diğ., 2005). Yapılandırılmış formatı, özellikle nicel araştırma çabaları için avantajlı olan standartlaştırılmış veri toplama, organizasyon ve analizini kolaylaştırır (Tang ve diğ., 2005). Bu yöntem, araştırmacılara maliyet etkinliği, erişilebilirlik ve geniş ve çeşitli bir nüfusa ulaşma yeteneği sunarak kapsamlı içgörülerin etkili bir şekilde toplanmasını sağlar (Tang ve diğ., 2005). Literatürde, çok sayıda çalışma, farklı amaçlar için gerekli bilgileri toplamak amacıyla anketi kullanmıştır (Carpino ve diğ., 2019). Ancak, aynı anket yöntemi kullanılsa dahi görüşülen kişiler ile iletişim ve önerilen soru türü açısından prosedürler farklılık göstermektedir (Carpino ve diğ., 2019). Anket için düşük yanıt oranları, yanıt vermeme nedeni ile olası önyargı ve katılımcı temsiliyetini sağlama gibi çeşitli zorluklar göz önünde bulundurulmalıdır (Tang ve diğ., 2005). O nedenle, bu tez çalışması kapsamında kullanılan anket sorularının tümünü cevaplamak zorunlu tutulmamıştır. Böylece tamamen gönüllü olarak yapılan çalışmada, katılımcıların görüşlerine saygı duyulmuş, devam etmek istemezlerse herhangi bir yaptırıma maruz kalmaksızın istedikleri her zaman ve her aşamada çalışmadan ayrılabilmek/çalışmaya katılmaktan vazgeçebilmek konusunda özgür bırakılmış oldukları bilgisi iletilmiştir. Belirtilen doğrultuda, her soruyu cevaplama zorunluluğu bulunmadığı için katılımcıların baskı altında hissetmelerinin önüne geçilmek istenmiştir. Ayrıca, bilmedikleri ya da fikir belirtmek için yeterince emin olmadıkları soruları boş bırakmaları, anket sonuçlarının yanılgılardan uzak bulgulara ulaşabilmesini

sağlayabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, anketin son sorularında katılımcılar için belirtmek istedikleri herhangi bir konu olması ihtimaline karşı "diğer" şeklinde açık uçlu ve yapılandırılmamış bir soru seçeneği eklenerek, katılımcıların fikirlerini özgürce ifade edebilme imkanı sunulmuştur. Ayrıca, çalışmanın başlangıcında katılımcılara, katılımcılardan elde edilen verilerin ve bilgilerin, doktora tezi ve ilgili makale, kitap bölümü, bildiri gibi akademik çalışmalar dışında paylaşılmayacağı bilgisi verilmiştir.

Bu doktora tez çalışması kapsamında kullanılan diğer bir araştırma yöntemi ise delphi tekniğidir. Nicel araştırma yöntemlerinden olan delphi tekniği, uzmanlardan oluşan bir panel arasında fikir birliği sağlamak için kullanılan bir yaklaşımdır (Keeney ve diğ., 2001). Delphi yöntemi, karmaşık bir problem üzerinde uzmanlardan oluşan bir grup arasında yapılandırılmış bir iletişim ve mutabakat oluşturma yaklaşımıdır (Chan ve diğ., 2001). İlgili yöntem ile, normalde anketler kullanılarak panel üyelerine bilginin geri bildirildiği bir dizi tur aracılığıyla elde edilir (Keeney ve diğ., 2001). Delphi yöntemi, son yirmi yılda inşaat mühendisliği ve yönetimi alanında giderek artan sayıda araştırmacı tarafından ana araştırma yöntemi olarak kullanılmıştır (Ameyaw ve diğ., 2016). Bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan delphi çalışmaları için, katılımcılara, çalışmaların her birinin dört turda tamamlanacağı, ancak çalışmanın tamamen gönüllülük esaslı olduğu, katılımcıların istedikleri her aşamada herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın ayrılabilecekleri/araştırmaya katılmaktan vazgeçebilecekleri bildirilmiştir. Ayrıca, katılımcılara elde edilen verilerin ve bilgilerin, doktora tezi ve ilgili makale, kitap bölümü, bildiri gibi akademik çalışmalar dışında paylaşılmayacağı bilgisi verilmiştir.

Nicel araştırma yöntemlerinin kullanıldığı anket ve her biri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışmalarının verilerine yönelik istatistiksel analizlerde genel prensip olarak aşağıda özetlenen dört adım izlenmiştir:

İlk adımda, güvenilirlik analizi yapılmıştır. Güvenilirlik, bir yöntemin farklı zamanlarda, farklı koşullar altında, aynı veya birden fazla gözlemci tarafından kullanıldığında aynı sonuçları üretme derecesi olarak tanımlanabilir (Sykes ve diğ., 2016). Cronbach (1951)'in alfa katsayısı (α) yönetimi, güvenilirlik analizi için kullanılan yöntemlerden biridir. Cronbach'ın α katsayısı 0 ile 1 arasında değişmektedir. Katsayı 0,60'ı aşarsa güvenilirlik iyi olarak kabul edilebilir (Pallant, 2011). Bu doktora tez çalışması kapsamında tüm güvenilirlik analizleri, SPSS®'te bulunan α katsayısı,

Konting ve diğ.(2019)'un α katsayısı tablosu ve Pallant (2011)'in çalışmasına göre değerlendirilmiştir.

İkinci adımda, çalışmanın tanımlayıcı istatistikleri *(descriptive statistics)* (örneğin; ortalama değer (m) belirlenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, toplanan araştırma verilerini mantıksal, anlamlı ve etkili bir şekilde hesaplamak, tanımlamak ve özetlemek için temel olarak kullanılan belirli yöntemlerdir (Vetter, 2017). Ortalama değer,genellikle bir dağılım merkezi eğilimini temsil eder (Chew, 1990). Standart sapma genellikle bir ortalama için ve çeyrekler arası aralık bir medyan için raporlanır (Vetter, 2017).

Üçüncü adımda normallik, çarpıklık ve basıklık (Tabachnick ve Fidell, 2013), çarpıklık ve basıklık değerlerinin standart hatalarına bölünmesi ile edilen z puanının hesaplandığı (Mishra ve diğ., 2019) testler yapılmıştır. Verilerin normalliğinin belirlenmesi, parametrik testlerin kullanımının uygunluğunu değerlendirmek için temel bir gerekliliktir (Mishra ve diğ., 2019; Tatlıcı ve Sertyeşilışık, 2023). Bu tez çalışması kapsamında, normallik testlerinden SPSS® programı kullanılarak *Shapiro-Wilk* testi ve *Kolmogorov-Smirnov* testleri kullanılmıştır. Normallik varsayımına göre, her iki test sonucuna göre de sigma değeri, 0.05'in üzerindeki değerlerde verilerin normal dağıldığı kabul edilir (Mishra ve diğ., 2019). Ancak normallik testlerinin tek başına değerlendirilmesi doğru kabul edilmediğinden, çarpıklık ve basıklık değerleri ile de birlikte düşünülmelidir (Kim, 2013; Tatlıcı ve Sertyeşilışık, 2023). Çarpıklık asimetrinin bir ölçüsüdür ve basıklık bir dağılımın 'tepelik' ölçüsüdür (Kim, 2013). Normal olmayanlığı belirtmek için çarpıklık veya basıklık değerlerinin ne kadar büyük olması gerektiğine karar vermek için ölçütler hakkında kesinleşmiş çok katı kurallar yoktur (University of Cambridge, 2018). Bu tez çalışmasında, çarpıklık ve basıklık değeri, Tabachnick ve Fidel (2013)'e göre ±1.5 aralığında ise verilerin normal dağılım gösterdiği kabul edilmiştir. Çoğu istatistiksel paket (Kim, 2013) ve bu çalışma kapsamında kullanılan SPSS® programı çarpıklık ve basıklık değerlerinin yanı sıra standart hatalarını da vermektedir. Örneklem büyüklüğü arttıkça standart hatalar küçülür (Kim, 2013). Çarpıklık ve basıklık değerlerinin her birinin çarpıklık ve basıklık standart hatalarına bölünmesi ile edilen z değeri ±1.96 aralığında ise verilerin yine normal dağıldığı kabul edilir (Kim, 2013; Mishra ve diğ., 2019).

Dördüncü adımda ise, üçüncü adımın sonucuna göre parametrik ya da parametrik olmayan testlerden hangisinin kullanılacağına karar verilmiş ve çıkarımsal analizlere

(inferential analysis) ulaşmak için testler yapılmıştır. Korelasyon, en geniş anlamıyla değişkenler arasındaki ilişkinin bir ölçüsüdür (Schober ve diğ., 2018). Korelasyonlu verilerde, bir değişkenin büyüklüğündeki değişim, aynı (pozitif korelasyon) veya zıt (negatif korelasyon) yönde başka bir değişkenin büyüklüğündeki bir değişim ile ilişkilidir (Schober ve diğ., 2018). Bağımlı değişken sıralı veya sürekli olduğunda, ancak normal dağılım göstermediğinde *Mann-whitney u* testi, iki bağımsız gruba yönelik aralarındaki farkları karşılaştırmak için kullanılır (Leard statistics, 2018). *Mann-whitney u* testi, her gruptaki verilerin önce en düşükten en yükseğe doğru sıralandığı parametrik olmayan bir testtir (Rousseaux ve Gad, 2018). Genellikle t-test ise bir test grubunu bir kontrol grubuyla karşılaştırmak için kullanılır, ancak iki test grubu da karşılaştırılabilir (Rousseaux ve Gad, 2018). T-testler, bir tür parametrik yöntemdir; örneklerin normallik, eşit varyans ve bağımsızlık koşullarını sağladığı durumlarda kullanılabilir (Kim, 2015). Örneğin, bu tez çalışması kapsamında yapılan normallik, basıklık ve çarpıklık testlerinden sonra, veriler normal dağılım gösterirse *pearson* korelasyon analizi (Schober ve diğ., 2018), t-test (Kim, 2015; Rousseaux ve Gad, 2018); normal olmayan dağılım gösterirse, *Spearman'*ın korelasyon analizi (Schober ve diğ., 2018), *Mann-whitney u* (Rousseaux ve Gad, 2018) testi uygulanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan diğer bir yöntem ise mülakattır. Bir araştırma projesinde, mülakat yönteminin kullanılması görüşme, araştırmacı ile denek arasında sözlü iletişimi içeren önemli bir veri toplama tekniğidir (Fox, 2009). Nitel araştırmalarda sıklıkla kullanılan veri toplama tekniklerinden biri olan mülakat çalışması, bireylerin yaşadıkları deneyimleri ve bu deneyimleri nasıl anlamlandırdıklarını ortaya koymayı amaçlamaktadır (Dursun, 2023).

Mülakat çalışması, anketler ile karşılaştırıldığında araştırmacıların insanların görüşlerini daha derinlemesine araştırmalarına olanak tanıyan anlatı verilerini ortaya çıkarma açısından daha güçlüdür (Kvale, 1996). Deneğin istediği her şey hakkında özgürce konuşmasına izin verilen tamamen yapılandırılmamıştan, denek yanıtlarının doğrudan ve yalnızca soruları yanıtlamak ile sınırlı olduğu oldukça yapılandırılmışa kadar çeşitli mülakat yaklaşımları vardır (Fox, 2009). Bu çalışma kapsamında tüm çalışma bulgularının uzmanlarca doğrulanması, test edilmesi ve bulguların tartışılmasına yönelik olarak mülakat tekniği kullanılmıştır. Uzmanların tez çalışmasının amacına yönelik özellikle vurgulamak ya da tartışmak istediği ayrıca bir

görüşleri varsa, oturum sırasında iletmeleri istenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında yapılan mülakat çalışması için, katılımcılara, çalışmanın tamamen gönüllülük esasına dayalı olduğu, katılımcıların istedikleri her aşamada herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın ayrılabilecekleri/araştırmaya katılmaktan vazgeçebilecekleri, elde edilen bilgilerin ise doktora tezi ve ilgili makale, kitap bölümü, bildiri gibi akademik çalışmalar dışında paylaşılmayacağı çalışmanın başlangıcında detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu doktora tez çalışmasında nitel araştırma yöntemi olarak literatür taraması ve mülakat çalışması kullanılmıştır. Nicel araştırma yöntemleri olarak ise anket çalışması ve her biri dört turdan oluşmak üzere birbirine paralel üç adet delphi çalışması yapılmıştır. Çizelge 3.1, tezin amacını gerçekleştirmeye yönelik hedeflerin her biri için uygulanan nitel ve nicel yöntemleri özetlemektedir.

Çizelge 3.1 : Tezin amacı ve hedeflerine yönelik olarak kullanılan nitel ve nicel araştırma yöntemleri

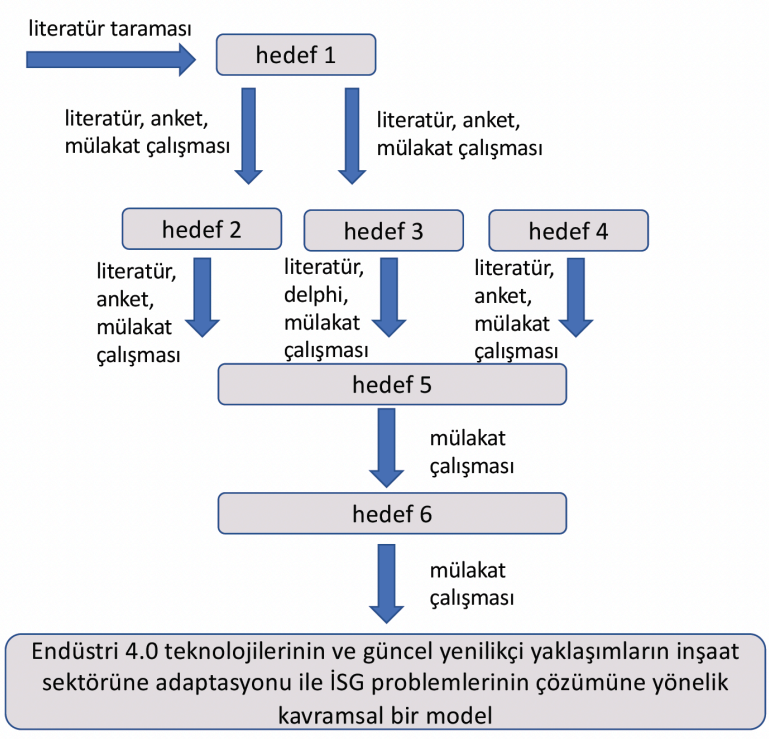
Tezin Amacı	Tezin Hedefleri	Kullanılan Nicel Araştırma Yöntemleri	Kullanılan Nitel Araştırma Yöntemleri
Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların inşaat sektörüne adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmak	(1) İnşaat sektöründe İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili girdi sağlamak	anket çalışması	literatür taraması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
	(2) İnşaat sektöründeki tüm proje yaşam döngüsünü İSG açısından inceleyerek, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların entegrasyonuna yönelik öneriler geliştirmek	anket çalışması	literatür taraması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
	(3) İnşaat proje yönetiminin bütün süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına ve doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine ve bu konudaki yetkinliklerin belirlenmesine yönelik araştırma yapmak	anket çalışması, delphi çalışmaları	literatür taraması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması

Çizelge 3.1 (devamı): Tezin amacı ve hedeflerine yönelik olarak kullanılan nitel ve nicel araştırma yöntemleri

(4) Literatürdeki mevcut olgunluk modellerinin araştırmak	-	anket çalışması, literatür taraması, uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
(5) Kavramsal modeli oluşturmak	-	uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması
(6) Kavramsal modeli doğrulamak ve test etmek	-	uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması

Çizelge 3.1'de, tezin amacı, amaca yönelik her bir hedef, hedeflere ulaşılmak için uygulanan araştırma yöntemleri görülebilir. Örneğin, tezin birinci hedefine yönelik olarak, nicel araştırma yöntemlerinden anket çalışması, nitel araştırma yöntemlerinden ise literatür taraması ve uzman görüşlerinin mülakat yolu ile alınması bulunmaktadır.

Şekil 3.1, tezin hedeflerine yönelik olarak kullanılan araştırma yöntemlerinin akış şemasını ifade etmektedir.



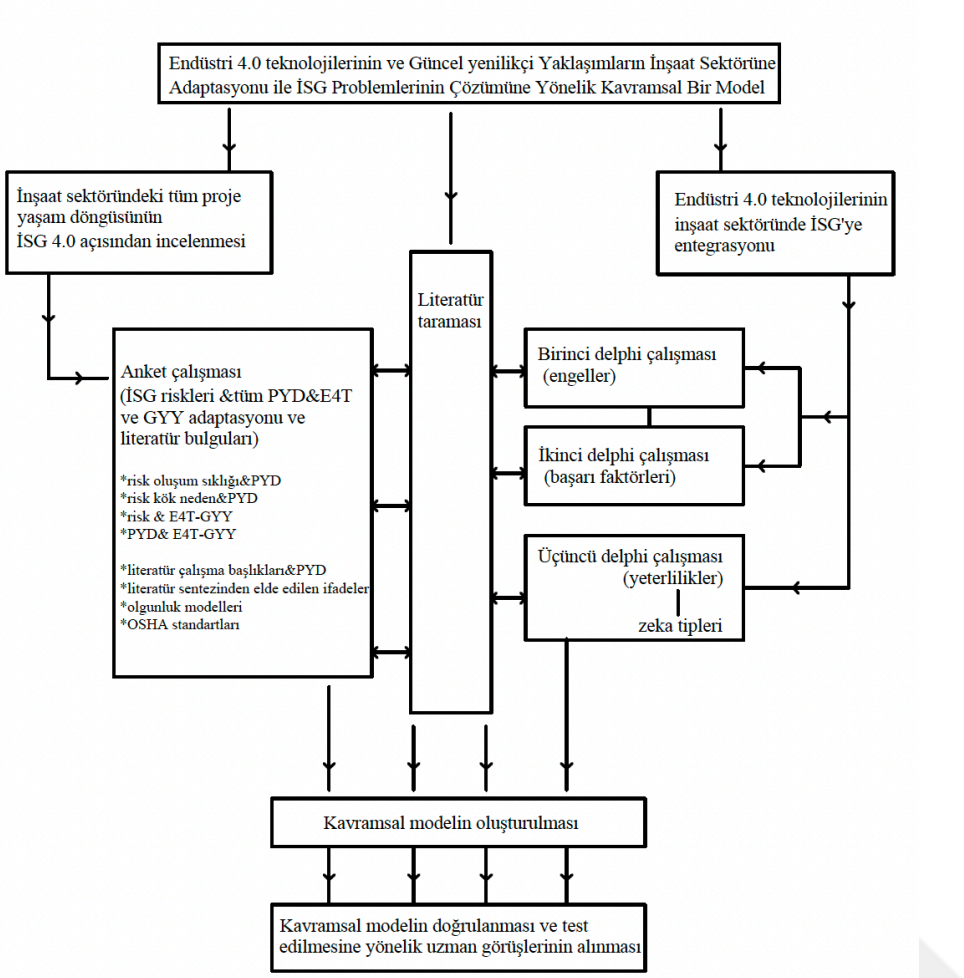
Şekil 3.1 : Tezin hedeflerine yönelik kullanılan araştırma yöntemlerinin akış şeması

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, literatür çalışması ile başlayan doktora tez çalışması, tezin amacına yönelik belirlenen hedeflerine uygun olmak üzere, literatür, anket, delphi çalışmaları ve mülakat çalışması yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının akış şeması, Şekil 3.2'de verilmiştir. Numaralar ile belirtildiği şekilde yapılmıştır. Şekil kısaca şu şekilde özetlenebilir. Literatür taraması ile başlanan çalışmaya, daha sonra belirlenen hedeflere yönelik olarak uygulanan anket, delphi ve mülakat soru formları literatürden destek alınarak oluşturulmuştur. Daha sonra etik kurul raporu alınmış, sırası ile anket ve delphi çalışmaları uygulanmıştır. Anket ve delphi çalışmalarının verileri analiz edildikten sonra, bulguların tümü ve oluşturulan kavramsal model, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca doğrulanmıştır. Daha sonra sonuçlar, çıkarımlar ve katkılar sağlanmıştır.

Şekil 3.2 : Tez çalışmasının akış şeması

Şekil 3.3, araştırma yöntemlerinin kavramsal modelin oluşturulmasına yönelik kullanımını özetlemektedir.



Şekil 3.3 : Araştıma yöntemlerinin kavramsal modelin oluşturulmasına yönelik kullanımı

Şekil 3.3, araştırma yöntemlerinin kavramsal modelin oluşturulmasına yönelik kullanım çerçevesini içermektedir. Şekil 3.3, literatür taramasının çalışmanın başlangıç noktasından itibaren devam ettiğini ve tüm hedefler için kullandığını ifade eder. Ayrıca, İS'deki tüm PYD'nin İSG4.0 açısından incelenmesine yönelik olarak anket içeriğini özetlemektedir. Diğer taraftan yapılan delphi çalışmaları E4T'lerin İS'de İSG entegrasyonu için engelleri, KBF'leri, yeterlilikleri (yeterlilikler ile ilişkili olarak zeka tiplerini) belirlemeyi hedeflemiştir. Anket, delphi ve literatür çalışmalarının tüm bulguları kavramsal modeli oluşturmuş ve uzman görüşleri alınarak doğrulanmış ve test edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan anket, delphi ve mülakat çalışmalarının uygulanmasına yönelik olarak detaylı bilgiler her bir başlık altında verilmiştir.

3.1 Anket Çalışması

İS'de tüm PYD'nin İSG 4.0 açısından incelenmesine yönelik olarak anket çalışması yapılmıştır. Anket, katılımcı bilgilerini (katılımcıların meslekleri, en son mezun oldukları okula göre öğrenim düzeyleri, sektördeki tecrübe yılları, çalıştıkları sektörü) ve alan sorularını içermektedir. Anket soruları oluşturulurken daha önce literatür bölümünde detaylı olarak belirtildiği şekilde 33 adet İSG riski, OSHA (2005) ve HSE (2020)'den alınmıştır. Ayrıca, literatürden daha önce derlenen ve çalışmanın ana konusunu oluşturan 11 adet E4T (örneğin; MÖ) ve GYY'lerden TKY, yalın ve çevik yönetim olmak üzere belirlenen üç yaklaşım ele alınmıştır. Her bir teknolojinin, her bir İSG riskinin ve İPYD boyunca tüm fazlardaki (örneğin; mobilizasyon) yansımaları ölçülmek istenmiştir. Anket çalışmasının ilk kısmı (EK A 1, 2, 3, 4. soru grubu), İS'deki tüm PYD'yi, İSG açısından inceleyerek, doğru yerde doğru teknolojinin kullanılmasına yönelik öneriler geliştirmeyi hedeflemektedir. Örneğin, anket çalışmasının ilk kısmı, literatür tabanlı olarak belirlenen 33 adet İSG riskinin oluşum sıklığının PYD ile ilişkisi (EK A, 1), 33adet İSG riskinin kök nedenleri ile PYD ilişkisi (EK A, 2), 33adet İSG riski ile E4T&GYY(EK A, 3), belirlenen E4T ve GYY'lerin (örn; MÖ) fazlar ile (örn; mobilizasyon) (EK A, 4) ilişkisini araştırmıştır. Anket çalışmasının ikinci kısmı (EK A 5, 6, 7, 8.soru grupları) ise genel olarak literatürden elde edilen bulgularının anket vasıtası ile İSG uzmanlarınca değerlendirilmesine dayanmaktadır. Örneğin, teknolojilerin (örn; makine öğrenmesi) literatürden elde edilen temel konu başlıkları(örn; güvenlik izleme) (EK A, 5) entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyellerini belirlenmiştir. Ayrıca açık soru grubu (EKA, 6), katılımcıların belirtmek istediği yönlere ek olarak, olgunluk modelleri ile entegre olunabilmesine yönelik katılımcı görüşlerini de içermektedir. Ayrıca literatür sentezlenerek elde edilen 21 adet ifadeye katılım derecelerinin öğrenilmek istendiği (EK A, 7) ve OSHA standartlarının E4T&GYY'lere entegrasyonuna yönelik olan soru grubu (EK A, 8)'i içermektedir. İlgili soru grubu için ise OSHA'nın en sık atıfta bulunulan ilk 10 standardı (OSHA, 2021) baz alınarak ilgili anket sorusu oluşturulmuştur.

Şekil 3.4, anket çalışmasına yönelik soru gruplarının içeriğine dair özeti ifade etmektedir.

Soru grupları	Ölçmek istediği konular	Ölçek çeşidi
Anket çalışmasının ilki kısmı		
1.soru (EK A-1)	PYD boyunca risklerin oluşum sıklığı	çoktan seçmeli
2.soru (EK A-2)	Risklerin kök nedenlerinin PYD'nin hangi aşamasında yapılan eksikliklerden kaynaklandığı	çoktan seçmeli
3.soru (EK A-3)	Risklerin E4T ve GYY'ler ile entegrasyonu	5'li likert ölçeği
4.soru (EK A-4)	E4T ve GYY'lerin PYD ile entegrasyonu	5'li likert ölçeği
Anket çalışmasının ikinci kısmı		
5.soru (EK A-5)	Literatürün PYD boyunca incelenmesine yönelik elde edilen çalışma başlıklarının (örn; güvenlik izleme)'nin fazlar ile ilişkisi	5'li likert ölçeği
6.soru (EK A-6)	Literatürün sentezinden elde edilen 21 adet ifadeye katılım derecesi	5'li likert ölçeği
7.soru (EK A-7)	Olgunluk modelleri	açık soru
8.soru (EK A-8)	OSHA standartları	5'li likert ölçeği

Şekil 3.4 : Anket çalışmasına yönelik soru gruplarının içeriği

Şekil 3.4, anket çalışmasının soru gruplarının, çalışmanın hedeflerine yönelik olarak uygulandığını ifade etmektedir. Anket tasarımında çoktan seçmeli, açık uçlu ve 5'li *Likert* ölçeği kullanılmıştır. Burada ve tüm doktora çalışmasında kullanılan *5'li Likert* ölçeğinde, 1, katılımcıların verilen ifadeyi en az önemli gördüklerini ifade ederken, 5 en çok önemli gördüklerini ifade etmektedir.

Anket katılımcılarına, çalışmanın tamamen gönüllü olduğu, herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın istedikleri zaman ve istedikleri aşamada çalışmadan ayrılabilecekleri/çalışmaya katılmaktan vazgeçebilecekleri bildirilmiştir.

Şekil 3.5, anket çalışmasına yönelik katılımcı bilgilerini özetlemektedir.

(anket çalışmasının birinci kısmı için)	Sıklık	Toplam	Yüzde	Toplam
Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları	106	154	68.8	100
Diğer alt yapıya sahip İSG uzmanları	48		31.2	
Ön lisans-lisans eğitimi	50	154	32.5	100
Lisansüstü eğitim	104		67.5	
10 yıl ve altı	69	154	44.8	100
11 yıl ve üstü	85		55.2	

Şekil 3.5 : Anket çalışmasına yönelik katılımcı bilgileri

Akademik Profesyonel	17 137	154	11.0 89.0	100
(anket çalışmasının ikinci kısmı için)	**Sıklık**	**Toplam**	**Yüzde**	**Toplam**
Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer alt yapıya sahip İSG uzmanları	44 16	60	73.3 26.7	100
Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitim	21 39	60	35.0 65.0	100
10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	30 30	60	50.0 50.0	100
Akademik Profesyonel	8 52	60	13.3 86.7	100

Şekil 3.5 (devamı): Anket çalışmasına yönelik katılımcı bilgileri

Şekil 3.5'ten görüleceği üzere, anket çalışması daha çok mimar ve mühendis tabanlı İSG uzmanlarından oluşmaktadır. Tamamen gönüllü olan bu anket çalışmasının katılımcılarını, İSG uzmanlarının daha çok sektör profesyonellerinin oluşturduğu görülmektedir. Tamamen, gönüllülük esasına dayanan bu anket çalışmasında, daha önce belirtildiği üzere, çeşitlli sebeplerden dolayı her soruyu cevaplamak zorunlu tutulmadığı (uzmanların bilmedikleri soruda bulgulara yönelik yanılgı oluşturmak istememesi gibi) için her bir soruya verilen cevap sayısı farklılaşabilmektedir. Tez çalışmasının, bulgular kısmında anket çalışmasının soru gruplarına yönelik katılımcıların tanımlayıcı analizlerini içeren bulgular detaylı bir şekilde verilmiştir.

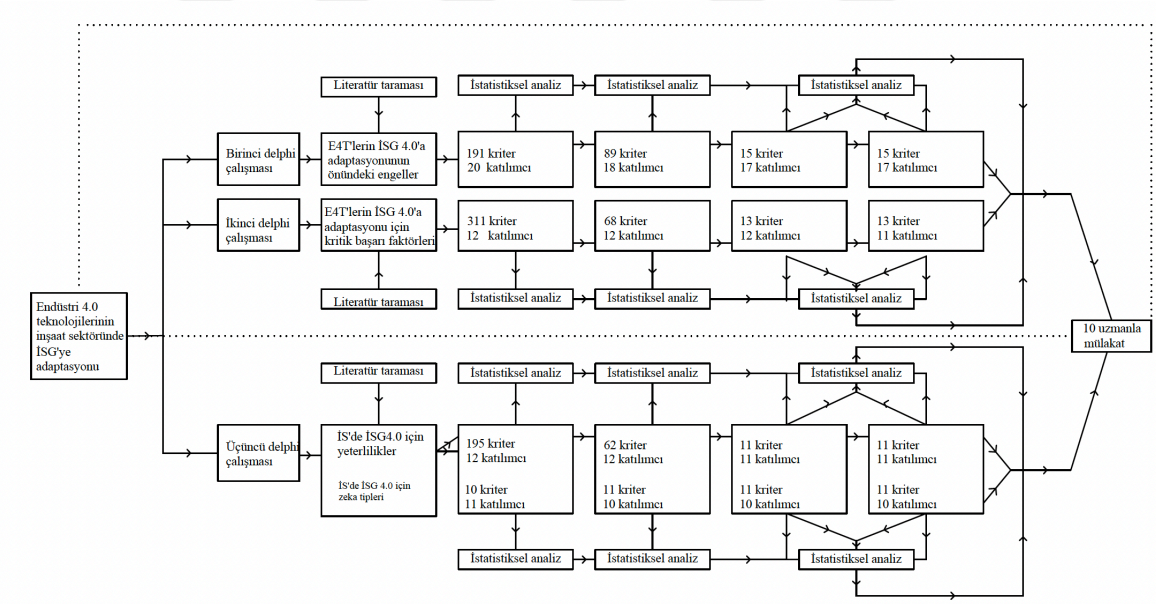
3.2 Delphi Çalışmaları

Tez çalışmasının hedeflerine paralel olarak (hedef 3), bu tez çalışması kapsamında literatür taramasının hemen ardından, her biri dört turdan oluşan DÇ'ler yapılmıştır. DÇ'lerden ilki, İS'de, İSG 4.0 için engellere ikincisi, İS'de İSG 4.0 için KBF'leri belirlemeye odaklanmaktadır. Birbirlerini konunun bütünlüğü yönü ile tamamlamadıkları için bu tez çalışması kapsamında engeller (*delphi* 1) ve KBF'ler (*delphi* 2) birlikte ele alınmıştır. Engelleri ve KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'ler, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesidir. Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de, engelleri ve KBF'leri belirlemeye yönelik olarak tez kapsamında yapılan araştırma makalesine yönelik detaylar (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınarak, aşağıda verilmiştir.

DÇ'nin üçüncüsü ise İS'de İSG4.0'ın entegrasyonu için gerekli yeterlilikleri belirlemeye odaklanmaktadır. Yeterlilikler (*delphi*3), ise zeka tipleri ile mevcut

literatürde (örn; Garcia ve diğ., 2014; Boyatzis ve diğ., 2015; Kul, 2021) birbirleri ile ilişki içinde olmaları dolayısı ile birlikte ele alınmışlardır. Konu ile ilgili literatür incelendiğinde, yeterliliklerin, zeka ile ilgili olan ilişkisine olan vurgu da değerlendirmeye alınarak, üçüncü delphi çalışmasının ikinci kısmında Howard Gardner (1983)'ın ÇZT'sine dayanarak profesyonellerin zeka tiplerini belirlemeye yönelik yapılmıştır.

Şekil 3.6, her biri dört tur olmak üzere yapılan DÇ'lerin akışını özetlemektedir. Şekil 3.6'nın birinci ve ikinci DÇ'ler (engeller ve KBF'ler) ile ilgili olan kısmı (noktalar ile belirtilerek çerçeve içine alınmıştır), bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır.



Şekil 3.6 : Delphi çalışmalarının akış grafiği

Şekil 3.6'dan görüldüğü üzere, tüm delphi grupları için literatürden elde edilen kriter listesindeki kriterler, turlar boyunca yeniden düşünerek ilerlemiştir. Örneğin, birinci delphi çalışması (engeller) için, literatürden elde edilen 191 adet kriterin, 20 katılımcı ile değerlendirmesi ile başlamıştır. En son turda ise, toplamda 15 kriter ve 17 uzman ile sürecün dördüncü turu tamamlanmıştır. Diğer delphi çalışmaları, ve turlarda izlenen ilkeler temel prensipler yönü ile aynıdır.

Delphi çalışmalarının her birine katılan uzmanlar, daha önce detaylı olarak belirtildiği şekilde çalışmanın örneklem kümesine uygun olacak şekilde seçilmiştir. Uzmanlara, DÇ'ye katılımın tamamen gönüllü olduğu, herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın istedikleri zaman ve istedikleri aşamada çalışmadan ayrılabilecekleri/çalışmaya katılmaktan vazgeçebilecekleri bildirilmiştir. Şekil 3.7, birinci delphi çalışmasının (engeller) katılımcılarının özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.7, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır.

Birinci delphi çalışmasının (engeller) katılımcılarının özellikleri				
Uzman	**Tecrübe yılı**	**Çalışılan sektör**	**Eğitim alt yapısı**	**Özelleşmiş iş tanımı**
U1	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U2	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U3	5 yıl ve az	devlet üniversitesi	lisansüstü eğitimi	Akademisyen
U4	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı, iş yeri sahibi
U5	5 yıl ve az	kamu/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U6	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U7	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U8	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U9	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U10	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U11	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U12	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U13	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U14	21 yıl ve üstü	devlet üniversitesi	lisansüstü eğitimi	Akademisyen
U15	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U16	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U17	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U18	21 yıl ve üstü	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U19	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U20	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı

Şekil 3.7 : Birinci delphi çalışmasının (engeller) katılımcılarının özellikleri (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 3.7'den görülebileceği üzere, katılımcıların büyük bir kısmını özel sektör çalışanları oluşturmakta olup, çeşitli tecrübe yıllarına sahiptirler.

Şekil 3.8, ikinci delphi çalışmasının (KBF'ler) katılımcılarının özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.8, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır.

İkinci delphi çalışmasının (KBF'ler) katılımcılarının özellikleri				
Uzman	**Tecrübe yılı**	**Çalışılan sektör**	**Eğitim alt yapısı**	**Özelleşmiş iş tanımı**
U1	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U2	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı, iş yeri sahibi
U3	11-20 yıl arası	devlet üniversitesi	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U4	21 yıl ve üstü	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U5	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U6	11-20 yıl arası	kamu/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U7	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U8	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U9	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U10	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U11	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U12	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı

Şekil 3.8 : İkinci delphi çalışmasının (KBF) katılımcılarının özellikleri (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 3.8'den görülebileceği üzere, katılımcıların büyük bir kısmını özel sektör çalışanları oluşturmakta olup, çeşitli tecrübe yıllarına sahip oldukları dikkat çekmektedir.

Şekil 3.9, üçüncü delphi çalışmasının katılımcılarının özelliklerini göstermektedir.

Üçüncü delphi çalışmasının (yeterlilikler) katılımcılarının özellikleri				
Uzman	**Tecrübe yılı**	**Çalışılan sektör**	**Eğitim alt yapısı**	**Özelleşmiş iş tanımı**
U1	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U2	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U3	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U4	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U5	5 yıl ve az	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U6	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
U7	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U8	11-20 yıl arası	özel sektör/iş yeri sahibi	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U9	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U10	6-10 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U11	5 yıl ve az	kamu/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
U12	11-20 yıl arası	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı

Şekil 3.9 : Üçüncü delphi çalışmasının (yeterlilikler) katılımcılarının özellikleri

Şekil 3.9, üçüncü delphi çalışmasının birinci kısım (yeterlilikler) katılımcılarının özelliklerini göstermektedir. Ayrıca bu delphi çalışmasının ikinci kısmı olarak

gerçekleştirilen zeka tiplerine yönelik yapılan delphi çalışmasındaki katılımcılar U10 dışında aynıdır. U10, çalışmanın ikinci kısmına konu ile ilgili bilgi sahibi olmadığını ve yanıltıcı bilgi vermekten kaçındığını ifade ederek katılmamıştır.

Genel prensip olarak delphi çalışmalarının ilk turları, literatürden elde edilen kriterler arasından en önemli kriterlerin seçilmesine odaklanmıştır. İlk tur sonunda, seçilmeyen kriterler listelerden çıkarılırken, seçilen kriterler ve 'diğer' seçeneği altında belirtilen ek kriterler DÇ grubunun ikinci turu için listelere dahil edilmiştir. Ancak, üçüncü DÇ'nin (yeterlilikler) ikinci kısmı (zeka tipleri), bulunan zeka tiplerinin diğer delphi çalışmalarına (örn;engeller) kıyasla daha az olması dolayısı ile Howard Garder'ın 10 zeka türü ilk turda listelenmiştir ve diğer üç delphi çalışmasından farklı olarak katılımcılardan ilk turda ve tüm turlarda uzmanlar tarafından eklenen öneri zeka tipleri de dahil olmak üzere 5'li *likert* ölçeğine göre zeka tiplerini puanlamaları istenmiştir.

İkinci turda, uzmanlardan (zeka tipleri haricindeki) diğer delphi grupları için kalan kriterler arasından en önemli olduğunu düşündükleri en az 5 ve en fazla 10 kriteri seçmek için listeyi ayrıntılı olarak yeniden gözden geçirmeleri istenmiştir. İkinci tur sonunda, Tatlıcı ve Sertyesilisik (2023)'ün araştırmasına benzer şekilde, katılımcıların %20'sinden azının seçtiği kriterler elenmiş ve revize edilen liste üçüncü turda uzmanlara gönderilmiştir.

Tüm DÇ gruplarının üçüncü turunda, uzmanlardan diğer turlardan kalan tüm kriterleri 5'li *Likert* ölçeğine göre puanlamaları ve bu puanlamayı yaparken katılımcılarının sonuçlarını bir önceki turdan gelen ortalama değerleri ile ve kendi sonuçları ile karşılaştırarak yeniden değerlendirmeleri istenmiştir.

Tüm DÇ gruplarının dördüncü turunda, her DÇ grubu uzmanına verecekleri puanlarını bir önceki turdaki ortalama sonuçlar ile karşılaştırabilmesi amacına yönelik bir tablo verilmiştir. Uzmanların bu tablodan destek alarak, verdikleri puanları gözden geçirmeleri ve tekrar 1 ile 5 arasında puanlamaları istenmiştir.

Tüm turlar tamamlandıktan sonra kalan kriterlerin ağırlıklıklandırılması yapılmıştır. 3. ve 4.turların istatistiksel analizlerini yapabilmek için turların verileri SPSS® programına aktarılmıştır. Güvenilirlik analizleri yapıldıktan ve çalışma güvenli bulunmuş, Yeung ve diğ. (2007); Chan ve diğ. (2001) çalışmasına benzer şekilde, *Kendall'ın* uyum analizi, her iki delphi anketinin üçüncü ve dördüncü turlarında grubun görüşünün tutarlılığını ölçmek için kullanılmıştır. DÇ'lerin yapılma amacı,

bireylerin görüşlerinden ziyade grupların görüşülerine odaklanılmasıdır (Yeung ve diğ., 2007; Chan ve diğ., 2001). Kalan faktörler, sıralanırken önce karşılık gelen ağırlıklar dikkate alınmıştır ve faktörlerin eşit olduğu durumda, ortalama sıralama sonucuna göre sıralama yapılmıştır. Daha sonra, normallik testi, çarpıklık ve basıklık testleri ve normallik varsayımını desteklediği görüldükten sonra, *pearson korelasyon* testleri yapılmıştır. Yeung ve diğ. (2007)'ın çalışmasına benzer şekilde, korelasyon matrisi tablolarında, %5 anlamlılık düzeyinde, kriterlerin yarısından azının birbirleri ile ilişkili olduğunu görülmüştür. Bu durum, kriterleri sıralarken, ağırlıklandırmaların kullanılma yönteminin sıralanmasını doğrulamıştır.

3.3 Mülakat Çalışması

Bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan literatür çalışmasının, anket çalışmasının ve delphi çalışmalarının bulguları bir araya getirilmiştir. Elde edilen bulguların tümünü doğrulatmaya ve bulgular sonucu oluşturulan kavramsal modeli test etmeye yönelik, 10 adet İSG uzmanı ile çevrimiçi platform kullanılarak mülakat çalışması yapılmıştır. Uzmanlara, mülakatın başlangıcında tez çalışmasının konusu ile ilgili bilgiler verilmiş, çalışmanın amaç ve hedefleri anlatılmış, katılımın tamamen gönüllü olduğu, herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın istedikleri zaman ve istedikleri aşamada çalışmadan ayrılabilecekleri/çalışmaya katılmaktan vazgeçebilecekleri belirtilmiştir. Mülakat çalışmasının içeriği, literatür taraması, anket çalışması, delphi çalışmalarının sonuçlarını ve oluşturulan kavramsal modeli içeriyordu. Mülakat çalışması, tüm çalışmaların bulgularına odaklanmıştır. Uzmanlara genel olarak hem anket ve delphi çalışmasının bulgularının her biri özelinde hem de tüm bulguların bir arada değerlendirilmesini içeren, tez kapsamında önerilen kavramsal modele yönelik, genel değerlendirmeler ile ilgili görüşleri ve değerlendirmeleri sorulmuştur. Mülakat çalışmasında uzmanlara sorulan sorular, önerilen modelin faydalı yönleri, eksik yönleri, geliştirilmesi gereken noktaları, genel olarak yorumları, nasıl yaygınlaştırılabileceği, nasıl faydalı olabileceği, genel düşüncelerin, değerlendirmelerin, önerilerin ve kritik düşüncelerin alınması, GYY'ler (yalın, çevik, TKY vs.) entegre olabilme potansiyeline yönelik görüşlerin alınmasını içermektedir. Uzmanlara aynı zamanda diğer bir mülakat sorusu olarak, YBM tabanlı Dijital Fabrikasyon teknikleri ile İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik, dijital fabrikasyonun bina bileşenlerinin bilgisayar kontrollü olarak prefabrikasyonu (örn;

Akinade ve diğ., 2018), cephe panellerinde kullanılarak hatayı azaltabilmesi (Deng ve diğ., 2021), tasarım ve üretim alanlarında kullanılarak disiplinlerarasındaki iş akışlarını sağlayabilmesi (Hamid ve diğ., 2018), prefabrik yapılarda yerinde montaj süreçleri için Nİ ile de bütüncül bir platform tasarlayabilme potansiyeli (Li ve diğ., 2018), YBM tabanlı çerçeve ile birlikte hava durumu koşullarına olan bağımlılığı azaltabilmesi (An ve diğ., 2020), çelik donatıların bilgisayarlı tasarım ve prefabrikasyonu sürecinde *openBIM* standartları ile entegre olarak verilerin birlikte çalışabilirliğini kolaylaştırması (Liu ve diğ., 2021), bina montaj yöntemlerini etkileyen temel faktörlerin yalın ilkeler ile entegrasyonunu sağlayabilmesi (Gbadamosi ve diğ., 2019), prefabrik binalar için sürdürülebilir çatı çözümleri sağlayabilmesi (Liu ve diğ., 2019), dijital üretim ve fabrikasyon aşamasında yüklenicilerin imalatçılardan fabrikasyon için kullanılacak bileşenleri dijital olarak istemesi ve tam zamanında üretim (JIT-*just in time*) kullanımını teşvik etmesi (Hwang ve diğ., 2020), binaların ayrıntılı geometri tasarımına katkıda bulunabilmesi (He ve diğ., 2021), saha dışı imalat (The Irish advantage, 2018; Todj ve diğ., 2018) ile birlikte daha az alana ihtiyaç duyularak işin tamamlanabilmesi ve böylece İSG açsısından süreçlerdeki iyileştirmenin sağlanabilmesi gibi YBM tabanlı DF'nin İS'de İSG4.0'a yönelik değerlendirmeleri sorulmuştur.

Şekil 3.10, tüm çalışmaların bulgularını onaylamak, test etmek, değerlendirmek ve tartışmak için yapılan mülakat çalışmasında, mülakat katılımcılarının özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.10, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır.

Mülakat çalışması katılımcılarının özellikleri				
Uzman	**Tecrübe yılı**	**Çalışılan sektör**	**Eğitim alt yapısı**	**Özelleşmiş iş tanımı**
M1	16 yıl	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı, İş yeri sahibi
M2	10 yıl	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
M3	15 yıl	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
M4	10 yıl	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
M5	18 yıl	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
M6	9 yıl	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
M7	22 yıl	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
M8	10 yıl	özel sektör/inşaat	lisansüstü eğitimi	İSG uzmanı
M9	19 yıl	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı
M10	8 yıl	özel sektör/inşaat	ön lisans-lisans eğitimi	İSG uzmanı

Şekil 3.10 : Mülakat çalışması katılımcılarının özellikleri (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 3.10’da detaylı olarak verildiği üzere uzmanlar çeşitli tecrübe yıllarına sahip olup, tümü özel sektör çalışanıdır. Lisansüstü ve ön lisans-lisans düzeyinde eğitim alt yapıları bulunmakta olup çeşitlilik göstermektedir.

4. BULGULAR

Bu doktora tez çalışmasının bulguları, tez çalışması kapsamında kullanılan araştırma yöntemleri doğrultusunda aşağıda verilmiştir.

4.1 Anket Çalışmasının Bulguları

İS'de tüm PYD'nin İSG 4.0 açısından incelenmesine yönelik, detayları çalışmanın metot kısmında ve EK A'da verilen şekilde anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması, iki kısım halinde yapılmış olup, ilk aşamada 10 katılımcı ile pilot çalışma ile başlanmıştır. Pilot çalışmanın verileri, SPSS® programına aktarılarak güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiş ve analiz sonucunda anket çalışması güvenilir bulunduktan sonra temel anket çalışması uygulanmaya başlanmıştır. EK A, 1.2.3.4.soru grubunda detaylı verildiği üzere her bir soru grubunun kendi içinde *Cronbach's alpha* değerlerini içeren bulgular, Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Anket çalışmasına yönelik güvenilirlik analizlerinin sonuçları

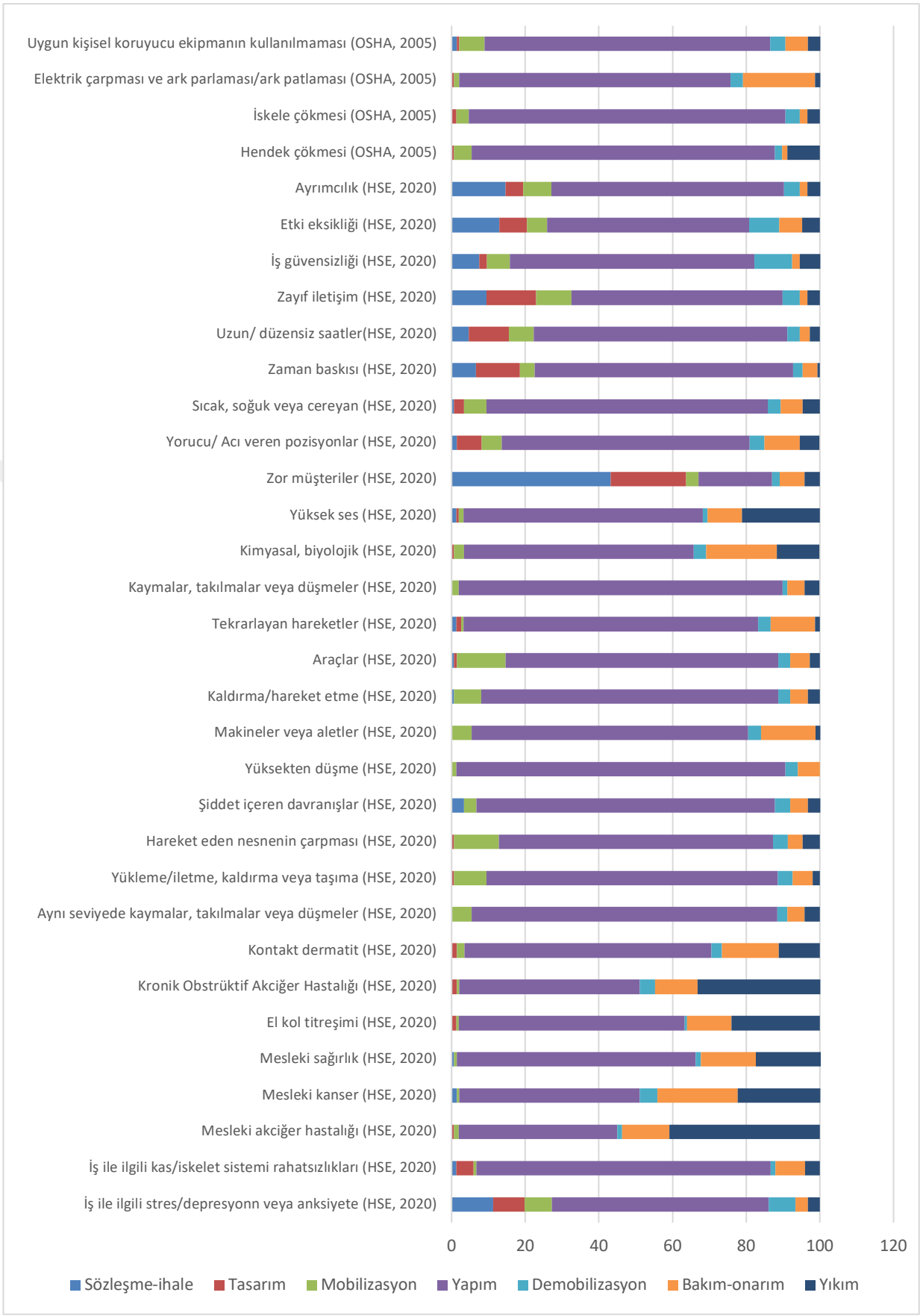
	Cronbach's alpha değeri (pilot çalışma)	*Cronbach's alpha* değeri (ana çalışma)
1.Soru grubu (EK A, 1) (33risk & oluşum sıklığı)	.750	.856
2. soru grubu (EK A, 2) (33 risk & kök nedenler)	.902	.957
3.soru grubu (EK A, 3) (E4T ve GYY) & (3 İSG riski)	.996	.995
4.soru grubu (EK A, 4) (E4T'ler+GYY'ler&PYD)	.985	.990
Anket çalışmasının ikinci kısmı		
5.soru grubu (EK A, 5) (çalışma başlıkları &fazlar)	.967	.898
6.soru grubu (EK A, 6) (literatürün sentezine yönelik 21 adet ifade)	.892	.923
8.soru grubu (EK A, 8) (OSHA standartları)	.847	.870

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, anket çalışmasının birinci kısmına yönelik hem pilot çalışmanın hem de ana çalışmanın *Cronbach's alpha* değerleri çalışmanın güvenli olduğunu göstermektedir.

- Anket verilerinin birinci soru grubuna (EK A-1) (oluşum sıklığı & İPYD fazları)'na yönelik bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Anket çalışmasının birinci soru grubu (EK A-1), belirlenen 33 adet İSG riskinin, proje yaşam döngüsünün fazları boyunca (sözleşme/ihale, tasarım, mobilizasyon, yapım, demobilizasyon, bakım/onarım, yıkım) görülme sıklığını ölçmeye yönelik yapılmıştır.

Daha önce çizelge, Çizelge 2.1'de, HSE (2020) ve OSHA (2005) kaynakları referans alınarak, bu tez çalışması kapsamında İS'de görülebilen ve Çizelge 2.1'de özetlenmiş olan 33 adet İSG riski temel alınarak anket çalışmasına girdi olarak katılmıştır. Şekil 4.1 ise, İSG problemlerinin ve risklerinin inşaat proje aşamalarının her birinde görülme sıklığının grafiksel olarak anlatımını içermektedir.

Şekil 4.1'de verilen 33 adet riski Çizelge 2.1'de verildiği üzere literatür taraması yolu ile elde edilmiş olup, 29 tanesi HSE (2020)'den ve 4 tanesi OSHA (2005)'ten alınmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, her bir riskin, İPYD'nin her bir fazında (sözleşme-ihale, tasarım, mobilizasyon, yapım, demobilizasyon, bakım-onarım, yıkım) olmak üzere görülme sıklığına yönelik yapılan anket sonuçlarının bulgularını özetlemektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : İSG problemlerinin İPYD'nin fazlarında görülme sıklığı

Şekil 4.1'den görüldüğü üzere İSG problemlerinin İPYD'nin yapım aşamasında görülme sıklığının yüksek olduğu vurgulanmıştır. İstisna olarak, 21 numaralı (zor müşteriler) riskinin (HSE, 2020) sözleşme-ihale aşamasında oluşum sıklığının en çok olduğu görülmektedir.

Tanımlayıcı istatistiklerden sonra, katılımcılar arasında anket sorularına verdikleri cevaplar yönü ile anlamlı bir fark olup olmadığını ölçmek için çıkarımsal istatistiksel analizler yapılmıştır. Birinci soru grubu olan (EK A, 1), oluşum sıklığının değerlendirilmek istendiği soru grubunda, her bir değerin ortalaması alınarak, normallik testi gerçekleştirilmiştir. Hem *Kolmogorov-Smirnov* ve hem de *Sahapiro-Wilk* testlerinin sonuçlarına göre, sigma değeri (<.001) olduğu görüldüğünden, birinci soru gurubunun normallik testinin sonuçlarına göre, normallik varsayımını sağlamadığı anlaşılmıştır. Daha sonra çarpıklık ve basıklık değerlerine bakılmıştır. Çarpıklık değerinin, +1.50 iken, basıklık değeri +4.782 olduğu görülmüştür. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1.5 ve -1.5 aralığında olmadığı görüldüğünden, çarpıklık ve basıklık testinin sonuçları da normallik varsayımını desteklememektedir. Daha sonra çarpıklık ve basıklık değerleri, standart hatalarına bölünmüş ve z değerleri hesaplanmıştır. Çarpıklık için z değerinin +6.84, basıklık için z değerinin +10.99 olduğu görülmüştür. İlgili z değerlerinin -1.96 ve +1.96 değerleri arasında yer almadığı görüldüğünden, birinci soru grubu olan İSG risklerinin proje yaşam döngüsünün fazları boyunca oluşum sıklığının, normallik varsayımını sağlamadığı kabul edilerek, paramatrik olmayan testler uygulanmıştır. Parametrik olmayan testlerden, *mann-whitney u* testi uygulanarak, birinci soru gurubuna verilen cevaplarda katılımcılar arasında anlamlı fark olup olmadığı görülmek istenmiştir. İSG risklerinin, PYD boyunca oluşum sıklığına katılımcıların verdikleri cevaplar arasında, katılımcıların meslek gruplarına göre (mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanları, diğer tabanlı İSG uzmanları), eğitim düzeylerine göre (lisansüstü eğitimi mezunu İSG uzmanları, ön lisans-lisans eğitimi mezunu İSG uzmanları), katılımcıların tecrübe yıllarına göre (10 yıl ve altı tecrübeye sahip İSG uzmanları, 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip İSG uzmanları), katılımcıların çalıştıkları sektöre göre (akademik & profesyoneller), anlamlı bir fark olup olmadığını ölçmeye yönelik *Mann-whitney u* testi uygulanmıştır. Aşağıda anlamlı çıkan değerler, Şekil 4.2'de özetlenmiştir.

Değişkenler (İSG problemleri)	Gruplar (katılımcı bilgileri: meslek grubu, sektör, eğitim düzeyi, tecrübe yılı)	Katılımcı sayısı (N)	Ortalama sıralama (*Mean rank*)	Mann-Whitney U testi		
				Z değeri	Katılımcı sayısı	Sigma2
5	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	103 45	70.45 83.78	-2.053	148	.040
5	Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitimi	49 99	66.16 78.63	-1.964	148	.049
7	Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitimi	49 98	59.71 81.14	-3.131	147	.002
12	Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitimi	47 100	82.00 70.24	-2.280	147	.023
24	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	65 85	68.17 81.11	-2.233	149	.026
25	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	64 83	66.30 79.94	-2.346	147	.019
27	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	64 81	65.99 78.54	-2.123	145	.034
6	Akademik Profesyonel	16 134	96.31 73.01	-2.335	150	.020
28	Akademik Profesyonel	16 130	52.06 76.14	-2.356	146	.018

Şekil 4.2 : Katılımcı profillerinin risklerin ilgili fazlarda görülme sıklığına verdikleri cevaplara yönelik bulgular

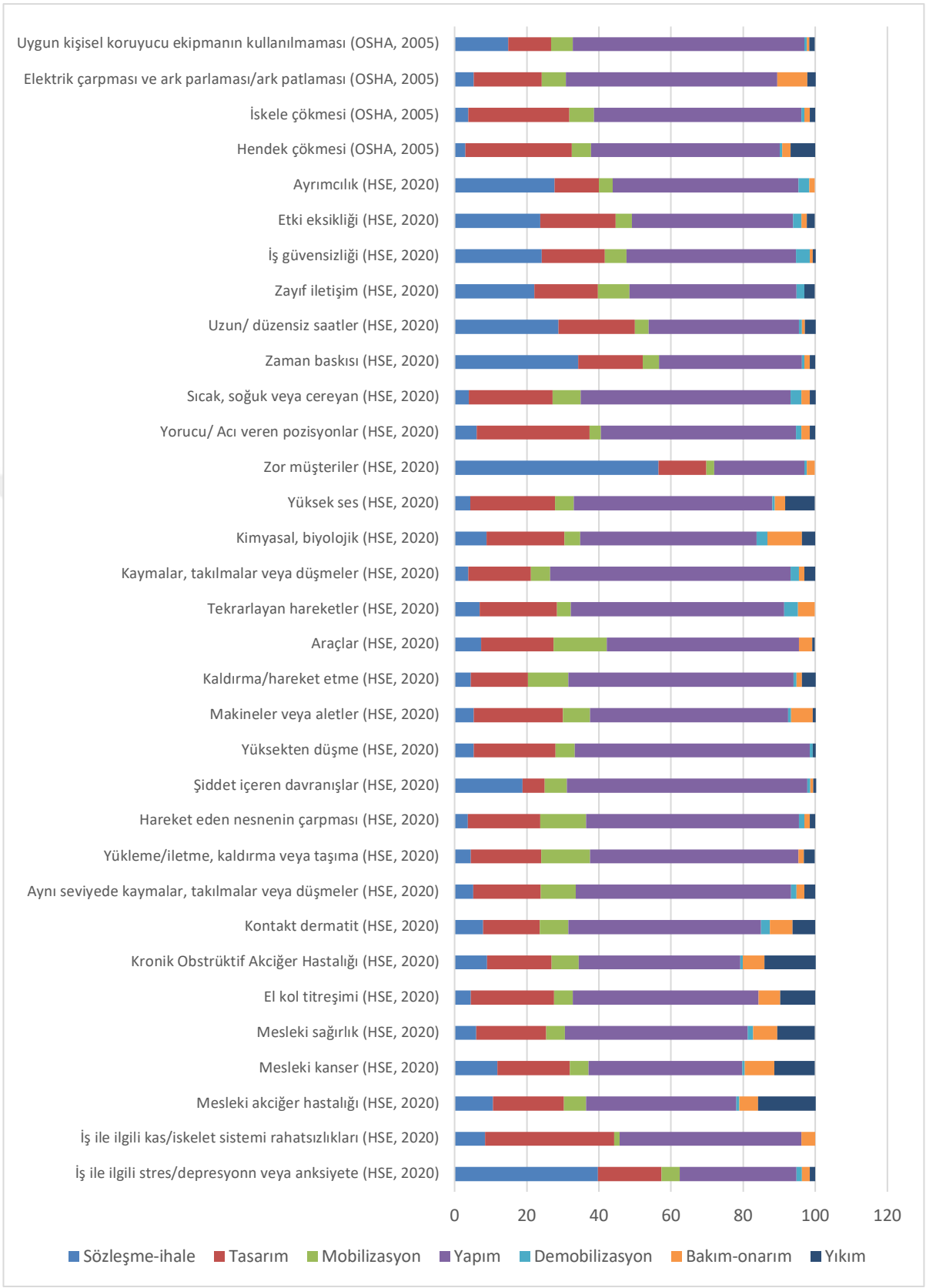
Şekil 4.2'ye göre, 5 numaralı riskin (mesleki sağırlık) (HSE, 2020), İPYD'de oluşum sıklığına dair verdikleri cevaplar arasında meslek grupları bakımından anlamlı fark ($p<0.005$) olduğu görülmüştür. Diğer tabanlı İSG uzmanları (m=83.78), mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanlarından (m=70.45) daha çok ilgili riskin ilgili fazlarda oluşum sıklığının bulunduğunu ifade etmiştir. 5 (mesleki sağırlık) (HSE, 2020), 7(kronik obstrüktif akciğer hastalığı) (HSE, 2020) ve 12 (şiddet içeren davranışlar) (HSE, 2020) numaralı İSG risklerinin İPYD oluşum sıklığına dair katılımcıların verdikleri cevaplar arasında eğitim düzeylerine göre farklılaşma ($p<0.005$) olduğu görülmüştür. 5 numaralı riskin (mesleki sağırlık) (HSE, 2020) ve 7 numaralı riskin (KOAH) (HSE, 2020) numaralı risklerde lisansüstü eğitime sahip olanlar (m=78.63, m=81.14), ön lisans-lisans eğitimine sahip olanlardan (m=66.16, m=59.71) daha çok bu riskin ilgili fazlarda oluşum sıklığının bulunduğunu ifade ettiği, anket sonuçlarının bulguları arasındadır. 12 numaralı riskin (şiddet içeren davranışlar) (HSE, 2020) numaralı risk için, ön lisans-lisans eğitimine sahip İSG uzmanları (m=82.00), lisansüstü eğitimine sahip İSG uzmanlarına (m=70.24) kıyasla bu riskin ilgili fazlarda oluşum sıklığının fazla olduğunu ifade etmiştir. 24 (zaman baskısı) (HSE, 2020), 25 (uzun/düzensiz saatler) (HSE, 2020) ve 27(iş güvensizliği) (HSE, 2020) numaralı risklerin inşaat proje yaşam döngüsünün fazlarında görülme sıklığına verilen cevaplar, katılımcıların sektördeki tecrübe yıllarına göre anlamlı farklılık ($p<0.005$) göstermektedir. 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip olan İSG uzmanları (m=81.11, m=79.94, m=78.54), 10 yıl ve altı tecrübeye sahip olan İSG

uzmanlarından(m=68.17, m=66.30, m=65.99) daha çok ilgili fazlarda bu risklerin görülme sıklığına vurgu yapmıştır. 6 (El-kol titreşimi) (HSE, 2020) ve 28 (Etki eksikliği) (HSE, 2020) numaralı İSG risklerinin, PYD boyunca ilgili fazlarda oluşum sıklığı ile ilgili olarak verilen cevaplar arasında akademisyenler ile sektör profesyonelleri arasında anlamlı fark oldugu ($p<0.005$) görülmüştür. 6 numaralı risk için (El-kol titreşimi) (HSE, 2020) numaralı riskin (HSE, 2020), akademisyenlerin (m=96.31), sektör profesyonellerinden (m=73.01) daha çok bu riskin görülme sıklığının fazlalığını vurgulamıştır. 28 (HSE, 2020) numaralı İSG riski için de, sektör profesyonelleri (m=76.14), akademisyenlerden (m=52.06) daha çok, bu riskin oluşum sıklığının fazlalığını ifade etmiştir.

- Anket çalışmasının, ikinci soru grubunun (EK A, 2) (kök nedenler& İPYD fazları)'na yönelik bulguları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Anket verilerinin ikinci soru grubu, Çizelge 2.1'de özetlenmiş olan, 33 adet İSG riskinin kök nedenlerinin, PYD'nin en çok hangi fazında yapılan eksikliklerden kaynaklandığını belirlemeye yöneliktir (EK A, 2). Şekil 4.3 ise, anket çalışmasının ikinci soru grubuna (EK A, 2) yönelik bulguların, grafiksel anlatımını özetlemektedir.

Şekil 4.3'ten görülebileceği üzere, İSG problemlerinin büyük çoğunluğunda kök nedenlerinin, İS'de yapım aşamasında yapılan eksikliklerden kaynaklanmaktadır. İkinci olarak ise tasarım aşamasında yapılan eksikliklerin de vurgulandığı görülmüştür. Üçüncü olarak ise sözleşme-ihale aşamasında yapılan eksiklerden kaynaklanmaktadır. İş ile ilgili stres, depresyon ve anksiyete (1) (HSE, 2020) ve zor müşteriler (21) (HSE, 2020) risklerinin riskinin kök nedenlerinin ise diğerlerinden farklı olarak sözleşme-ihale aşamasında yapılan eksikliklerden birinci derecede, yapım aşamasında yapılan eksikliklerden ikinci derecede ve tasarım aşamasında yapılan eksikliklerden üçüncü dereceden kaynaklandığı anket bulguları arasındadır.

Şekil 4.3'de verilen 33 adet riski Çizelge 2.1'de verildiği üzere literatür taraması yolu ile elde edilmiş olup, 29 tanesi HSE (2020)'den ve 4 tanesi OSHA (2005)'ten alınmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, her bir riskin kök nedeninin, İPYD'nin hangi fazında (sözleşme-ihale, tasarım, mobilizasyon, yapım, demobilizasyon, bakım-onarım, yıkım) yapılan eksikliklerden kaynaklandığını ölçmeye yönelik yapılan anket sonuçlarının bulgularını özetlemektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : İSG problemlerinin kök nedenlerinin İPYD'nin hangi aşamasında yapılan eksikliklerden kaynaklandığına yönelik bulgular

Anketin ikinci soru grubuna yanıt veren katılımcılar arasında, ilgili soru grubuna verdikleri cevaplar yönü ile anlamlı fark olup olmadığının analizine yönelik grubun ortalaması alınarak normallik testi gerçekleştirilmiştir. Hem *Kolmogorov-Smirnov* ve hem de *Shapiro-Wilk* testlerinin sonuçlarına göre, sigma değeri (<.001) olduğu görülmüştür. Bu durum, soru gurubunun normal dağılım göstermediğini ifade etmektedir. Daha sonra çarpıklık ve basıklık değerlerine bakılmıştır. Çarpıklık değerinin, -.639 iken, basıklık değerinin -.263 olduğu görülmüştür. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1.5 ve -1.5 aralığında olduğu görüldüğünden, çarpıklık ve basıklık testinin sonuçları normallik varsayımını (Tabachnick and Fidel, 2013) desteklemektedir. O nedenle ikinci soru grubunun da normallik varsayımını sağladığı kabul edilerek, paramatrik testler uygulanmıştır. Bağımsız örneklem t-test uygulanarak, ikinci soru grubuna verilen cevaplarda katılımcılar arasında anlamlı düzeyde farklılaşma olup olmadığı görülmek istenmiştir.

Şekil 4.4, anket çalışmasının ikinci soru grubuna (EK A, 2) verilen cevapların, katılımcıların meslek grupları (mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanları, diğer tabanlı İSG uzmanları), katılımcıların eğitim düzeyleri (lisansüstü eğitimi mezunu İSG uzmanları, ön lisans-lisans eğitimi mezunu İSG uzmanları), katılımcıların tecrübe yılları (10 yıl ve altı tecrübeye sahip İSG uzmanları, 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip İSG uzmanları), katılımcıların çalıştıkları sektöre göre (akademik & profesyoneller) arasında anlamlı bir fark olup olmadığını ölçmeye yönelik bağımsız örneklem t-testi yapılmıştır.

Değişkenler (İSG riskleri)	Gruplar (katılımcı bilgileri: meslek grubu, sektör, eğitim düzeyi, tecrübe yılı)	Katılımcı sayısı (N)	Ortalama değer	Standart sapma	t- test t değeri	Katılımcı s.	Sigma
7	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	93 41	3.59 4.44	1.650 1.898	-2.615	132	.010
11	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	93 41	1.08 1.05	.112 .165	2.342	132	.021
21	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	94 42	2.24 1.66	1.479 1.203	.224	134	.028
27	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	91 41	3.12 2.54	1.349 1.451	.2250	130	.026

Şekil 4.4 : Katılımcı profillerinin risklerin ilgili fazlarda kök nedenlerinde yapılan eksiklikleri hakkında verdikleri cevaplara yönelik bulgular

29	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	91 39	3.11 2.56	1.337 1.553	2.030	128	.044
22	Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitimi	43 88	3.58 3.11	1.180 1.254	2.043	129	.043
30	Ön lisans-lisans eğitimi Lisansüstü eğitimi	43 89	3.91 3.34	1.428 1.381	2.197	130	.030
14	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	58 74	3.19 3.62	1.304 1.155	-2.015	130	.046
27	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	57 74	2.42 3.36	1.375 1.278	-4.055	129	<.001
5	Akademik Profesyonel	13 121	4.77 3.74	1.964 1.541	2.217	132	.028
6	Akademik Profesyonel	14 120	5.36 3.58	1.781 1.436	4.283	132	<0.001
19	Akademik Profesyonel	15 120	4.53 3.48	1.685 1.461	2.601	133	.033
20	Akademik Profesyonel	14 122	4.86 3.52	1.994 1.331	3.371	134	.027
21	Akademik Profesyonel	16 120	1.31 2.17	.793 1.457	-2.295	134	.023
25	Akademik Profesyonel	13 119	2.00 2.87	1.225 1.538	-1.979	130	.049
26	Akademik Profesyonel	15 121	2.00 3.13	1.069 1.443	-2.936	134	.004
28	Akademik Profesyonel	13 117	2.00 3.05	1.225 1.485	-2.459	128	.015
29	Akademik Profesyonel	12 118	2.00 3.04	1.279 1.404	-2.468	128	.015

Şekil 4.4 (devamı): Katılımcı profillerinin risklerin ilgili fazlarda kök nedenlerinde yapılan eksiklikleri hakkında verdikleri cevaplara yönelik bulgular

Şekil 4.4, anlamlı çıkan gruplar için detaylı istatistiksel analizlerinin bulgularını içermektedir.

Şekil 4.4'den görülebiceği üzere, 7 (Kronik obstrüktif akciğer hastalığı), 11 (hareket eden nesnenin çarpması), 21 (zor müşteriler), 27(iş güvensizliği), 29 (ayrımcılık) numaralı risklerin fazlarla entegre olarak kök nedenlerden kaynaklanan eksiklikler ile ilgili verilen cevaplarda mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanları ile diğer alt yapıya sahip İSG uzmanları arasında anlamlı fark ($p<0.005$) olduğu görülmüştür. 7 numaralı risk için, diğer tabanlı İSG uzmanları (m=4.44), mimar/mühendislerden(m=3.59) daha çok bu risklerin, ilgili fazda yapılan kök nedenlerden kaynaklanan eksikliklere dayandığını ifade etmişlerdir. 11, 21, 27, 29 numaralı riskler için de mimar ve mühendis tabanlı İSG uzmanları (m=1.08, m=2.24, m=3.12, m=3.11), diğer tabanlı İSG uzmanlarından(m=1.05, m=1.66, m=2.54, m=2.56) daha çok bu risklerin ilgili fazlarda kök nedenlerde yapılan eksikliklerden kaynaklandığnı ifade etmişlerdir. Ayrıca yüksek ses, zor müşteriler, yorucu acı verici pozisyonlar, ayrımcılık, hendek çökmesi risklerinde varyansların homojen dağılmadığı görülmüştür. Bu değerlerde levene testinde varyansların homojen dağılmadığı durumlarda kullanılan *sigma* 2

değeri kullanılmış ancak, bu durum yine de anlamlılığa etki etmemiştir. 22 (yorucu/acı verici pozisyonlar) (HSE, 2020) ve 30 (hendek çökmesi) (OSHA, 2005) numaralı riskler için lisansüstü eğitimi alanlar ve ön lisans-lisans eğitimi alanların verdikleri cevaplar arasında ilgili risklerin, İPYD'de ilgili fazlarda yapılan kök nedenlerdeki eksikliklerden kaynaklandığına yönelik verilen cevaplar arasında anlamlı farklılaşma görülmüştür. Her iki risk için de ön lisans-lisans eğitimi alanların, lisansüstü eğitimi alanlara göre daha çok bu risklerin ilgili fazlarda kök nedenlerden yapılan eksikliklerden kaynaklandığını ifade ettiği, anket bulguları arasındadır. Kontakt dermatit (8) (HSE, 2020), hareket eden nesnenin çarpması (11) (HSE, 2020), yüksekten düşme (13) (HSE, 2020), makineler veya aletler (14) (HSE, 2020), kaldırma hareket ettirme (15) (HSE, 2020), zor müşteriler (21) (HSE, 2020), etki eksikliği (28) (HSE, 2020), elektrik çarpması ve ark patlaması (32) (OSHA, 2005) risklerinde varyanslar homojen dağılmamıştır. Bu riskler için *levene* testinde varyansların homojen dağılmadığı durumda kullanılması gereken (*significant 2 tailed*) değeri kullanılmıştır. Bu değerin kullanılması da, sonuçtaki anlamlılığa etki etmemiştir. 14 (Makineler veya aletler) (HSE, 2020) ve 27 (İş güvensizliği) (HSE, 2020) numaralı risklerinin kök nedenlerinin ilgili fazlarda yapılan eksiklerden kaynaklandığına yönelik verilen cevaplar arasında katılımcıların tecrübesi yönü ile anlamlı fark($p<0.005$) olduğu görülmüştür. 14 (Makineler veya aletler) (HSE, 2020) ve 27 (İş güvensizliği) (HSE, 2020) numaralı risklerde, 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip olan İSG uzmanlarının ($m=3.62$, $m=3.36$), 10 yıl ve altı tecrübeye sahip olan İSG uzmanlarından ($m=3.19$, $m=2.42$) daha çok İSG risklerinin kök nedenlerinin ilgili fazlarda yapılan eksiklerden kaynaklandığı görülmüştür. Hareket eden nesnenin çarpması, makineler veya aletler, uygun kişisel koruyucu ekipmanın kullanılamaması risklerinde varyansların homojen dağılmadığı görülmüştür. *Levene* testine göre varyansların homojen olmadığı durumda dikkate alınması gereken sigma 2 değeri de sonuca etki eden anlamlılığı değiştirmemiştir. 5 (mesleki sağırlık) (HSE, 2020), 6 (el-kol titreşimi) (HSE, 2020), 19 (kimyasal-biyolojik) (HSE, 2020) ve 20 (yüksek ses) (HSE, 2020) numaralı risklerin kök nedenlerinin, ilgili fazlarda yapılan eksiklerden kaynaklandıkları konusunda akademisyenler ve profesyoneller arasında anlamlı fark olduğu ($p<0.005$) görülmüştür. 5 (mesleki sağırlık) (HSE, 2020), 6 (el-kol titreşimi) (HSE, 2020), 19 (kimyasal-biyolojik) (HSE, 2020) ve 20 (yüksek ses) (HSE, 2020) numaralı riskler için akademisyenler ($m=4.77$, $m=5.36$, $m=4.53$, $m=4.86$), sektör profesyonellerinden ($m=3.74$, $m=3.58$, $m=3.48$, $m=3.52$) daha çok bu risklerin kök

nedenlerinin ilgili fazlarda yapılan eksikliklerden kaynaklandığını ifade etmiştir. 21(zor müşteriler) (HSE, 2020), 25 (uzun/düzensiz saatler) (HSE, 2020), 26 (zayıf iletişim) (HSE, 2020), 28 (etki eksikliği) (HSE, 2020) ve 29 (ayrımcılık) (HSE, 2020) numaralı riskler için, sektör profesyonelleri (m=2.17, m=2.87, m=3.13, m=3.05, m=3.04), akademisyenlerden (m=1.31, m=2.00, m=2.00, m=2.00, m=2.00) daha fazla bu risklerin kök nedenlerinin ilgili fazlarda yapılan eksikliklerden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

- Anket çalışmasının birinci soru grubunun (oluşum sıklığı) bulguları ile ikinci soru grubunun (kök nedenler) bulgularının karşılaştırılmasına yönelik yapılan *Spearman*'ın korelasyon analizinin bulguları aşağıda özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen ve detayları, Çizelge 2.1'de verilen, 33 adet İSG riskinin, görülme sıklığının olduğu fazlar (EK A, 1.soru grubu) ile kök nedenlerinde yapılan eksikliklerden (EK A, 2.soru grubu) kaynaklanan fazların arasında bir korelasyon olup olmadığını öğrenebilmek için *Spearman*'ın korelasyon analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.2, *Spearman*'ın korelasyon analizinin istatistiksel olarak bulunan sonuçlarını özetlemektedir. "**" işaretli değerler, 0.01 düzeyinde anlamlı ilişki olduğunu, "*" ise, 0.05 düzeyinde anlamlı bir ilişki olduğunu belirtmektedir. Korelasyon katsayısı üzerinde, herhangi bir işaretin bulunmaması ise, herhangi bir korelasyon bulunmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.2 : Anket çalışmasının birinci (oluşum sıklığı) ve ikinci (kök neden) soru grubunun verilerinin karşılaştırılmasına yönelik *Spearman*'ın korelasyon analizi bulguları -EK A 1&2)

Risk numarası (Çizelge 2.1)	Korelasyon katsayısı (r)	Sigma değeri (p)
1	.277**	.001
2	.155	.078
3	.249**	.004
4	.217*	.012
5	.353**	<0.001
6	.242**	.005
7	.239**	.005
8	.185*	.038
9	-.040	.652
10	-.006	.945

Çizelge 4.2 (devamı): Anket çalışmasının birinci (oluşum sıklığı) ve ikinci (kök neden) soru grubunun verilerinin karşılaştırılmasına yönelik Spearman'ın korelasyon analizi bulguları- EK A, 1& EK A, 2)

Risk numarası (Çizelge 2.1)	Korelasyon katsayısı (r)	Sigma değeri (p)
11	.204*	.019
12	.121	.170
13	.064	.467
14	.126	.149
15	.315**	<.001
16	.118	.174
17	.281**	.001
18	.210*	.016
19	.204*	.018
20	.279**	.001
21	.433**	<.001
22	.093	.292
23	.294**	<.001
24	.128	.139
25	.309**	<.001
26	.448**	<.001
27	.221*	.012
28	.429**	<.001
29	.463**	<.001
30	.373**	<.001
31	.172*	.049
32	.199*	.022
33	.217*	.012

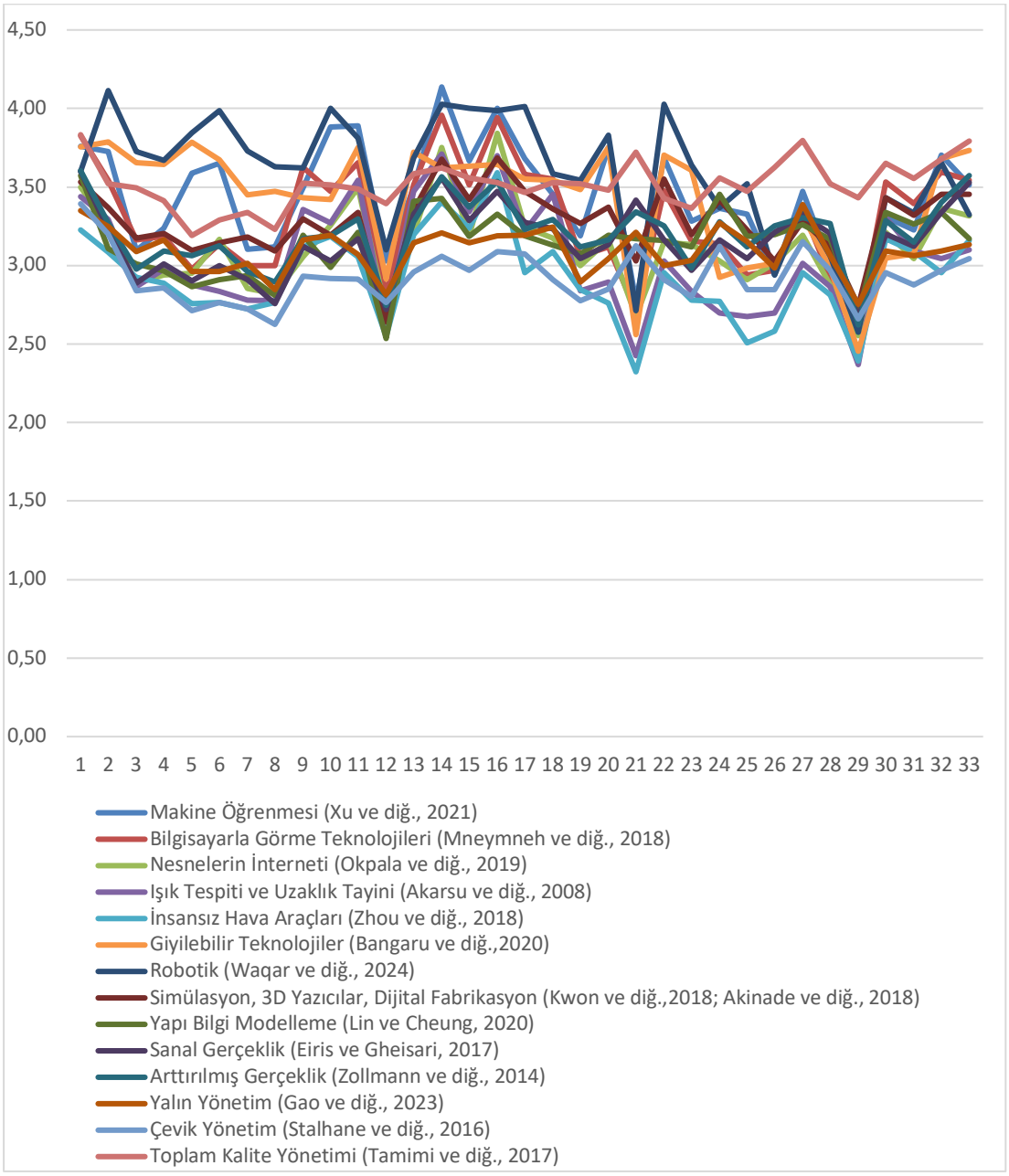
Çizelge 4.2'de verilen *Spearman*'sın korelasyon analizine göre 1 numaralı riskin (r=0.277, p=0,001), 3 numaralı riskin (r=0.249 p=0,004), 4 numaralı riskin (r=0.217, p=0,012), 6 numaralı riskin (r=0.242, p=0,005), 7 numaralı riskin (r=0.239, p=0,005), 8 numaralı riskin (r=0.185, p=0,038), 11 numaralı riskin (r=0.204, p=0,019), 17 numaralı riskin (r=0.281, p=0,001), 18 numaralı riskin (r=0.210, p=0,016), 19 numaralı riskin (r=0.204, p=0,018), 20 numaralı riskin (r=0.279, p=0,001), 23 nuamralı riskin (r=0.294, p= <.001), 23 numaralı riskin (r=.294, p=<.001), 27 numaralı riskin (r=.221, p=.012), 31 numaralı riskin (r=.172, p=.049), 32 numaralı riskin (r=.199, p=.049), 32 numaralı riskin (r=.199, p=.22), 33 numaralı riskin (r=.217, p=.012) inşaat proje aşamalarından ilgili fazlarda görülme sıklığı ile bu İSG probleminin kök nedenlerinin, PYD'de ilgili fazlarda yapılan eksikliklerden kaynaklanması arasında düşük seviyede, pozitif ve anlamlı bir korelasyon bulunmuştur.

Çizelge 4.2'de verilen *Spearman'*sın korelasyon analizine göre 5 numaralı riskin (r=.353, p= <.001), 15 numaralı riskin (r=.315, p=<.001), 21 numaralı riskin (r=.433, p=<.001), 25 numaralı riskin (r=.309, p=<.001), 26 numaralı riskin (r=.448, p=<.001), 28 numaralı riskin (r=.429, p=<.001), 29 numaralı riskin (r=.463, p=<.001), 30 numaralı riskin (r=.373, p>.001) inşaat proje aşamalarından ilgili fazlarda görülme sıklığı ile bu İSG probleminin kök nedenlerinin, PYD'de ilgili fazlarda yapılan eksikliklerden kaynaklanması arasında orta seviyede, pozitif ve anlamlı bir korelasyon bulunmuştur.

Çizelge 4.2'de verilen *Spearman*'sın korelasyon analizine göre 2 numaralı riskin (r=.155, p=.078), 9 numaralı riskin (p=-.040, r=.652), 10 numaralı riskin (r=-.006, p=.945), 12 numaralı riskin (r=.121, p=.170), 13 numaralı riskin (r=.064, p=.467), 14 numaralı riskin (r=.126, p=.149), 16 numaralı riskin (r=.118, p=.174), 22 numaralı riskin (r=.093, p=.292), 24 numaralı riskin (r=.128, p=.139), inşaat proje aşamalarından ilgili fazlarda görülme sıklığı ile bu İSG probleminin kök nedenlerinin, İPY'de ilgili fazlarda yapılan eksikliklerden kaynaklanması arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır.

- Anket verilerinin üçüncü soru grubunun (EK A, 3.soru grubu) bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir. İlgili soru grubu, her bir İSG probleminin ve riskinin, belirtilen E4T ve GYY kullanılarak önlenebilme potansiyelinin değerlendirilmesine yöneliktir (Şekil 4.5).

Şekil 4.5'de verilen 33 adet risk, Çizelge 2.1'de verildiği üzere literatür taraması yolu ile elde edilmiş olup, 29 tanesi HSE (2020)'den ve 4 tanesi OSHA (2005)'ten alınmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, her bir İSG riskinin, tez kapsamında incelenen E4T'ler ve GYY'ler ile entegre olarak çözülebilme potansiyeline yönelik olarak yapılan yapılan anket sonuçlarının bulgularını özetlemektedir (Şekil 4.5). Bu tez çalışması kapsamında ele alınan E4T'ler ve GYY'lerin her biri, Şekil 4.5'te belirtildiği ve literatür taraması kısmında detaylı olarak ele alındığı üzere, literatürden elde edilen edilen çalışmalar temel alınarak oluşturulmuştur. Örneğin, mevcut literatür, Makine öğrenmesi (Xu ve diğ., 2021), BGT (Mneymneh ve diğ., 2018), nesnelerin interneti (Okpala ve diğ., 2021) ile İS'de İSG problemlerinin çözülebilme potansiyeline vurgu yapmıştır.



Şekil 4.5 : İSG risklerinin E4T&GYY ile entegre olarak çözülebilme potansiyeline yönelik bulgular (EK A, 3)

Şekil 4.5, İSG problemlerini çözebilme potansiyenin sorulduğu E4T&GYY'lerin , her birine verilen cevaplar 5'li *likert* ölçeği ile alındığı için, ortalamanın 2.5 olduğu düşünülebilir. Böylece E4T ve GYY'lerin, ilgili riskleri çözebilme potansiyelinin yüksek olduğu bulgular arasındadır. E4T'lerden yalnızca bazı riskler özelinde İHA ve GT'nin ve ortalamasının 2.5'tan düşük olduğu görülmüştür. Ancak, bu kapsamda öne çıkan E4T'ler ve GYY'lerin olduğu görülmüştür. Örneğin, 33 İSG riskinin en çok çözülebilme potansiyelinin bulunduğu teknolojinin Robotik (sıklık=16), ikinci

derecede çözebilme potansiyeli olan GYY'nin ise TKY (sıklık=11) olduğu görülmüştür. Diğer destek olma potansiyeli olan E4T'lerin ise BGT (1), MÖ (4), GT(1), olduğu görülmüştür. Ayrıca 1, 12, 21, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33 risklerinin en çok TKY kullanılarak, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25 numaralı risklerin en çok Robotik kullanılarak, 9 numaralı riskin ise en çok BGT kullanılarak, 11, 14, 16, 32 numaralı risklerin ise en çok MÖ kullanılarak çözülebilme potansiyelinin bulunduğu, 13 numaralı riskin ise en çok GT ile çözülebilme potansiyelinin olduğu görülmüştür.

Birinci anket çalışmasının üçüncü soru grubunun (EK A, 3) tanımlayıcı analizleri yapıldıktan sonra, katılımcılar arasında ilgili soru grubuna verdikleri cevaplar yönü ile anlamlı fark bulunup bulunmadığını görebilmek için, çıkarımsal analizler yapılmak istenmiştir. Daha sonra, her bir İSG problemine ait olan veri grubunun ortalaması alınarak normallik analizi yapılmıştır. *Kolmogorov-Smirnov* testi için (statistic= .115, sigma değeri= .200), *Shapiro-Wilk* testi için (statistic= .937, sigma değeri= .153) olarak bulunmuştur. Sigma değeri 0.05'ten büyük olduğu için verilerin normal dağıldığı görülmüştür. Ayrıca ortalaması alınan değerlerin çarpıklık değeri (-.444) iken baslıklık değeri (-.772) olarak bulunmuştur. Çarpıklık ve basıklık değerleri de -1.5 ve +1.5 aralığında olduğu için verilerin normal dağıldığı kabul edilerek, parametrik testlerden *t-test* yapılmıştır.

Şekil 4.6, 33 adet İSG riskinin, ilgili E4T&GYY ile çözülebilme potansiyeline yönelik verilen cevaplar için katılımcılar arasında katılımcıların meslek grupları yönü ile (mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanları, diğer tabanlı İSG uzmanları), katılımcıların eğitim düzeyleri yönü ile (lisansüstü eğitimi mezunu İSG uzmanları, ön lisans-lisans eğitimi mezunu İSG uzmanları), katılımcıların tecrübe yılları arasında (10 yıl ve altı tecrübeye sahip İSG uzmanları, 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip İSG uzmanları), katılımcıların çalıştıkları sektöre göre (akademik & profesyoneller), anlamlı farklılaşma olup olmadığını ölçmeye yönelik yapılan t-test in istatistiksel olarak anlamlı sonuçlarını içermektedir.

Değişkenler (İSG riskleri)	Gruplar	Katılımcı sayısı (N)	Ortalama değer	Standart sapma	T test t değeri	Katılımcı sayısı	Sigma
1	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	59 32	3.35 3.88	.94 .82	-2.681	89	.009
3	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	56 27	3.00 3.52	1.13 1.01	-2.050	81	.044
17	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	46 18	3.19 3.91	1.05 .933	-2.516	62	.014
19	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	46 16	2.95 3.64	1.14 1.07	-2.123	60	.038
20	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	48 16	3.09 3.85	1.10 1.02	-2.422	62	.018
23	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	45 16	2.95 3.78	1.12 1.00	-2.633	59	.011
30	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	46 17	3.05 3.92	1.18 .98	-2.710	61	.009
31	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	44 16	2.99 3.91	1.24 .96	-2.676	58	.010
32	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	46 17	3.21 3.92	1.06 .96	-2.418	61	.019
33	Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları Diğer altyapıya sahip İSG uzmanları	47 17	3.11 3.99	1.17 .91	-2.799	62	.007
23	Akademik Profesyonel	9 52	2.44 3.30	.920 1.133	-2.130	59	.037

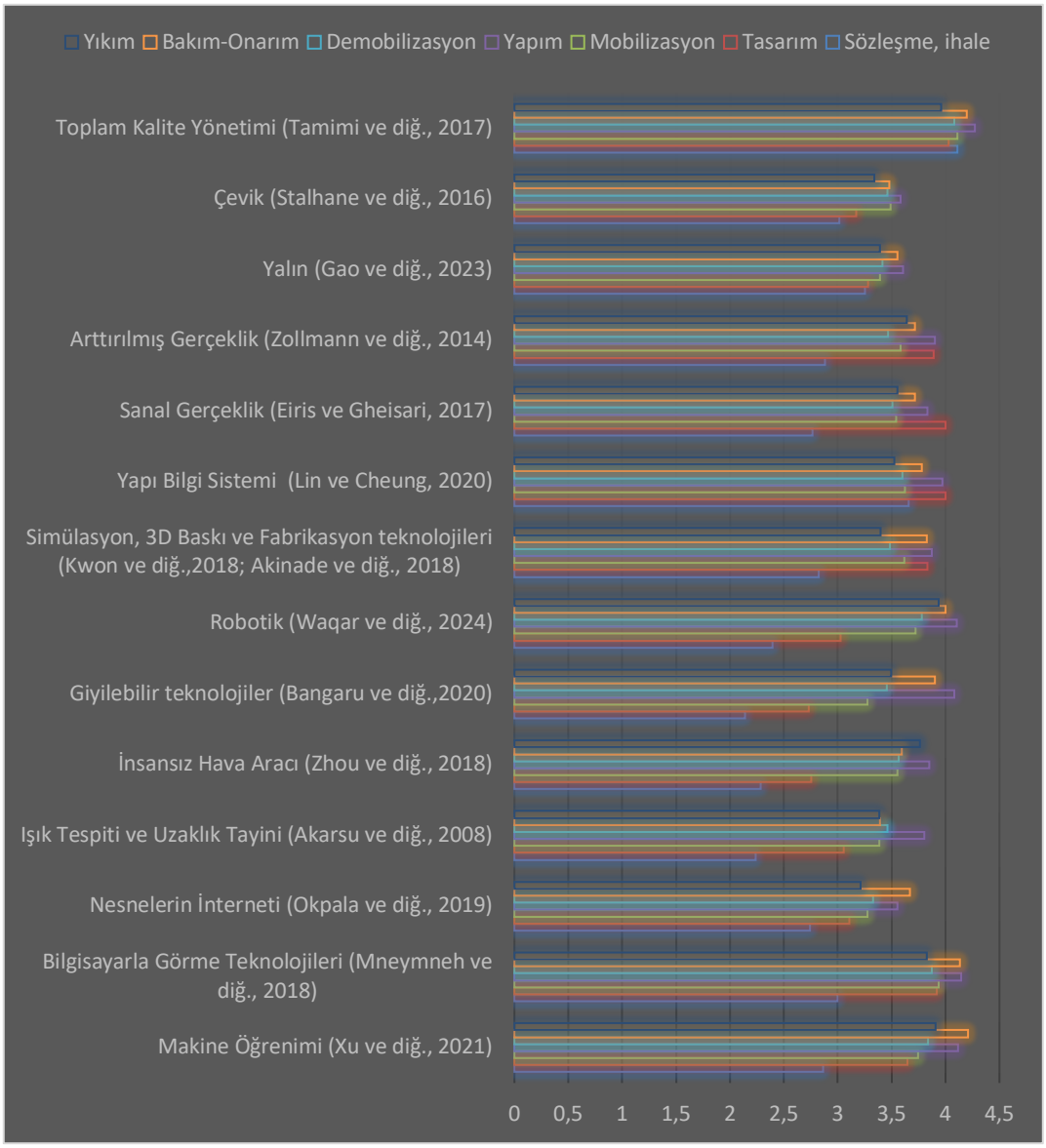
Şekil 4.6 : İSG risklerinin E4T&GYY'ler ile çözülebilme potansiyelinin araştırılmasına yönelik t-test bulguları (EK A, 3)

Şekil 4.6'ya göre, 1 (İş ile ilgili stres, depresyon veya anksiyete) (HSE, 2020), 3 (mesleki akciğer hastalığı) (HSE, 2020), 17 (tekrarlayan hareketler) (HSE, 2020), 19 (kimyasal, biyolojik) (HSE, 2020), 20 (yüksek ses) (HSE, 2020), 23 (sıcak, soğuk veya cereyan) (HSE, 2020), 30 (hendek çökmesi) (OSHA, 2005), 31 (iskele çökmesi) (OSHA, 2005) , 32 (elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması) (OSHA, 2005), 33 (uygun kişisel ekipmanın kullanılmaması) (OSHA, 2005) numaralı İSG risklerinin verilen E4T&GYY yaklaşımı ile entegrasyonuna yönelik verdikleri cevaplar arasında anlamlı fark ($p<0.005$) vardır. Hepsinde diğer tabanlı İSG uzmanları (m=3.88, m=3.52, m=3.91, m=3.64, m=3.85, m=3.78, m=3.92, m=3.91, m=3.92, m=3.99), mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanlarından(m=3.35, m=3.00, m=3.19, m=2.95, m=3.09, m=2.95, m=3.05, m=2.99, m=3.21, m=3.11) daha fazla ilgili E4T&GYY'ler ile çözümünü desteklemişlerdir. 23 (sıcak, soğuk veya cereyan) (HSE, 2020) numaralı riskin ilgili E4T&GYY yaklaşımları ile çözülebilme potansiyeline yönelik verilen cevaplar, katılımcılar arasında çalışılan sektöre göre (akademik & profesyonel) anlamlı farklılaşma ($p<0.005$) olduğunu göstermektedir. Aynı zamandan tüm varyanslar homojen dağılmaktadır. *Sigma 2* değeri 0.05'in altında olduğu, 23 numaralı riskin (sıcak, soğuk veya cereyan) (HSE, 2020) teknolojilerle entegrasyonu ile ilgili olarak, akademisyenler ve sektör profesyonelleri arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilir. 23 numaralı risk (sıcak, soğuk veya cereyan) (HSE, 2020) için, sektör

profesyonellerinin (m=3.30) akademisyenlerden (m=2.44) daha çok bu riskin ilgili ET4&GYY çözümüne vurgu yaptığını ifade etmektedir.

- Anket çalışmasının dördüncü soru grubunun (EK A, 4) bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir. İlgili soru grubu, belirtilen E4T ve GYY'nin her birinin İPYD'nin her bir aşamasına entegre olarak, İSG problemlerini çözebilme potansiyelini ölçmeye yönelik yapılmıştır (Şekil 4.7).

Şekil 4.7'de ele alınan, E4T'ler ve GYY'lerin her biri, literatürden elde edilen edilen çalışmalar temel alınarak anket çalışmasına girdi olarak dahil edilmiştir. Örneğin, mevcut literatür, TKY (Tamimi ve diğ., 2017), sanal gerçeklik (Eiris ve Gheisari, 2017), YBM (Lin ve Cheung, 2020) ile İS'de İSG problemlerinin çözülebilme potansiyeline vurgu yapmıştır. Tez çalışması kapsamında ise literatürde İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin görüldüğü E4T ve GYY'lerin, İPYD'nin tüm fazları (sözleşme-ihale, tasarım, mobilizasyon, yapım, yıkım, demobilizasyon, bakım-onarım, yıkım) boyunca çözülebilme potansiyeline yönelik yapılan anket çalışmasının bulgularını içermektedir.



Şekil 4.7 : E4T&GYY'lerin, İPYD'in fazları ile ilişkisi (EK A, 4)

Şekil 4.7, anket çalışmasının dördüncü soru grubunun (EK A, 4) bulgularının grafiksel anlatımını ifade etmektedir. E4T'lerden MÖ ve Nİ'nin, PYD'nin en çok bakım-onarım aşamasına entegre olarak İSG problemlerini çözebileceğini göstermiştir. BGT (, IT&UT, İHA, GT, Robotik, Sim&3D&Fab, AG, yalın yönetim, çevik yönetim ve TKY'nin ise en çok PYD'nin yapım aşamasına entegre olarak İSG problemlerini çözebileceği, anket çalışmasının bulguları arasındadır. YBM ve SG ise en çok İPYD'nin tasarım aşamasına entegre olarak, İS'deki İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, 5'li *Likert* ölçeği kullanılarak anket çalışması yapıldığı için, ortalama değeri 2.5'tan fazla olanların da PYD'nin ilgili fazlarına entegre olarak İSG problemlerini çözebileceği kabul edilmiştir. Bu açıdan

düşünüldüğünde, tüm E4T&GYY'lerin, İPYD'nin tüm fazlarına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin olduğu bulgular arasındadır.

Anket çalışmasının (EK A, 4)'te görülen soru grubu, E4T&GYY ile PYD'nin fazları arasındaki ilişkileri açıklamıştır. Katılımcıların verdikleri cevaplar arasında anlamlı fark olup olmadığını ölçmeye yönelik, yönelik tanımlayıcı istatistikler yapıldıktan sonra, çıkarımsal analizler yapılmıştır. Güvenilirlik analizi yapılan, dördüncü soru grubu için sonuçlar güvenilir bulunduktan sonra normallik testi yapılmıştır. Normallik testinin sonucu, *Kolmogorov-Smirnov* için (statistic = .101 ve sigma değeri = .200), *Shapiro-Wilk* testi için (statistic = .951 ve sigma değeri= .063) olduğu görülmüştür. Normallik testinin sonucu 0.05'ten büyük olduğu için verilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Aynı zamanda çarpıklık (.180) ve basıklık (-.703) değerlerine de bakılmıştır. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1.5 ve -1.5 aralığında olduğu görülmüş, bu yönüyle de normal dağılım gösterdiğine yönelik kanıt güçlenmiştir. Ayrıca, z değeri hesaplandığında çarpıklık için standart hata değerinin .361, basıklık için standart hata değerinin ise -.703 olduğu görülmüştür. Z değerleri hesaplanırken, çarpıklık ve basıklık değerleri standart hata değerlerine bölünür. Çarpıklık için z değeri, .499 iken, basıklık için z değeri, -.992 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda z değeri, +1.96 ve -1.96 aralığında olduğundan, z değeri hesaplandığında da verilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, normallik varsayımının kabul edildiği durumlarda kullanılabilen parametrik testlerden biri olan bağımsız örneklem t-test yapılmıştır.

Her bir teknolojinin ve güncel yenilikçi yaklaşımın İPYD'nin fazlarına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelleri için katılımcılar arasında meslek grupları yönü ile (mimar/mühendis tabanlı İSG uzmanları, diğer tabanlı İSG uzmanları), katılımcıların eğitim düzeyleri yönü ile (lisansüstü eğitimi mezunu İSG uzmanları, ön lisans-lisans eğitimi mezunu İSG uzmanları), katılımcıların tecrübe yılları arasında (10 yıl ve altı tecrübeye sahip İSG uzmanları, 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip İSG uzmanları), katılımcıların çalıştıkları sektöre göre (akademik & profesyoneller) anlamlı fark olup olmadığını ölçmek için bağımsız örneklem t-test yapılmış olup, t-test'in istatistiksel sonuçlarından anlamlı olan bulguları Şekil'4.8'de verilmiştir.

Değişkenler (Endüstri 4.0 teknolojileri ve yönetim yaklaşımları)	Gruplar (katılımcı bilgileri: meslek grubu, sektör, eğitim düzeyi, tecrübe yılı)	Katılımcı sayısı (N)	Ortalama değer	Standart sapma	t- test t değeri	Katılımcı sayısı	Sigma
İnsansız hava araçları	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	30 43	3.69 3.06	.987 1.151	2.426	71	.018
Robotik	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	30 40	3.93 3.27	.981 .978	2.799	68	.007
Çevik yönetim	10 yıl ve altı 11 yıl ve üstü	25 39	3.89 3.06	1.054 1.227	2.776	62	.007
Makine öğrenmesi	Akademik Profesyonel	11 60	3.31 3.87	.923 .811	-2.070	69	.042

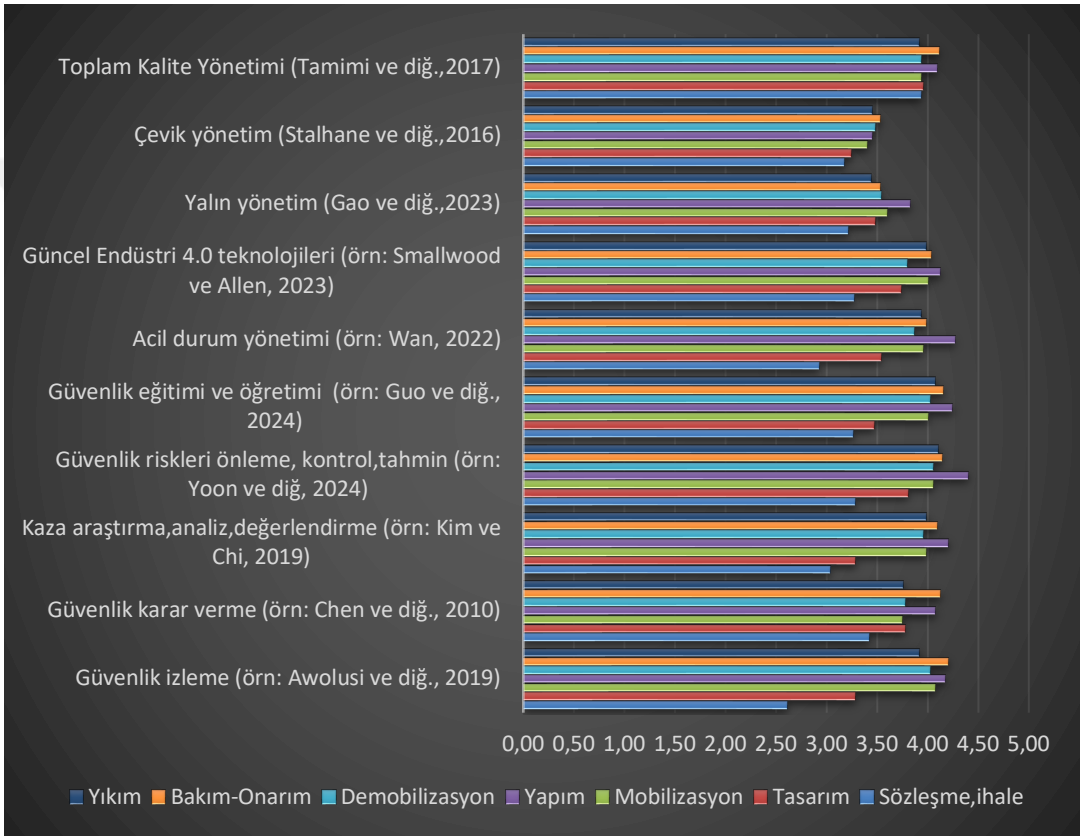
Şekil 4.8 : E4T&GYY'lerin, İPYD'in fazları ile ilişkisine yönelik t-test bulguları (EK A, 4)

Şekil 4.8'e yönelik, tüm E4T&GYY'lerin, varyanslarının homojen olduğu görülmüştür. O nedenle *levene* testinde varyansların homojen olduğu durumda kullanılan *sigma* değeri kullanılmıştır. İHA, robotik ve çevik yönetim için verilen cevaplar bakımından katılımcılar arasında tecrübe yılına göre anlamlı fark ($p<0.005$) olduğu görülüştür. 10 yıl ve altı tecrübeye sahip olan İSG uzmanları (m=3.69, m=3.93, m=3.89), 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip olan İSG uzmanlarına (m=3.06, m=3.27, m=3.06) göre daha çok İHA, robotik ve çevik yönetimin, İPYD'nin fazları ile entegre olarak, İSG problemlerini çözebilme potansiyelini vurgulamıştır. Bu durumun sebeplerinin neler olabileceğine dair mülakat çalışması sırasında uzman görüşleri alınmış ve tezin mülakat çalışmasına yönelik bulgular kısmında detaylı anlatımı sağlanmıştır. Bağımsız örneklem t-test sonuçlarına göre MÖ'nün, İPYD'nin fazları ile entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyeli arasında akademisyenler ve sektör profesyonellerinin verdikleri cevaplar arasında anlamlı fark ($p<0.005$) bulunmaktadır. Sektör profesyonelleri (m=3.87), akademisyenlerden (m=3.31) daha çok MÖ'nün, İPYD'nin fazlarına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelini vurguladığı görülmüştür.

- Anket çalışmasının ikinci kısmına yönelik olarak yapılan soru grupları (EK A, 5, 6, 7, 8)'de görülebilir.
- Anket çalışmasının beşinci soru grubu (EK A, 5), literatür incelendikten sonra elde edilen 10 adet temel çalışma başlığının (örneğin; güvenlik izleme), PYD'nin her bir fazına entegre olarak, İS'de İSG problemlerini çözebilme potansiyelini araştırmaktadır.

Şekil 4.9 anket çalışmasının, beşinci soru grubunun verilerine yönelik olarak bulguların grafiksel anlatımını özetlemektedir.

Şekil 4.9'daki her bir çalışma başlığı, literatürün kapsamlı bir analizi sonucu elde edilmiştir. Örneğin, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, İS'de İSG4.0 için yapılan çalışmaların Awolusi ve diğ. (2019)'un çalışmasında olduğu gibi güvenlik izleme, Chen ve diğ. (2010)'un çalışmasında olduğu gibi güvenlik karar verme (*safety decision-making*) ya da Şekil 4.9'da belirtilen şekilde ilgili diğer çalışma başlıkları altında gruplanabileceği görülmüştür. Literatürden elde edilen çalışma başlıklarının, İPYD'nin tüm fazları boyunca entegasyonuna yönelik ve bu tez çalışması kapsamında yapılan anket çalışmasının bulguları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 : Literatürden sentezlenen çalışma alanlarının (örn;TKY, yalın yönetim) İS'de İPYD'nin fazları boyunca İSG problemlerine çözüm olma potansiyeline yönelik bulgular (EK A, 5)

Şekil 4.9, anlaşılacağı üzere, güvenlik izleme (1), güvenlik karar verme (2), çevik yönetim (9) ve TKY'nin (10) İPYD'nin en çok bakım-onarım aşamasına entegre olarak, İSG problemlerini çözebileceğinine yönelik anket bulgusunu göstermektedir. Kaza araştırma, analiz, değerlendirme (3), güvenlik risklerini önleme, kontrol, tahmin (4), güvenlik eğitimi ve öğretimi (5), acil durum yönetimi (6), güncel endüstri 4.0 teknolojileri (7), yalın yönetim (8)'in ise İPYD'nin en çok yapım aşamasına entegre olarak, İSG problemlerini çözebileceği anketin temel bulguları arasındadır. Ayrıca

anketin 5'li *Likert* ölçeği ile ölçüldüğü düşünüldüğünde, ortalama değeri 2.5 ve üstü olan değerlerin, kabul edilebilir düzeyde entegre edilebileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle, çalışma başlıklarının, proje yaşam döngüsünün fazları hem bütüncül hem de her biri özelinde değerlendirilerek, İSG4.0'a entegre olabilme potansiyelinin bulunduğunu anket bulguları ortaya koymaktadır.

Anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerinin bulgularına yönelik (EK A-5), katılımcılar arasında verilen cevaplar yönü ile anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için çıkarımsal analizler yapılmıştır. Öncelikle, her bir grubun kendi içinde ortalaması alınarak normallik testi yapılmıştır. Normallik varsayımına göre *sigma* değeri 0.05 ten büyük olan değerler, normal kabul edilmektedir. Örneğin, birinci temel konu başlığı olan güvenlik izleme, hem *Kolmogorov* hem de *Shapiro-wilk* testine göre 0.05 ten büyük olduğu için normallik varsayımını sağlamıştır. İkinci temel konu başlığı olan güvenlik karar vermenin, *Kolmogorov* testine göre normallik varsayımını sağladığı ancak *Shapiro-wilk* testine göre normallik varsayımını sağlamadığı görülmüştür. Örneğin beşinci temel konu başlığı olan güvenlik eğitimi ve öğretimi, her iki test için de normallik varsayımını sağlamamıştır. Bu nedenle, çarpıklık ve basıklık değerlerine de bakılmıştır (Şekil 4.10).

Literatürden sentezlenen çalışma alanları	İncelenen değerler	İstatistik değerleri	Standart hata değerleri	Normallik sonucu
1.Güvenlik İzleme (örn: Awolusi ve diğ., 2019)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.82 .822 -.450 -.516	.12536 - .361 .709	normal
2.Güvenlik karar-verme (örn: Chen ve diğ., 2010)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.88 .818 -.323 -.391	.12475 - .361 .709	normal
3.Kaza araştırma, analiz, değerlendirme (örn: Kim ve Chi, 2019)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.32 .720 -.134 -.993	.10976 - .361 .709	normal
4 Güvenlik riskleri önleme, kontrol, tahmin (örn: Yoon ve diğ, 2024)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	4.04 .773 -.434 -.852	.11802 - .361 .709	normal
5 Güvenlik eğitimi ve öğretimi (örn: Guo ve diğ., 2024)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.96 .950 -.766 .016	.14491 - .361 .709	normal
6 Acil durum yönetimi (örn: Wan, 2022)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.84 .84319 -.493 -.061	.12858 - .361 .709	normal

Şekil 4.10 : Literatürden sentezlenen çalışma alanlarının İS'de İPYD'nin fazları boyunca İSG problemlerine çözüm olma potansiyeline yönelik verilerin çarpıklık ve basıklık test sonuçları

7 Güncel Endüstri 4.0 teknolojileri (örn: Smallwood ve Allen, 2023)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.97 .90985 -.733 .255	.13875 - .361 .709	normal
8 Yalın yönetim (Gao ve diğ.,2023)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.54 .89190 -.251 .576	.13601 - .361 .709	normal
9 Çevik yönetim (Stalhane ve diğ.,2016)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	3.45 .96736 .035 -.447	.14752 - .361 .709	normal
10 Toplam kalite yönetimi (Tamimi ve diğ., 2017)	Ort.değer Std.sapma. Çarpıklık Basıklık	4.01 .97331 -.753 -.416	.14843 - .361 .709	normal

Şekil 4.10 (devamı): Literatürden sentezlenen çalışma alanlarının İS'de İPYD'nin fazları boyunca İSG problemlerine çözüm olma potansiyeline yönelik verilerin çarpıklık ve basıklık test sonuçları

Şekil 4.10, çarpıklık ve basıklık değerlerinin her bir temel çalışma başlığı için -1.5 ve +1.5 aralığında olduğu görüldüğünden ilgili soru grubunun verilerinin normal dağıldığı kabul edilmiştir. O nedenle, parametrik testlerden olan bağımsız örneklem t-test uygulanarak, katılımcılar arasında, anket çalışmasının ilgili soru grubuna yönelik (EK A, 5) verilen cevaplar arasında anlamlı fark olup olmadığı bağımsız örneklem t-test ile test edilmiştir. T-test istatistiksel analizlerinin hiçbiri, katılımcıların özellikleri ile (meslek, sektör, tecrübe yılı, eğitim düzeyi) anlamlı fark bulunamamıştır.

- Anket çalışmasının altıncı soru grubu, (EK A, 6) literatürün sentezinden elde edilen ve gelecekteki çalışma yönlerinin belirlenmesine yönelik 21 adet ifadeye, İSG uzmanlarının katılım derecelerini ölçmeye yönelik yapılmıştır. Anket çalışmasının, ilgili soru grubuna yönelik bulguları, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Her bir ifadenin sıralaması, ortalama değeri, standart sapma değeri ve katılımcı sayısı verilmiştir.

Şekil 4.11'de verilen ifadeler, İS'de İSG4.0'ın durumunu ve geleceğe yönelik çalışma önerilerini ortaya koymuştur. Anket çalışmasında, her bir ifade ağırlıklandırılarak önem derecesi bu tez çalışmasının bulgusu kapsamında açığa çıkarılmıştır (Şekil 4.11).

İfadeler	Sıralama	Ortalama değer	Standart sapma	N
8-Kaza ve ramak kala olaylardan kaçabilmek için, kaza risklerini doğru algılayabilmek önemlidir.	1	4.6102	0.61636	59
13-İnşaat sektöründe İSG performansını geliştirmeye yönelik olan çalışmalar genellikle ölümcül kazalara odaklansa da, hiçbir problem göz ardı edilmemelidir.	2	4.5593	0.72567	59
11-Kaza risklerini önlemek için belirlenen risk faktörlerinin birbirlerinden bağımsız olarak değil, faktörlerin birbirleriyle olan dinamik etkisi de ele alacak şekilde yapılması gerekir.	3	4.4746	0.59758	59
3-Proje yaşam döngüsü boyunca, İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak inşaat sektörü uzmanlarınca, proje paydaşlarınca vs. kullanılmasının faydalı olacağı öngörülen Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımına yönelik yeterlilik/yetkinlik kriterlerinin belirlenmesi önemlidir.	4	4.3390	0.90230	59
12-Mimarlık ve inşaat mühendisliği lisans öğrenimine, tüm proje yaşam döngüsü boyunca Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre edilebilmiş, İSG içeriklerinin dahil edilmesine ilişkin çalışmalar yapılmalıdır.	5	4.3390	0.95791	59
6-Kazaları ve ramak kala olayları azaltmak için Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmak isteyen her organizasyon, teknolojileri yeterince tanıyarak, amaca yönelik katkıda bulunabilen teknolojileri önerebilecek donanıma sahip olmalıdır.	6	4.3220	0.89905	59
10-Endüstri 4.0 teknolojilerinin kazaları elimine etme ve minimize etmek için, bu teknolojilerin etki kullanımına dair standartlara ve yenilikçi düzenlemelere ihtiyaç vardır.	7	4.3051	0.79338	59
5-İnşaat sektöründe, kazaları ve ramak kala olayları önceden tahmin etme ve önleyebilmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinin adaptasyonuna ihtiyaç vardır.	8	4.3051	0.93319	59
15-İnşaat sektöründe acil durum problemlerinin çözümüne yönelik, Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre bir şekilde ve tüm proje yaşam döngüsünü içeren acil durum yönetim planları oluşturulmalıdır.	9	4.2881	0.89155	59
18-İnşaat ekipmanları için sistematize edilmiş, Endüstri 4.0 teknolojileriyle desteklenmiş ve tüm proje yaşam döngüsünü bir arada ele alan bütüncül çalışmalar gereklidir.	10	4.2881	0.96581	59
14- Tüm proje paydaşlarına, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve araçlarının etkin kullanımı için eğitim içerikleri oluşturularak, anında müdahale edilebilir ve interaktif şekilde eğitim verilebilir.	11	4.2414	0.94238	58
16-Endüstri 4.0 teknolojilerinin inşaat sektörüne etkin adaptasyonu için gerekli kritik başarı faktörleri ve bu teknolojilerin benimsenmesini sınırlayan faktörler, tüm proje yaşam döngüsü boyunca araştırılmalıdır.	12	4.2373	0.93475	59
19-Endüstri 4.0 teknolojilerinin İSG'nin tüm proje yaşam döngüsü boyunca adaptasyonuna yönelik çalışmalar daha sık yapılmalıdır.	12	4.2373	0.93475	59
20-Endüstri 4.0 teknolojileri ile güncel yenilikçi yaklaşımların (yalın, çevik, toplam kalite yönetimi vs.) birbirleriyle entegre olduğu çalışmalar daha sık yapılmalıdır.	13	4.2203	0.98380	59
4-Kaza ve ramak kala raporlarının inşaat sektörünün genelinde etkin tutulamamasının önündeki sebeplere yeterince ilgi gösterilmemektedir.	14	4.2034	0.99619	59
21-Endüstri 4.0 teknolojileri ve güncel yenilikçi yaklaşımların (yalın, çevik, toplam kalite yönetimi vs.) birbirleriyle entegrasyonunun etkin sağlanması İSG problemlerinin çözümüne yönelik katkı sağlayabilir.	15	4.1864	0.99090	59
17-İSG'yi geliştirmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinin her birini ayrı ayrı düşünmek yerine birbirlerine entegre olabilecek teknolojiler bir arada düşünülmelidir.	16	4.1864	1.07438	59
9-Kaza risklerini etkin algılayabilmek için duygusal zeka gibi çeşitli zeka tiplerinin ve psikolojik faktörlerin birey ölçeğinde analiz edilmesi gerekir.	17	4.1552	0.98767	58
7- Her bir kaza tipinin nedenleri ve kök nedenleri analiz edilerek, çözüm sunabilecek Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilgili bilgilere ihtiyaç vardır.	18	4.1356	0.99060	59
2-Endüstri 4.0 teknolojileri ile İSG problemlerine yönelik yapılan çalışmalar, yalnızca belirli bir/birkaç teknolojiye konu için odaklanmış olup, hangi teknolojinin, proje yaşam döngüsünün hangi aşaması için kullanılabileceğine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.	19	4.1333	1.04908	60
1-Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre İSG problemlerine çözüm önerisi olarak düşünülmesi gereken (faaliyetlerin süresini ve sıklığını, iş akışlarını, temel iş türleri, iş süreçlerinin belirlenmesi, işçi sayısını vs. gibi) düzenleyen yönetmeliklerin ya da standartların eksikliğinin bulunduğunu düşünüyorum.	20	4.0167	0.87317	60

Şekil 4.11 : Anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerine yönelik bulgular (EK A, 5)

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere, anket çalışmasının beşinci soru grubu için verilen 21 adet ifadeye katılım derecesinin en yüksek olduğu ifade (m=4.61), İS'de İSG4.0 için

kaza ve ramakkala olaylardan kaçabilmek için, kaza risklerini doğru algılayabilmenin önemine değinmiştir. Bu bağlamda düşünüldüğünde, üçüncü delphi çalışması ile birlikte kişilerin İSG risklerini doğru algılayabilme, riskleri etkin teknolojilerle çözebilmeye yönelik gerekli yeterlilikler ve ilişkili olabilecek zeka türlerinin belirlenerek, anket çalışmasının bulguları ile paralel olarak çalışma yürütülmüştür. İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik yapılan akademik çalışmaların genellikle ölümcül kazalara odaklandığı, ancak İSG problemlerinin hiçbirinin göz ardı edilmemesi gerekliliğini vurgulayan en önemli ikinci ifadenin ise ortalama değerinin 4.56 olduğu Şekil 4.11'den görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, yalnızca yüksekten düşme gibi en riskli ve ölümcül risk kalemlerinin değil, aynı zamanda etkileri sonradan görülebilen meslek hastalıklarına da bu çalışma kapsamında odaklanılmıştır. Ortalama değeri 4.47 olan ve katılımcılar tarafından üçüncü dereceden en önemli bulunan ifade ise, İS'de İSG problemlerini çözebilmek için kaza risklerini önlemeye yönelik belirlenen risk faktörlerinin birbirlerinden bağımsız olarak değil, birlikte ve dinamik etkilerini de ele alması gerekliliği üzerinedir. Bu bağlamda düşünüldüğünde, birinci ve ikinci delphi çalışmalarının bulgularını maliyet, yönetim ve İK perspektifinde birlikte değerlendirilmiştir. İfadelere katılım derecesindeki en düşük ortalama değer 4.0167'dir. 5'li *likert* ölçeği kullanılara elde edildiği için, ortalama değeri en düşük olan katılım derecesinin bile oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama değeri en düşük ifade ise, İS'De İSG problemlerinin çözümüne yönelik geliştirilen faaliyetlerin süresi, sıklığı, iş süreçleri gibi belirli yönetmeliklerdeki eksikliklerin bulunduğunu içermektedir. En düşük ortalama değere sahip bu ifade, diğer ifadelerinin yanında en az derecede önemli olduğu bulgusu ile birlikte, yine de 4.02 ortalama değer ile birlikte önemli olduğu görülmüştür.

Tanımlayıcı istatistiklerin ardından, anket çalışmasının beşinci soru grubu için, çıkarımsal analizler çıkarımsal analizler yapılmıştır. Öncelikle normallik testi yapılmış olup, *Kolmogorov-Smirnov* testinin sonucuna göre *statistic* değeri (.118) ve sigma değeri (.046), *Shapiro-Wilk* testinin sonucu ise *statistic* değeri (.930), *sigma* değerinin (.003) olduğu görülmüştür. *Sigma* değerlerinin 0.05'ten küçük olması, verilerin normal dağılmadığı anlamına geldiğinden çarpıklık ve basıklık testleri yapılmıştır. Çarpıklık değeri (-.886), basıklık değeri ise (.735) olduğu görülmüştür. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1.5 ve -1.5 aralığında olması dolayısı ile verilerin normal dağıldığı

(Tabachnick ve Fidel, 2013), kabul edilerek parametrik testlerden bağımsız örneklem t-test kullanılmıştır.

Şekil 4.12, anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerine yönelik katılımcıların arasında anlamlı fark olup olmadığı ölçülen t-test'in anlamlı çıkan gruplarına yönelik özet tabloyu ifade etmektedir.

Değişkenler (ifadeler)	Gruplar (katılımcı bilgileri: meslek grubu, sektör, eğitim düzeyi, tecrübe yılı)	Katılımcı sayısı (N)	Ortalama değer	Standart sapma	T testi t değeri	Katılımcı sayısı	Sigma
3 numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 51	3.75 4.43	.463 .922	-2.039	57	.046
8 numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 51	4.13 4.69	.641 .583	-2.501	57	.015
9 numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 50	3.13 4.32	.834 .913	-3.472	56	.001
11 numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 51	4.00 4.55	.535 .577	-2.526	57	.014
13numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 51	3.75 4.69	.886 .616	-3.757	57	<.001
16numaralı ifade	Akademi Özel sektör	8 51	3.63 4.33	1.061 .887	-2.047	57	.045
19 numaralı ifade	Akademi Özel sektör	51 8	3.63 4.33	.916 .909	-2.047	57	.045

Şekil 4.12 : Anket çalışmasının beşinci soru grubunun verilerine yönelik yapılan t-test analizinin sonuçları (EK A, 5)

Şekil 4.12, akademisyenler ve sektör profesyonelleri arasında anket çalışmasının beşinci soru grubundaki belirli ifadelerde (3, 8, 9, 11, 13, 16, 19) (verilen 21 adet ifadeye katılım dereceleri) verilen cevaplar arasında anlamlı fark ($p<0.005$) olduğunu ifade etmektedir. Katılımcılar arasında katılımcıların çalıştıkları sektör yönü ile anlamlı fark görülen tüm ifadelerde, sektör profesyonelleri olan İSG uzmanları (m=4.43, m=4.69, m=4.32, m=4.55, m=4.69, m=4.33, m=4.33), akademisyen İSG uzmanlarından (m=3.75, m=4.13, m=3.13, m=4.00, m=3.75, m=3.63, m=3.63) daha yüksek düzeyde ifadelere katılmışlardır.

- Anket çalışmasının yedinci soru grubunun (EK A, 7) (E4T&GYY ve Olgunluk modelleri entegrasyonu) verilerine yönelik bulguları kısaca özetlenmiştir. İlgili soru grubuna verilen yanıtlarda, uzmanlar İS'de tüm PYD boyunca olgunluk modellerinin entegrasyonuna yönelik olumlu görüşlerini ifade ettikleri görülmüştür. Özellikle uzman M8, konu ile ilgili daha detaylı destek verebileceğini ilettiği için, mülakat çalışması için ilgili kişiye özellikle ulaşılmış ve olgunluk modellerine yönelik olarak da görüşleri alınmıştır.
- Anket çalışmasının sekizinci (EK A, 8) soru grubunun verilerine yönelik bulgular özetlenmiştir. OSHA standartlarının E4T'ler ile entegrasyonuna

yönelik olan ilgili çalışma kısmı, bu doktora tez çalışması kapsamında Erusta ve Sertyeşilışık (2022), Uluslararası Proje ve Yapım Yönetimi konferansında tam metin bildiri olarak yayınlanmıştır.

Çizelge 4.3, bu tez çalışması kapsamında yayınlanan bildiride (Erusta ve Sertyeşilışık, 2022)'den alınmştır. Çizelge 4.3, OSHA'nın en sık atıfta bulunan 10 standardına yönelik yapılan anket verilerinin bulgularını içermektedir.

Çizelge 4.3 : OSHA'nın en sık atıfta bulunulan 10 standardının tanımlayıcı istatistikleri (Erusta ve Sertyeşilışık, 2022)

OSHA'nın en sık atıfta bulunulan 10 standardı	Ortalama değer	Standart sapma	Katılımcı sayısı	Sıralama
Düşme Koruması–Eğitim Gereksinimleri *(Fall protection-training requirements)* (29 CFR 1926.503)	4.4310	.75189	58	1
Tehlikeli Enerji Kontrolü (kilitleme/etiketleme), genel endüstri *(Control of hazardous energy(lockout/tagout), general industry)* (29 CFR 1910.147)	4.2105	.86058	57	2
Makine ve Makine Koruması, genel gereksinimler (*Machinery and mahine guarding, general requirements*) (29 CFR 1910.212)	4.1930	.93424	57	3
Solunum Koruması, genel endüstri *(Respiratory protection, general industry)* (29 CFR 1910.134)	4.1930	.93424	57	3
Tehlike İletişim Standardı, genel endüstri *(Hazard communication standard, general industry)* (29 CFR 1910.1200)	4.1724	.88135	58	4
Düşme Koruması, inşaat *(Fall protection, construction)* (29 CFR 1926.501)	4.1552	.98767	58	5
Motorlu Endüstriyel Kamyonlar, genel endüstri *(Powered industrial trucks, general industry)* (29 CFR 1910.178)	4.1552	.98767	58	5
Merdivenler, inşaat *(Ladders, construction)* (29 CFR 1926.1053)	4.1034	.98568	58	6
İskele, genel gereklilikler, inşaat *(Scaffolding, general requirements, construction)* (29 CFR 1926.451)	4.1034	.98568	58	6
Göz ve Yüz Koruması *(Eye and face protection)* (29 CFR 1926.102)	4.000	1.11803	57	7

Çizelge 4.3, anket verilerinin bulgularının, OSHA standartlarının E4T'ler ile entegre olma potansiyeli için en yüksek (m=4,4310) standardının "düşme koruması-eğitim gereksinimleri (*fall protection-training requirements*) (29 CFR 1926.503)" iken, potansiyeli en düşük (m=4,00) standardın ise göz ve yüz koruması (*eye and face protection*) (29 CFR 1926.102)"' olduğunu göstermektedir. En düşük ortalama değerin

(m), 4.0'a karşılık gelmesi, ilgili soru grubunda 5'li likert ölçeği kullanıldığı için anket verilerinin bulguları, tüm standartların E4T'ler ile etkin bir şekilde entegre olabileceğini ortaya koymuştur.

4.2 Delphi Çalışmalarının Bulguları

Doktora tez çalışması kapsamında yapılan tüm DÇ'lerin bulguları, aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Engeller ve KBF'leri belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'ler ise, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır. Çalışmanın yöntem bölümünde, konuya ilişkin izlenen süreçler detaylı olarak anlatılmış olup burada da engeller ve KBF'leri belirlemeye yönelik (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale) olarak yapılan DÇ'ye ait bulgular sağlanmıştır. Ayrıca, bu tez çalışması kapsamında yapılan diğer delphi çalışması ise yeterlilikler ve zeka tiplerini belirlemeye yönelik olarak yapılmış olup, çalışmaya dair bulguların detayları, aşağıda verilmiştir.

4.2.1 Engeller ve KBF'lere yönelik bulgular

İS'de İSG4.0 için, kritik başarı faktörleri ve engellerin belirlenmesine yönelik yapılan DÇ'lere ait bulgular, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi, Erusta ve Sertyeşilışık (yayına kabul edilmiş makale)'den alınarak aşağıda verilmiştir.

> "*İki Delphi grubunun dört turu her turda aynı süreci izlemiştir. Tüm turlar kısaca şu şekilde açıklanabilir:*
>
> *Her iki DÇ grubunun ilk turu, literatürden elde edilen kriterler arasından en önemli kriterin seçilmesine odaklanmıştır. DÇ grubunun ilk turunda, katılımcı İSG uzmanlarından literatür taramasından elde edilen 191 kriter listesinden en önemli gördükleri en az 5 ve en fazla 10 kriteri işaretlemeleri istenmiştir. Benzer şekilde, DÇ grubunun ikinci turunda, katılımcı uzmanlardan aynısını KBF listesinde (literatür taramasından elde edilen 311 kriter) yapmaları istenmiştir. Ayrıca, Delphi çalışmasının her iki grubunun ilk turunun sonunda, katılımcı uzmanlardan daha fazla önerileri olması durumunda 'diğer' seçeneği altında ek kriter/kriterler belirtmeleri istenmiştir. İlk tur sonunda, seçilmeyen kriterler listelerden çıkarılırken, seçilen kriterler ve 'diğer' seçeneği altında belirtilen ek kriterler her iki DÇ grubunun ikinci turu için listelere dahil edilmiştir. Her iki*

DÇ grubunun ikinci turunda, her bir DÇ grubu için uzmanlardan Delphi grubunun ilk turu sonucunda hazırlanan kriter listesini ayrıntılı olarak yeniden düşünmeleri ve en önemli gördükleri en az 5 ve en fazla 10 kriteri seçmeleri istenmiştir. Bu ikincii tur sonucunda, her DÇ grubunda, uzmanların %20'sinden azı tarafından seçilen kriterler, Tatlıcı ve Sertyeşilışık (2023)'ün araştırmasına uygun olarak, üçüncü turun temelini oluşturacak şekilde listeden çıkarılmıştır.

Her iki DÇ grubunun üçüncü turunda, uzmanlardan DÇ grubundaki kalan tüm kriterleri 5'li Likert ölçeğinde puanlamaları istenmiş olup; burada 1 en az önemli gördükleri kriteri, 5 ise en önemli gördükleri kriteri ifade ediyordu. Her iki DÇ grubu için Cronbach alpha değerleri hesaplanmıştır.

Her iki DÇ grubunun dördüncü turunda, her DÇ grubu uzmanına puanlarını ortalama sonuçlar ile karşılaştırmak için DÇ grubunun 3. tur sonuçlarını içeren bir tablo verilmiştir. Verilen tablonun ilk sütununda, tüm uzmanların her bir kritere verdiği cevapların ortalaması verilmiş olup, diğer sütunda katılımcı, delphi grubunun 3. turunda verdiği puanları görebilmektedir. Son sütunda ise her uzmandan, kriterlerin ortalama değerleri ve delphi grubunun 3. turunda verdiği puanları göz önünde bulundurarak kritere yine 1 ile 5 arasında puan vermesi istenmiştir."

DÇ'nin engellerin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ilk turu, 20 uzmanla başlamıştır. Çalışmanın ilk turunun sonucunda uzmanlar tarafından hiç işaretlemeyen kriterler elendiğinde, geriye 84 kriterin kaldığı görülmüştür. Aynı zamanda uzmanlar, birinci turun sonunda"diğer seçeneği altında 5 adet ek kriterler" belirtmişlerdir ve böylelikle toplamda 89 kriterlik bir liste ile 2.tura geçilmiştir. 2.turun sonunda uzmanlar tarafından %20'den daha az olarak işaretlenen kriterler listeden çıkarılarak toplamda 15 kriterlik bir engel listesi ile 3.tura geçilmiştir.

Doktora tez çalışmasının engeller ve KBF'lere yönelik olan bu bölümü (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale), doktora tez çalışması kapsamında araştırma makalesi olarak yayınlanmak üzere kabul almıştır. Şekil 4.13 (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale), engelleri belirlemeye yönelik yapılan delphi anketinin 2., 3. ve 4. turlarının sonuçlarını özetlemektedir. Şekil 4.13, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi, Erusta ve Sertyeşilışık (2025)'ten alınmıştır.

	2.Tur	3.Tur				4.Tur			
	Uzman yüzdesi (% of experts)	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma *(Corresponding Weighting)*	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma *(Corresponding Weighting)*
Yüksek ilk yatırım maliyetleri (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	89	4,53	12.09	1	0,090	4,53	12.09	1	0,086
Endüstri 4.0'e ilişkin düşük anlayış (Luthra ve Mangla, 2018)	61	4,06	10.65	2	0,081	4,24	11.24	2	0,081
Eğitim eksikliği (Karimulla, 2020)	50	4,00	10.62	3	0,080	4,06	10.53	3	0,077
Teknolojilerin benimsenmesinin uzun vadede büyük avantajlar sağlayacağı anlayışının eksikliği (Karimulla, 2020)	61	3,88	10.21	4	0,077	3,88	9.71	4	0,074
Zayıf yönetim desteği (Luthra ve Mangla, 2018)	33	3,35	8.09	6	0,067	3,71	9.06	5	0,071
Endüstri 4.0 konusunda gerekli yetenek, beceri ve bilgi eksikliği (Ling ve diğ.,2020)	33	3,35	7.85	7	0,067	3,71	8.65	6	0,071
Şirketin zayıf dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (Luthra ve Mangla, 2018)	39	3,24	7.65	8	0,065	3,65	8.74	7	0,069
Yüksek benimseme maliyeti (Ling ve diğ.,2020)	44	3,47	8.65	5	0,069	3,53	8.18	8	0,067
Şirketlerin teknolojideki gelişmeleri takip edememesi (Karimulla, 2020)	44	3,24	7.62	9	0,065	3,35	7.56	9	0,064
Maliyet-fayda ilişkisini göstermede zorluk veya konu üzerinde çalışma eksikliği (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	28	3,00	6.74	11	0,060	3,18	6.38	10	0,060
Uzun vadeli zayıf planlama (Karimulla, 2020)	22	3,12	6.85	10	0,062	3,12	6.26	11	0,059
Yeni teknolojilerin karmaşıklığı (Karimulla, 2020)	50	2,94	6.62	12	0,059	3,12	6.18	12	0,059
Endüstri 4.0'ün benimsenmesine yönelik yetersiz araştırma ve geliştirme (Luthra ve Mangla, 2018)	28	2,82	5.94	14	0,056	3,00	5.62	13	0,057
Dijital kültür eksikliği (Luthra ve Mangla, 2018; Eğilmez ve Koca,2018))	28	2,88	6.21	13	0,057	2,82	4.97	14	0,054
Şirketlerin yeni teknolojileri kullanma konusunda isteksizliği (Luthra ve Mangla, 2018)	22	2,35	4.24	15	0,047	2,71	4.85	15	0,052
Uzman sayısı Kendall'ın Uyum Katsayısı (W) Sigma değeri		17 0.263 0.001				17 0.313 0.001			

Şekil 4.13 : Engelleri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. turlarının bulguları (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere, DÇ'de 3. turdan 4.tura geçilirken, uzman sayısının her iki turda da aynı kaldığı görülmektedir. Ayrıca, 3. ve 4. tur için yapılan güvenilrilik analizlerine ait *Cronbach's alpha* değerleri sırası ile .872 ve .871 olup, çalışmanın her iki turunun da güvenli olduğu bulunmuştur. *Kendall* uyum katsayısının ise 0.263'ten, 0.313'e yükseldiği görülmüştür. Bu durum, çalışmada 3. turdan 4.tura geçerken tutarlılığın arttığını, yani katılımcıların 4.turda birbirlerine daha çok benzeyen cevaplar vermeye başladığını göstermektedir. 3. ve 4. turlar, kriterler açısından karşılaştırıldığında ise, ilk dört önemli kritik engel faktörünün aynı kaldığı görülmektedir. Örneğin, "yüksek ilk yatırım maliyetleri (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)" ile ilgili olan kriterin her iki turun bulgularında da en öne çıktığı görülmüştür. Diğer en önemli ikinci kriterin ise "E.4'e ilişkin düşük anlayış (Luthra ve Mangla, 2018)" olduğu Şekil 4.13'ten anlaşılmaktadr. "Eğitim eksikliği (Karimulla, 2020)" ise her iki turda da üçüncü faktör olarak görülmektedir. Her iki turda da sıralaması değişmeyen diğer bir kriter ise "teknolojilerin benimsenmesinin uzun vadede büyük avantajlar sağlayabileceğindeki anlayışın eksikliği (Karimulla, 2020)"dir. 4.turda, beşinci sıradaki en önemli engel faktörünün .071 ağırlıklandırma ve 9.06 sıra ortalama ile "zayıf yönetim desteği (Luthra ve Mangla, 2018)" olduğu, altıncı sıradaki engel faktörünün .071 ağırlıklandırma ve .865 sıra ortalama ile "E4.0 konusunda gerekli yetenek, beceri ve bilgi eksikliği (Ling ve diğ., 2020)", yedinci sırada .069

ağırlıklandırma ile "şirketin zayıf dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (Luthra ve Mangla, 2018)", sekizinci sırada .067 ağırlıklandırma ile "yüksek benimseme maliyeti (Ling ve diğ., 2020), dokuzuncu sırada .064 ağırlıklandırma ile "şirketlerin teknolojideki gelişmeleri takip edememesi (Karimulla, 2020), onuncu sırada .060 ağırlıklandırma ile "maliyet-fayda ilişkisini göstermede zorluk veya konu üzerinde çalışma eksikliği (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)", on birinci sırada .059 ağırlıklandırma ile "uzun vadeli zayıf planlama (Karimulla, 2020)", on ikinci sırada .059 ağırlıklandırma ve 6.18 sıra ortalama ile "yeni teknolojilerin karmaşıklığı (Karimulla, 2020)", on üçüncü sırada .057 ağırlıklandırma ile "E4.0'ın benimsenmesine yönelik yetersiz araştırma ve geliştirme (Luthra ve Mangla, 2018)", on dördüncü sırada .054 ağırlıklandırma ile "dijital kültür eksikliği (Luthra ve Mangla, 2018; Eğilmez ve Koca, 2018)" olup, 4.turda ortalama ağırlığı en düşük faktör olan "şirketlerin yeni teknolojileri kullanma konusundaki isteksizliği (Luthra ve Mangla, 2018) (.052) olduğu görülmüş olup, böylece kalan kriterler arasında en düşük olanın bile engeller konusunda dikkate alınması gerekliği, bulgulardan çıkarılmaktadır (Şekil 4.13).

DÇ'nin KBF'lerin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ilk turu, 12 uzmanla ve 311 kriter ile başlamıştır. İlk tur sonucunda uzmanların hiç işaretlemediği kriterler listeden çıkarıldığında kalan kriter sayısı 67 olmuştur. Uzmanların ilk turun sonunda eklemek istedikleri farklı bir kriter olması ihtimaline yönelik verilen "diğer" seçeneğinde 1 kriter daha ekledikleri görülmüş ve toplamda 68 kriter ile 2.tura geçilmiştir. Ikinci turun sonunda, uzmanların %25'ten az olarak önemli gördükleri kriterler listeden çıkarıldığında, toplamda 13 kriterlik bir liste ile 3.tura geçilmiştir. Şekil 4.14 (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale), KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan delphi anketinin 2., 3. ve 4. turlarının sonuçlarını özetlemektedir. Şekil 4.14, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi, Erusta ve Sertyeşilışık (yayına kabul edilmiş makale)'den alınmıştır.

	2.Tur	3.Tur				4.Tur			
	Uzman yüzdesi (% of experts)	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma *(Corresponding Weighting)*	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma *(Corresponding Weighting)*
Üst yönetim desteği (Moeuf ve diğ., 2020; Suferi ve Rahman, 2021; Hakim ve diğ., 2021)	92	4,92	11.25	1	0,100	5,0	11,45	1	0,097
Kullanıcı eğitimi ve öğretimi (Moeuf ve diğ., 2020)	83	4,25	8.83	2	0,086	4,45	9,09	2	0,086
Proje ekibinin yeterliliği (Moeuf ve diğ., 2020)	58	4,17	8.58	3	0,085	4,27	7,95	3	0,082
Finansal imkanlar (Moeuf ve diğ., 2020; Lin ve diğ.,2020; Bhatia ve Kumar, 2020; Dikhanbayeva ve diğ.,2021; Sukathong ve diğ.,2021)	50	3,92	7.54	4	0,080	4,18	7,82	4	0,081
Organizasyon kültürü (Moeuf ve diğ., 2020)	50	3,67	6.63	7	0,075	4,09	7,59	5	0,079
Net hedef ve amaçlar (Moeuf ve diğ., 2020)	67	3,83	6.75	5	0,078	4,09	7,36	6	0,079
Sürekli ilerleme (Moeuf ve diğ., 2020; Pozzi et al., 2023)	50	3,67	6.46	8	0,075	4,00	6,86	7	0,077
Çalışan eğitimi (Nnaji ve Awolusi, 2021)	50	3,75	7.04	6	0,076	4,00	6,86	7	0,077
Değişiklik yönetimi (Moeuf ve diğ., 2020; Yadav et al., 2021; Suferi ve Rahman, 2021; Sony ve diğ., 2021)	42	3,67	6.38	9	0,075	3,91	6,59	8	0,075
Maliyet-fayda analizi (Oesterreich ve Teuteberg, 2018; Nnaji ve Awolusi, 2021)	50	3,58	6.46	10	0,073	3,64	5,59	9	0,070
Bilgi teknolojileri ve inovasyon (Moeuf ve diğ., 2020)	25	3,33	5.17	12	0,068	3,55	5,50	10	0,069
Verimlilik (Nnaji ve Awolusi, 2021)	25	3,33	5.50	11	0,068	3,45	4,73	11	0,067
Kültürel (Dikhanbayeva ve diğ.,2021)	25	3,08	4.42	13	0,063	3,18	3,59	12	0,061
Uzman sayısı Kendall'ın Uyum Katsayısı (W) Sigma değeri		12 0.264 0.001				11 0.363 0.001			

Şekil 4.14 : KBF'leri belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. turlarının verilerine yönelik bulguları (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere, DÇ'de 3. turdan 4.tura geçilirken, uzman sayısının 12'den 11'e düştüğü görülmüştür. Güvenilirlik analizine yönelik *Cronbach's alpha* değerleri ise .892 ve .889 olup her iki tur da güvenlidir. *Kendall* uyum katsayısının ise 0.264'ten, 0.363'e yükseldiği görülmüştür. Bu durum, çalışmada 3. turdan 4.tura geçerken tutarlılığın arttığını, yani katılımcıların 4.turda birbirlerine daha çok benzeyen cevaplar vermeye başladığını göstermektedir. 3. ve 4. turlar, kriterler açısından karşılaştırıldığında ise, ilk dört önemli KBF'nin aynı kaldığı görülmektedir. Sırasıyla ilk dört en önemli KBF'lerin, üst yönetim desteği, kullanıcı eğitimi ve öğretimi, proje ekibinin yeterliliği ve finansal imkanlar olduğu ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, "üst yönetim desteği (Moeuf ve diğ., 2020; Suferi ve Rahman, 2021; Hakim ve diğ., 2021)" ile ilgili olan KBF'nin her iki turunun bulgularında da en öne çıktığı görülmüştür. Diğer en önemli ikinci KBF'nin ise "kullanıcı eğitimi ve öğretimi (Moeuf ve diğ., 2020)" olduğu Şekil 4.14'ten anlaşılmaktadr. "Proje ekibinin yeterliliği (Moeuf ve diğ., 2020)" ise her iki turda da üçüncü KBF olarak görülmektedir. Her iki turda da sıralaması değişmeyen diğer bir kriter ise "finansal imkanlar (Moeuf ve diğ., 2020; Lin ve diğ., 2020; Bhatia ve Kumar, 2020; Dikhanbayeva ve diğ., 2021; Sukathong ve diğ., 2021)"dir. 4.turda beşinci sıradaki KBF faktörü, .079 ağırlıklandırma ve 7.59 sıra ortalama ile "organizasyon kültürü (Moeuf ve diğ., 2020), altıncı sırada .079 ağırlıklandırma ve 7.36 sıra ortalama ile "net hedef ve amaçlar (Moeuf ve diğ., 2020)", yedinci sırada .077 ağırlıklandırma ve 6.86 sıra ortalama ile "sürekli iyileştirme (Moeuf ve diğ., 2020; Pozzi ve diğ., 2023)" ve

“çalışan eğitimi (Nnaji ve Awolusi, 2021)”, sekizinci sırada .075 ağırlıklandırma ile “değişiklik yönetimi (Moeuf ve diğ., 2020; Yadav ve diğ., 2021; Suferi ve Rahman, 2021; Sony ve diğ., 2021)”, dokuzuncu sırada .070 ağırlıklandırma ile “maliyet-fayda analizi (Oesterreich ve Teuteberg, 2018; Nnaji ve Awolusi, 2021)”, onuncu sırada .069 ağırlıklandırma ile “bilgi teknolojileri ve inovasyon (Moeuf ve diğ., 2020)”, on birinci sırada .067 ağırlıklandırma ile “verimlilik (Nnaji ve Awolusi, 2021)” bulunmaktadır (Şekil 4.14). 4.turda ortalama ağırlığı en düşük KBF olan “kültürel (Dikhanbayeva ve diğ., 2021)” olup ortalama ağırlığının (.061) olduğu görülmüş olup, böylece en son turda kalan KBF’ler arasında en düşük olanın bile konu özelinde odaklanılması gerekliği, bulgulardan çıkarılmaktadır (Şekil 4.13).

Şekil 4.15, engeller ve KBF’lerin belirlenmesine yönelik yapılan DÇ’lerin bulgularını özetlemektedir (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale). Şekil 4.15, dört turun sonucunda belirlenen 15 engel faktörü ve 13 KBF’yi ortaya çıkarmıştır. Her bir engel ve KBF’nin ağırlıklandırmalarını ve ilişkili oldukları faktörü (maliyet, İK ve yönetim) özetlenmiştir. Engeller ve KBF’lerin belirtilen üç başlık ile ve birbirleri ile olan ilişkisi Şekil 4.15’te görülmektedir.

Şekil 4.15, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi, Erusta ve Sertyeşilışık (yayına kabul edilmiş makale)’den alınmıştır.

ENGELLER

Sıralama	Engeller	Ağırlıklandırma	İlgili faktör
1	Yüksek ilk yatırım maliyetleri (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	(.086)	maliyet
2	Endüstri 4.0'e ilişkin düşük anlayış (Luthra ve Mangla, 2018)	(.081)	insan kaynakları
3	Eğitim eksikliği (Karimulla, 2020)	(.077)	insan kaynakları
4	Teknolojilerin benimsenmesinin uzun vadede büyük avantajlar i sağlayabileceğ anlayışının eksikliği (Karimulla, 2020)	(.074)	insan kaynakları
5	Endüstri 4.0 konusunda gerekli yetenek, beceri ve bilgi eksikliği (Ling ve diğ., 2020)	(.071)	insan kaynakları
6	Zayıf yönetim desteği (Luthra ve Mangla, 2018)	(.071)	yönetim
7	Şirketin zayıf dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (Luthra ve Mangla, 2018)	(.069)	yönetim
8	Yüksek benimseme maliyeti (Ling ve diğ., 2020)	(.067)	maliyet
9	IŞirketlerin teknolojideki gelişmeleri takip edememesi (Karimulla, 2020)	(.064)	yönetim
10	Maliyet-fayda ilişkisini göstermede zorluk veya konu üzerinde çalışma eksikliği (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	(.060)	maliyet
11	Yeni teknolojilerin karmaşıklığı (Karimulla, 2020)	(.059)	insan kaynakları
12	Uzun vadeli zayıf planlama (Karimulla, 2020)	(.059)	yönetim
13	Endüstri 4.0'ın benimsenmesine yönelik yetersiz araştırma ve geliştirme (Luthra ve Mangla, 2018)	(.057)	yönetim
14	Dijital kültür eksikliği (Luthra ve Mangla, 2018; Eğilmez ve Koca, 2018)	(.054)	yönetim
15	Şirketlerin yeni teknolojileri kullanma konusundaki isteksizliği (Luthra ve Mangla, 2018)	(.052)	yönetim

KRİTİK BAŞARI FAKTÖRLERİ

Sıralama	Critical Succes Factors	Ağırlıklandırma	İlgili faktör
1	Üst yönetim desteği (Moeuf ve diğ., 2020; Suferi ve Rahman, 2021; Hakim ve diğ., 2021)	(.097)	yönetim
2	Kullanıcı eğitimi ve öğretimi (Moeuf ve diğ., 2020)	(.086)	insan kaynakları
3	Proje ekibinin yeterliliği (Moeuf ve diğ., 2020)	(.082)	insan kaynakları
4	Finansal imkanlar (Moeuf ve diğ., 2020; Ling ve diğ., 2020; Bhatia ve Kumar, 2020; Dikhanbayeva ve diğ., 2021; Sukathong ve diğ., 2021)	(.081)	maliyet
5	Organizasyon kültürü (Moeuf ve diğ., 2020)	(.079)	yönetim
6	Net hedef ve amaçlar (Moeuf ve diğ., 2020)	(.079)	yönetim
7	Sürekli ilerleme (Moeuf ve diğ., 2020; Pozzi ve diğ., 2023)	(.077)	yönetim
8	Çalışan eğitimi (Nnaji ve Awolusi, 2021)	(.077)	insan kaynakları
9	Değişiklik yönetimi (Moeuf ve diğ.,2020; Yadav ve diğ., 2021; Suferi ve Rahman; Sony ve diğ, 2021)	(.075)	yönetim
10	Maliyet-fayda analizi (Oesterreich ve Teuteberg, 2018; Nnaji ve Awolusi,2021)	(.070)	maliyet
11	Bilgi teknolojileri ve inovasyon (Moeuf ve diğ., 2020)	(.069)	yönetim
12	Verimlilik (Nnaji ve Awolusi, 2021)	(.067)	yönetim
13	Kültürel (Dikhanbayeva ve diğ., 2021)	(.061)	yönetim

Şekil 4.15 : Engellere ve KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'lerin bulgularının özeti (Erusta ve Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makale)

Şekil 4.15'te verildiği üzere, örneğin 15 adet engel kriterlerinin her birinin ilişkili olduğu faktör grupları (maliyet, İK, yönetim) belirlenmiştir. 1, 8 ve 10 numaralı engel kriterlerinin maliyet ile, 2, 3, 4, 5, 11 numaralı engel kriterlerinin İK ile, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15 numaralı engel kriterlerinin yönetim ile daha çok ilişkili oldukları belirlenmiştir. İlgili engel kriterlerinin gruplandırılmasına benzer şekilde, belirlenen 13 adet KBF'ler ile ilgili olan kriterlerin de her birinin ilişkili oldukları faktör grupları (maliyet, İK, yönetim) belirlenmiştir (Şekil 4.15). 4 ve 10 numaralı, KBF'lerin faktör gruplarından maliyet ile ile, 2, 3, 8 numaralı KBF'lerin faktör gruplarından İK ile, 1, 5, 6, 7, 9, 11, 12 ve 13'ün ise yönetim ile ilişkili olduğu görülmüştür. Şekil 4.15'e göre, engeller ve KBF'lerin bulguları, her iki delphi grubunun da birlikte ele alınmasını desteklemektedir.

4.2.2 Yeterliliklere yönelik bulgular

İSG4.0'ın İS'ye adaptasyonu için profesyonellerde bulunması gereken yeterlilikleri dört turdan oluşan DÇ ile belirlemeyi amaçlayan bu çalışma, aynı zamanda literatür ile ilişkili olarak zeka tiplerini de aynı çalışma altında belirlemeyi amaçlamaktadır.

DÇ'nin ilk turunun yeterlilikleri belirlemeye yönelik olarak yapılan ilk kısmına, 12 uzman katılmış olup, birinci turun sonunda hiç seçilmeyen kriterler listeden çıkartıldığında kalan kriter sayısı 59'dur. Uzmanlar, birinci turun sonunda bulunan "diğer" seçeneğinde 3 adet daha kriter önerisinde bulunmuşlardır ve 2.tura toplamda 62 kriterlik bir liste ile çalışmaya devam edilmiştir. Tüm kriterler,ikinci turun sonunda bir araya getirilmiş ve %25'ten az olacak şekilde seçilen kriterler (sıklığı 3'e denk gelmektedir), Tatlıcı ve Sertyeşilışık (2023)'ün çalışmasına benzer şekilde listeden çıkarılmş ve kalan 11 kriter için 3.tura devam edilmiştir. Delphi çalışmasının yeterliliklerin belirlenmesine yönelik yapılan ilk kısmının 2., 3., ve 4. tur sonuçları Şekil 4.16'da özetlenmiştir.

	İkinci tur	**Üçüncü tur**				**Dördüncü tur**			
Yeterlilikler ile ilgili kriterler	Uzman yüzdesi *(%of experts)*	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma (*Corresponding Weighting*)	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank*	Sıra *(Rank*	İlgili ağırlıklandırma (*Corresponding Weighting)*
Liderlik becerileri (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011)	82	4,27	7.77	1	0,104	4,64	8.73	1	0,109
Teknik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)	82	4,18	7.36	2	0,102	4,45	7.86	2	0,104
Risk yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	64	4,27	7.77	1	0,104	4,36	7.73	3	0,102
Problem çözümü (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Ribeiro ve diğ., 2021)	64	3,73	6.18	5	0,091	4,27	7.23	4	0,100
İSG yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	55	3,91	6.55	3	0,096	4,09	6.64	5	0,096
Analitik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016)	55	3,82	6.50	4	0,093	3,82	6.00	6	0,089
Yaratıcılık (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011)	36	3,36	4.77	8	0,082	3,64	4.95	7	0,085
Bir takım içinde çalışabilmek (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)	27	3,55	5.18	7	0,087	3,64	4.86	8	0,085
Maliyet yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	36	3,64	5.36	6	0,089	3,64	4.86	8	0,085
İnovasyon tabanlı yaratıcılık (Verma ve Venkatesan, 2022)	36	3,09	4.14	10	0,076	3,27	4.14	9	0,077
Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020)	27	3,09	4.41	9	0,076	2,91	3.00	10	0,068
Uzman sayısı Kendall'ın uyum katsayısı (W) Sigma değeri		11 0.228 .005				11 0.418 <0.001			

Şekil 4.16 : Yeterlilikleri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin 2., 3. ve 4. tur verilerine yönelik bulguları (1.kısım)

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere, DÇ'de 3. turdan 4.tura geçilirken, uzman sayısının 11 olduğu ve sabit kaldığı görülmüştür. Güvenilirlik analizine yönelik *Cronbach's alpha* değerleri ise .881 ve .883 olup her iki turun da güvenli olduğu görülmüştür. Ayrıca, *Kendall* uyum katsayısının ise 0.228'den, 0.418'e yükseldiği görülmüştür. Bu durum,

çalışmada 3. turdan 4.tura geçerken tutarlılığın arttığını ifade etmektedir. 3. ve 4. turlar, yeterlilikler ile ilgili kriterler açısından karşılaştırıldığında ise, ilk iki önemli yeterlilik aynı kaldığı görülmektedir. Örneğin, "liderlik becerileri (Hernandez-de-Mernandez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011)" ile ilgili olan yeterlilik kriterinin her iki turun bulgularında da en öne çıktığı görülmüştür. Diğer en önemli ikinci yeterlilik kriterinin ise "teknik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesani 2022)" olduğu Şekil 4.16'dan anlaşılmaktadır. 4.turda, üçüncü en önemli yeterlilik kriterinin .102 ağırlıklandırma ile "risk yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021), dördüncü sıradaki yeterlilik kriterinin .100 ağırlıklandırma ile "problem çözümü (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Ribeiro ve diğ., 2021), beşinci sıradaki yeterlilik kriterinin .096 ağırlıklandırma ile "İSG yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2020), altıncı sıradaki yeterlilik kriterinin .089 ağırlıklandırma ile "analitik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016), yedinci sıradaki yeterlilik kriterinin .085 ağırlıklandırma ve 4.95 sıra ortalama ile "yaratıcılık (Hernandez-de-Menandez ve diğ., 2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011)", sekizinci sıradaki yeterlilik kriterinin .085 ağırlıklandırma ve 4.86 sıra ortalama ile "bir takım içinde çalışabilmek (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022) ve "maliyet yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021), dokuzuncu sıradaki yeterlilik kriterinin ise .077 ağırlıklandırma ile "inovasyon tabanlı yaratıcılık (Verma ve Venkatesan, 2022) olduğu görülmüştür (Şekil 4.16). 4.turda ortalama ağırlığı en düşük yeterlilik kriteri olan "bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak (Hernandez-de-Mernandez ve diğ., 2020)" olup ortalama ağırlığının (.068) olduğu görülmüş olup, böylece en son turda kalan yeterlilik kriterleri arasında en düşük olanın bile konu özelinde odaklanılmasının önemi, bulgulardan çıkarılmaktadır (Şekil 4.16).

Delphi çalışmasının zeka tiplerinin belirlenmesine yönelik yapılan ikinci kısmının 2., 3., ve 4. tur sonuçları, Şekil 4.17'de özetlenmiştir.

Birinci tur	İkinci tur	Zeka tipleri	Üçüncü tur				Dördüncü tur			
Uzmanların birinci turda verdiği cevapların ortalaması	Uzmanların ikinci turda verdiği cevapların ortalaması	(Howard Gardner'ın Çoklu zeka teorisi temelinde)	Ort.oran *(Mean Rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma *(Corresponding Weighting)*	Ort.oran *(Mean rating)*	Sıra ort. *(Mean Rank)*	Sıra *(Rank)*	İlgili ağırlıklandırma (*Corresponding Weighting)*
4.54	4.50	Matematiksel zeka (Gardner,1983)	4,60	9.05	1	0,115	4,60	8.75	1	0,111
4.25	4.30	Sözel-dilsel zeka (Gardner, 1983)	4,20	7.55	2	0,105	4,30	7.60	2	0,104
4.17	4.10	Uzamsal-görsel zeka(Gardner, 1983)	3,70	6.45	5	0,093	4,20	7.55	3	0,101
Katılımcılar tarafından önerilen	4.00	İletişim ve açıkgörüşlülük zekası (katılımcılar tarafından önerilen)	3,80	6.70	4	0,095	4,00	6.95	4	0,097
4.08	4.10	Kişilerarası zeka (Gardner, 1983)	3,90	6.85	3	0,098	3,90	6.30	5	0,094
3.82	3.70	Okuma zekası (Duygulu, 2011)	3,70	6.20	6	0,093	3,80	5.70	6	0,092
3.80	3.80	İçsel zeka (Gardner, 1983)	3,60	5.90	7	0,090	3,70	5.70	7	0,090
3.33	3.70	Doğa zekası (Gardner, 1983)	3,60	5.85	8	0,090	3,60	5.40	8	0,087
Katılımcılar tarafından önerilen	3.00	Empati zekası (katılımcılar tarafından önerilen)	3,30	4.95	9	0,083	3,40	4.70	9	0,082
3.33	3.30	Bedensel-kinestetik zeka (Gardner, 1983)	3,00	3.90	10	0,075	3,00	4.05	10	0,073
3.08	3.00	Varoluşsal zeka (Gardner, 1999)	2,60	2.60	11	0,065	2,80	3.30	11	0,068
2.08	elendi	Müzik zekası (Gardner, 1983)								
		Uzman sayısı **Kendall'ın uyum katsayısı (W)** Sigma değeri	10 0.353 <.001				10 0.337 <0.001			

Şekil 4.17 : Zeka tiplerini belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin 1.,2., 3. ve 4. tur verilerine yönelik bulguları (2.kısım)

Şekil 4.17'de görüldüğü üzere, birinci turda uzmanlar, iki adet zeka tipi daha olması gerektiğini ifade etmişlerdir. İlk turun sonunda uzmanların önerdiği, iletişim&açık görüşlülük zekası ve empati zekası, ikinci turda puanlamaya katılmak üzere listeye eklenmiştir. İkinci turun sonunda, uzmanlar tarafından verilen puanlara göre müzik zekasının ortalaması 3.00'ın altında kaldığı için müzik zekası elenmiştir. 3.turda ise uzman sayısı 10 ile başlayıp, 3. turdan 4.tura geçerken uzman sayısında değişiklik olmamıştır (Şekil 4.17). Güvenilirlik analizine yönelik elde edilen *Cronbach's alpha* değerlerinin 3. turdan 4.tura geçerken sırasıyla .836'dan .720'ye düştüğü görülmüştür. Her iki durumda da turlar güvenlidir. *Kendall*'ın uyum katsayısı ise .353'ten .337'ye düşmüştür. Bu durum, katılımcıların 3.turdan 4.tura geçerken, verdikleri cevaplarda tutarlılığın azaldığı anlamına gelmektedir. Bu durumda, ilgili DÇ'nin 3.turda da bitirilebileceği sonucu çıkarılmıştır. Yine de bu durum, her iki turda da ilk iki en önemli zeka tipine yönelik sonucu değiştirmemiştir. Örneğin, "matematiksel zeka (Gardner, 1983)"nın her iki turda da en önemli zeka tipi olduğu önemli bulgular arasındadır. "Sözel-dilsel zeka (Gardner, 1983)" ise her iki turda da en önemli ikinci sıradadır. Dördüncü turda, üçüncü sıradaki zeka tipi .101 ağırlıklandırma ile "uzamsal-görsel zeka (Gardner, 1983)", dördüncü sıradaki zeka tipi .097 ağırlıklandırma ile "iletişim ve açıkgörüşlülük zekası (katılımcılar tarafından önerilen)", beşinci sıradaki zeka tipi .094 ağırlıklandırma ile "kişilerarası zeka (Gardner, 1983)", altıncı sıradaki zeka tipi .092 ağırlıklandırma ile "okuma zekası (Duygulu, 2011)", yedinci sıradaki zeka tipi .090 ağırlıklandırma ile "içsel zeka (Gardner, 1983)", sekizinci sıradaki zeka tipi .087 ağırlıklandırma ile "doğa zekası (Gardner, 1983)", dokuzuncu sıradaki zeka tipi .082 ağırlıklandırma ile "empati zekası (katılımcılar tarafından önerilen)", onuncu

sıradaki .073 ağırlıklandırma ile "bedensel-kinestetik zeka (Gardner, 19833)'dır. "Varoluşsal zeka (Gardner, 1999)"ın ise her iki turda da en son sırada önemli olduğu görülmektedir. İlgili zeka tipinin ortalama ağırlıklandırmasının 3. tur için .065 iken, 4. tur için .068 olduğu görülmektedir. Bu durum, varoluşsal zeka tipinin de İSG4.0'ın İS'ye adaptasyonu için profesyonellerde bulunması gereken zeka tiplerinden olduğu bulgusunu ortaya çıkarmaktadır.

İSG4.0'ın İS'ye adaptasyonu için profesyonellerde bulunması gereken yeterliliklerin belirlenmesi amacına yönelik yapılan DÇ'nin, literatürdeki ilgili zeka tipleri ile de ilişkisinin bulunduğu bilindiğinden birlikte ele alınmıştır. Şekil 4.18, yeterliliklere yönelik (zeka tipleri dahil) yapılan DÇ'nin bulgularını özetlemektedir.

Sıra	Yeterlilik/beceri kriterleri	Referanslar	Ağırlıklandırmalar
1	Liderlik becerileri	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ.,2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011	.109
2	Teknik beceriler	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ.,2016; Verma ve Venkatesan, 2022	.104
3	Risk yönetimi	Ribeiro ve diğ., 2021	.102
4	Problem çözümü	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Ribeiro ve diğ., 2021	.100
5	İSG yönetimi	Ribeiro ve diğ., 2021	.096
6	Analitik beceriler	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ.,2016	.089
7	Bir takım içinde çalışabilmek	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ.,2016; Verma ve Venkatesan, 2022	.085
8	Maliyet yönetimi	Ribeiro ve diğ., 2021	.085
8	Yaratıcılık	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011	.085
9	İnovasyon tabanlı yaratıcılık	Verma ve Venkatesan, 2022	.077
10	Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak	Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020	.068

Sıra	Zeka tipleri	Referanslar	Ağırlıklandırmalar
1	Matematiksel zeka	Howard Gardner (1983)	.115
2	Sözel-dilsel zeka	Howard Gardner (1983)	.105
3	Kişilerarası zeka	Howard Gardner (1983)	.098
4	İletişim ve açıkgörüşlülük zekası	Katılımcılar tarafından önerilen	.095
5	Uzamsal-görsel zeka	Howard Gardner (1983)	.093
6	Okuma zekası	Duygulu (2011)	.093
7	İçsel zeka	Howard Gardner (1983)	.090
8	Doğa zekası	Howard Gardner (1983)	.090
9	Empati zekası	Katılımcılar tarafından önerilen	.083
10	Bedensel-kinestetik zeka	Howard Gardner (1983)	.075
11	Varoluşsal zeka	Howard Gardner (1999)	.065

Şekil 4.18 : Üçüncü DÇ'nin bulgularının özeti

Şekil 4.18, üçüncü DÇ'nin bulgularını özetlemektedir. Şekil 4.18'de görüldüğü üzere, zeka tiplerinden ise müzik zekası en önemli zeka tipleri arasında görülmemiş olup, elenmiştir. Katılımcılar tarafından önemli olduğu düşünülen iki yeni zeka tipi ile birlikte İS'de İSG4.0 için gerekli zeka tiplerini içeren yeni bir kritik liste ortaya çıkarılmıştır.

4.3 Mülakat Çalışmasının Bulguları

Aşağıda mülakat verilerine yönelik bulgular, çeşitli alt başlıklar altında verilmiştir. Uzmanların tümü, literatür, anket ve delphi çalışmalarının bulgularını doğrulamıştır. Her bir çalışmaya yönelik uzmanların belirttiği ek görüşler verilmiştir.

- Anket çalışmasına yönelik:

Uzmanlar anket verilerinin tüm bulgularını doğrulamıştır. Aşağıda bazı uzmanların odaklandığı belirli noktalar üzerinde ek bilgiler sağlanmıştır.

Uzman M1, M4, M5, M7, M8, M9 iş ile ilgili stres, depresyon ve anksiyete riskine yönelik olarak sözleşme-ihale aşamasında İSG ile ilgili olarak her noktanın net bir şekilde açıklanması gerekliliğini vurgulamışlardır. İSG4.0'ın İS'de uygulanması için, tedarik zincirinin ve tüm proje paydaşlarının önemine dikkat çekmişlerdir. O nedenle uzmanlar, sözleşme-ihale aşamasında İSG4.0 ile ilgili kriterlerin tanımlanmasının, ilgili müteahhitlerin ya da diğer proje paydaşlarının belirlenen İSG 4.0 kriterlerine göre belirlenebilmesinin önemine dikkat çekmişlerdir. Sözleşme-ihale aşamasında, proje paydaşlarının İSG4.0'a uygun kişilerden, firmalardan seçilebilmesinin sürecin etkin yürütülebilmesi için önemli olacağını ifade etmişlerdir.

Uzmanların tümü çalışma kapsamında incelenen 33 adet İSG riskinin (Çizelge 2.1), bir arada değerlendirilmesinin zor olabileceğine yönelik görüş belirtmişlerdir. Öneri olarak ilgili risklerin; hastalıklar ile ilgili olan riskler (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı riskler) (HSE, 2020) (Çizelge 2.1 & Çizelge 5.1), yönetimsel riskler (12, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29) (HSE, 2020) (Çizelge 2.1 & Çizelge 5.1), hareketlerden kaynaklanan riskler (9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22 (HSE, 2020), 30, 31, 32 (OSHA, 2005) (Çizelge 2.1 & Çizelge 5.1), çalışma koşullarından kaynaklanan riskler; 19, 20, 23 (HSE, 2020) (Çizelge 2.1 & Çizelge 5.1), 33 numaralı risk (OSHA, 2005) (Çizelge 2.1 & Çizelge 5.1), olmak üzere, dört temel başlık altında (Çizelge 5.1 & Çizelge 5.9) değerlendirilebileceğini vurgulamışlardır.

Uzman M1, M3, M7 mesleki hastalıklar ile ilgili olan risklerden, Koah hastalığının İS'de sık rastlandığına dikkat çekmişlerdir. Sigara kullanımı ile bağlantılı olabileceği düşünüldüğünde, İS çalışanlarının sigara kullanımını stres azaltıcı bir faktör olarak görebildiğini vurgulamışlardır. Uzman M1, M2, M3, M4, M7, M8, M9, İS'de özellikle yıkım aşmasında çalışanların zehirli gazlara ve kimyasal maddelere doğrudan temasları olduğu için meslek hastalıklarına yakalandıklarının altını çizmişlerdir. Olay anında ortaya çıkmayıp, ilgili hastalıkların görülmesi seneler alabildiği için ilgili kişilerin özellikle belirtilen bu noktalarda da önlem alması gerekliliğini vurgulamışlardır. Uzman M1, M3, M7, M9, İS'de özellikle yapım aşamasında, yüksek sese sürekli olarak maruz kalındığından dolayı geçiçici ya da kalıcı işitme kayıpları ile ilgili de önlem alınması gerekliliğini vurgulamışlardır. Uzman M1, M3, M7, M9 kontakt dermatit gibi hastalıkların, yine çeşitli kimyasallara ya da malzemelere dokunmak ile ortaya çıkabildiğinden, özellikle sürdürülebilir ve insan sağlığına uygun malzemelerin seçimi ile ilgili gereklilikleri vurgulamışlardır. Genellikle malzeme seçimlerinin tasarım aşamasında yapıldığına dikkat çekmişlerdir. Ayrıca tasarım aşamasındaki çalışanların bilgisayar başında uzun saatler geçirdiklerini vurgulamışlardır. Çalışanların çizim yaparken, bilgisayar, fare ve klavye kullanımına bağlı olarak, tekrarlayan hareketlere maruz kalmaları sonucu, çeşitli fiziksel hastalıklara sahip olabileceklerinin altını çizmişlerdir. Tüm bunlara ek olarak, el-kol titreşimi gibi uzun vadede meydana gelebilecek İSG riskleri ile ilgili önlem alınmasının gerekliliğine de dikkat çekmişlerdir.

Uzmanlar genellikle ilgili riskin oluşum sıklığının olduğu fazlar ile kök nedenlerinde yapılan eksikliklerden kaynaklanan fazlar arasında bir korelasyon olduğunu, o nedenle hem oluşum sıklığının hem de kök nedenlerin birlikte düşünülmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. İlgili risklerin sadece hangi aşamalarda en çok görüldüğü bilgisinin riskleri azaltmak ve önlemek için yeterli olmayabileceği, risklere neden olan kök nedenlerinin bütüncül bir şekilde ele alınmasının gerekli ve önemli olabileceğini ifade etmişlerdir. Risklerin varlığını ve hangi aşamalarda olduğunu bildikten sonra, onları ortadan kaldırmak için kök nedenleri anlamaya çalışmak ve neden olabilecek sebepler ile ilgili olarak bağ kurmanın önemine dikkat çekmişlerdir. O nedenle gelecek çalışmaların riskler özelinde varlığı ve kök nedenleri üzerinde daha spesifik çalışmaların yapılabilmesinin önemli olabileceğini vurgulamışlardır (uzman M1, M2, M3, M10).

Uzman M3, M5, M6, M7, M10 çalışma kapsamında diğer tabanlı İSG uzmanlarının teknik bilgi odaklı olmaktan ziyade, İSG odaklı olmalarından kaynaklı olarak, İSG risk ve problemlerini görmeye daha yatkın olabilme potansiyellerinin olabileceğini ifade etmişlerdir. Örneğin, ilgili uzmanlar, inşaat mühendisi olan İSG uzmanının, aynı zamanda işin teknik bilgisini de bildiği için, farkında olmasa da tek odak noktasının İSG olmayıp, aynı zamanda işin yapılış biçimi de olabileceğini ifade etmişlerdir. Uzman M7 ve M8, ayrıca lisansüstü eğitime sahip uzmanların, gelecekte olabilecek riskleri öngörmeye daha çok yatkın olduklarını, ancak sektör profesyonellerinin meslek hastalıklarından ziyade sahada anında meydana gelen kazalara daha çok odaklanma eğiliminde olabileceklerini belirtmişlerdir. Ayrıca uzmanlar, meslekteki tecrübe yılları arttıkça İSG4.0 adaptasyonunu için daha olumlu bakılabildiğini ifade etmişlerdir. Buna karşılık, tecrübe yılı az olan çalışanların genellikle yaşları daha küçük olduğundan, teknoloji ile daha erken yaşta tanışma fırsatı bulduklarından ve İSG4.0 adaptasyonu için öneri geliştirebilme potansiyellerinin özellikle bazı alanlarda daha yüksek olabileceğini de vurgulamışlardır.

Uzman M3, İSG risklerinin tümünün PYD'nin her aşamasında bütüncül olarak ele alınması gerekliliğini, kaza ve ramakkalaların E4T'ler ile analiz edilmesi ve değerlendirilmesi, gerekliliğini vurgulamıştır.

Uzmanlar TKY'nin genel olarak öne çıkma sebebi olarak, İS'de yalın ve çevik gibi diğer yaklaşımlara kıyasla daha fazla bilinir olduğunu göstermiştir. O nedenle diğer GYY'lere yönelik akademik çalışmaların, sahadaki uzantılarını da görmek istediklerini ifade etmişlerdir.

- Delphi çalışmalarına yönelik (KBF ve engeller):

Bu tez çalışması kapsamında araştırma makalesi olarak yapılan Erusta ve Sertyeşilışık (yayınlanmak üzere kabul edilen makale)'den alınarak özetlenmiştir.

Engellerin ve KBF'lerin belirlenmesi amacına yönelik yapılan mülakat çalışmasında tüm uzmanlar, DÇ'lerin her ikisinin de dördüncü turlarının bulgularını ve tüm bulguların maliyet, İK ve yönetim ile ilişkilerini doğrulamıştır.

Uzman M1, işverenlere İSG4.0'ın geleceğe yönelik faydalarının önemi etkin bir şekilde açıklandığında, tüm maliyetlerine rağmen işverenlerin ikna olabileceğini vurgulamıştır. Uzman M10 ise işverenlerin yüksek maliyetler ile ilgili olan endişelerinin genellikle gelecekte sağlayacağı faydalar üzerindeki belirsizlikten

kaynaklandığını ifade etmiştir. Uzman M8, ise işverenlerin teknoloji yatırım kararlarını, teknoloji sahiplerinin fiyat politikalarının da etkili olduğunu vurgulamıştır.

Uzman M2, İS'de İSG4.0'a karşı en kritik engelin farkındalık eksikliği olduğunu, Uzman M1 ve M2 ise bu durumunun aşılması için eğitimin gerekliliğini vurgulamıştır. Uzman M7, İS paydaşlarının tümünün eğitim seviyesi fark etmeksizin İSG4.0 açısından belirli bir düzeyde eğitime ve beceriye sahip olmalarının gerekliliğini vurgulamıştır. Uzman M3, İSG4.0 eğitim içeriklerinin SG gibi teknolojiler ile geliştirilmesinin gerekliliğine vurgu yapmıştır. Uzman M5, çalışanlar eğitilmiş olsalar bile, İSG'ye yönelik risk algıları ve psikolojilerinin önemli olduğunu ifade etmiştir. Uzman M5 ve M10, çalışanların psikolojisine yönelik İSG 4.0 kapsamındaki çalışmaların gerekliliğine değinmiştir. Ayrıca, uzman M10, İS çalışanlarının İSG4.0'a bir yandan da gelecekte işlerini kaybetme korkusundan dolay endişe ile de yaklaştıklarını vurgulamıştır.

Uzman M1, tüm İSG risklerinin yönetilme potansiyeline ve organizasyon içindeki tüm paydaşların İSG risklerini yönetmedeki sorumluluğuna dikkat çekmiştir. Uzman M3, İSG4.0 için, üst yönetim desteğinin önemine dikkat çekerken, uzman M2 ise üst yönetimin desteğinin maliyet ile ilişkisine dikkat çekmiştir. Uzman M7, M9, M10 İSG yasalarının, İS'de İSG4.0 için daha etkin yollar ile denetlenmesi gerekliliğini vurgulamışlardır.

- Delphi çalışmasına yönelik (yeterlilikler ve zeka tipleri):

Tüm uzmanlar, yeterlilikleri belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin bulgularını ve belirlenen zeka tiplerini doğrulamıştır. Belirlenen yeterlilikler ile zeka tiplerinin İS'de İSG4.0 bağlamındaki ilişkilerini birlikte değerlendirmişlerdir.

Uzman M6 ve M9, iletişim&açıkgörüşlülük zekası ve sözel zekanın, teknik bir konuyu öğrenebilmek ve öğrenilen teknik bilgiyi başkalarına da öğretebilmek için teknik beceriler ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Uzman M9 ve M10, İS'de İSG risklerini anlayarak çözüm önerisi geliştirebilmek için etkin iletişimin önemine dikkat çekmiştir. Uzman M4, M5, M6, M8, M9, M10, iletişim ve açıkgörüşlülük zekasının problem çözme becerileri ile ilişkisine dikkat çekmiştir.

Uzman M2, M3 ve M6, açık fikirlilik zekasının önemine dikkat çekmiştir. Uzman M8, açıkfikirliliğin mevcut İSG kültüründeki eksiklikleri görebilmeye ve onları tespit

edebilmeye yönelik fayda sağlayabileceği böylece yeni bir İSG4.0 kültürü oluşturabileceğini vurgulamıştır.

Uzman M1 ve M9 ise, herhangi bir konuyu anlamak için literatür bilgisinin gerekliliğine ve o nedenle de okuma zekasının önemine vurgu yaparken, Uzman M1, problem çözme becerileri için okuma zekasının önemine dikkat çekmiştir.

Mülakat çalışması sırasında uzmanlar ile tartışılmıştır. Uzmanlar, yeterlilikler ve zeka tiplerinin özellikle İKY yönü ile birbirlei ile dinamik bir etkileşim halinde olduklarını vurgulamıştır (Şekil 4.19).

Yeterlilikler \ Zeka tipleri	**Matematiksel zeka** (Gardner, 1983)	**Sözel-dilsel zeka** (Gardner, 1983)	**Uzamsal-görsel zeka**(Gardner, 1983)	**İletişim ve açıkgörüşlülük zekası** (katılımcılar tarafından önerilen)	**Kişilerarası zeka** (Gardner, 1983)	**Okuma zekası** (Duygulu, 2011)	**İçsel zeka** (Gardner, 1983)	**Doğa zekası** (Gardner, 1983)	**Empati zekası** (katılımcılar tarafından önerilen)	**Bedensel-kinestetik zeka** (Gardner, 1983)	**Varoluşsal zeka** (Gardner, 1999)
İKY4.0 tabanlı teknik yeterlilikler											
Teknik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)											
Analitik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016)											
Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020)											
İKY4.0 tabanlı metodolojik yeterlilikler											
Yaratıcılık (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011)											
İnovasyon tabanlı yaratıcılık (Verma ve Venkatesan, 2022)											
Problem çözümü (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Ribeiro ve diğ., 2021)											
İKY 4.0 tabanlı sosyal ve bireysel yeterlilikler											
Bir takım içinde çalışabilmek (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)											
Liderlik becerileri (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011)											
İKY4.0 tabanlı yönetimsel yeterlilikler											
Risk yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)											
İSG yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)											
Maliyet yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)											

Şekil 4.19 : Yeterlilikler ve zeka tiplerini belirlemeye yönelik yapılan DÇ'nin mülakat bulguları

İS'de, İSG profesyonellerinin sahip olması gereken zeka türleri ve becerilerin, birbirleri ile ilişkili olduğu görülmektedir (Şekil 4.19). Uzmanların tümü, İS'de İSG 4.0 için belirlenen yeterliliklerin tümünün zeka tipleri ile ilişkisini doğrulamışlardır. Ancak, bazı yeterlilikler ve zeka tiplerinin birbirleri ile daha doğrudan ya da dolaylı ilişkilerinin olabileceğine yönelik çeşitli görüşlerini bildirmişlerdir. Şekil 4.19'da görülen koyu turuncu alanlar, mülakat sırasında uzmanların, yeterlilikler ve zeka tiplerinin İS'de İSG4.0 için doğrudan ilişkilerini, açık turuncu alanlar ise dolaylı ilişkilerine yönelik cevaplarını vurgulamaktadır. Örneğin, İSG profesyonelleri, işçiler ve inşaat işçileri gibi çalışma alanlarında oldukça riskli alanlarda bulunan çalışanları yönetmektedirler. İS'de İSG 4.0 için profesyonellerin teknik ve analitik becerilere sahip olması uzmanlar tarafından, matematiksel zeka (Gardner, 1983), uzamsal-görsel

zeka (Gardner, 1983), okuma zekası (Duygulu, 2011) ile doğrudan ilişkili olarak görülmüştür. Teknik becerilerin (örn; Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020) ve analitik becerilerin (örn; Hecklau ve diğ., 2016) elde edilmesi için, güncel literatürün okunmasına yönelik araştırma yapılması gerektiğinden, minimum seviyede de olsa bir okuma zekasının (Duygulu, 2011) gerekliliğine uzmanlar dikkat çekmiştir. Benzer şekilde, İKY 4.0 tabanlı teknik yeterliliklerden "bilgi teknolojileri ve güevenliğini anlamak (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020)" kriterinin matematiksel (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), kişilerarası (Gardner, 1983) ve okuma zekası (Duygulu, 2011) ile doğrudan ilişkili olabileceği belirlenmiştir. İKY 4.0 tabanlı metodolojik yeterliliklerden "yaratıcılık (örn; Shahhosseini ve Sebt, 2011)" ve "inovasyon tabanlı yaratıcılık (Verma ve Venkatesan, 2022)" kriterlerinin ise, matematiksel (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), iletişim ve açıkgörüşlülük (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen), kişilerarası (Gardner, 1983), okuma (Duygulu, 2011), içsel (Gardner, 1983) ve doğa zekası (Gardner, 1999) ile doğrudan ilişkili olabileceği, mülakat bulguları arasındadır. Ayrıca, İKY4.0 tabanlı metodolojik yeterliliklerden diğeri "problem çözümü (örn; Ribeiro ve diğ., 2021)"dir. İlgili kriterin, matematiksel (Gardner, 1983), sözel-dilsel (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), iletişim ve açıkgörüşlülük (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen), kişilerarası (Gardner, 1983), okuma (Duygulu, 2011), doğa zekası (Gardner, 1999), bedensel-kinestetik zeka (Gardner, 1983) ile doğrudan ilişkili olabileceği belirtilmiştir. İKY 4.0 tabanlı sosyal ve bireysel yeterliliklerden biri olan "bir takım içinde çalışabilmek (örn; Hecklau ve diğ., 2016)" için, doğrudan ilişkili zeka tiplerinin matematiksel, sözel, iletişim ve açıkgörüşlülük, kişilerarası (Gardner, 1983), içsel (Gardner, 1983) ve empati zekası (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen) olduğu görülmüştür. Örneğin, uzmanlar, İSG problemlerini çözebilmeye yönelik teknik yeterlilikler ile ilişkili zeka tiplerinin ötesinde, empati kurabilmek gibi için gerekli empati zekası gibi ilişkili zeka tiplerinin önemine de vurgu yapmışlardır. Ekip içinde başkaları ile iletişim kurabilmek için, empatinin, iletişimin önemine dikkat çekmişlerdir. Benzer şekilde, İKY 4.0 tabanlı sosyal ve bireysel yeterliliklerden bir diğeri olan "liderlik becerileri" için ise doğrudan ilişkili zeka tiplerinin matematiksel (Gardner, 1983), sözel-dilsel (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), iletişim ve açıkgörüşlülük (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen), kişilerarası (Gardner, 1983), okuma (Duygulu, 2011), içsel (Gardner, 1983), doğa zekası (Gardner, 1983) ve empati zekası (çalışma

kapsamında katılımcılar tarafından önerilen) olabileceği belirtilmiştir. İKY 4.0 tabanlı yönetimsel yeterliliklerden "risk yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)" becerisinin, matematiksel zeka (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), iletişim ve açıkgörüşlülük (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen), kişilerarası (Gardner, 1983), okuma (Duygulu, 2011), doğa zekası (Gardner, 1983) ve empati zekası (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen) doğrudan ilişkili olabileceğini uzmanlar mülakatlar sırasında ifade etmiştir. İKY 4.0 tabanlı yönetimsel yeterliliklerden "İSG yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)" için tüm zeka tipleri için belirli ölçüde doğrudan ilişkili olabileceğinin uzmanlar altını çizerken, maliyet yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021) için ise matematiksel (Gardner, 1983), sözel-dilsel (Gardner, 1983), uzamsal-görsel (Gardner, 1983), iletişim ve açıkgörüşlülük (çalışma kapsamında katılımcılar tarafından önerilen), kişilerarası (Gardner, 1983) ve okuma zekasının (Duygulu, 2011) doğrudan ilişkisine dikkat çekmiştir. Örneğin, uzmanlar maliyet yönetimi (Riberio ve diğ., 2021) ile beceri kazanımı için, matematiksel zekaya (Gardner, 1983) ek olarak belirli bir düzeyde literatür okuma bilgisinin ediniminin gerekliliğini ve maliyet-fayda analizi gibi uzmanların yaptıkları analizlerin sonuçları için de üst yönetimi bütçe konusunda ikna edebilir düzeyde sözel-dilsel zekaya (Gardner, 1983) olan ihtiyacı da vurgulamıştır.

- OSHA standartlarına yönelik:

OSHA standartları ile E4T'lerin entegre olabilme potansiyeli konusunda uzmanlara ne düşündükleri sorulduğunda ise, standartların kesinlikle E4T'ler ve GYY'ler ile entegrasyonunun sağlanabileceğine yönelik olumlu görüş bildirmişlerdir.

OSHA standartlarının her birine yönelik, hangi E4T'ler ile daha etkin bir şekilde entegre olunabileceği konusunda özelleşmiş çalışmalara yönelik sektörün ihtiyacını vurgulamışlardır.

Uzman M3 ve M10, OSHA standartlarının aslında çok kapsamlı ve detaylı olduğunu, uygulanması noktasındaki problemlerin çözümüne yönelik E4T'lerden destek alınmasının gerekliliğine dikkat çekmişlerdir.

Uzman M3 ve M7, standartların hükümet politikaları, belediyeler, müteahhitler gibi tüm paydaşlar ile birlikte etkin entegrasyonuna yönelik çözümlerin birlikte geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır.

- YBM ve DF'nin entegrasyonuna yönelik:

Görüşülen tüm uzmanlar YBM ve DF'nin entegrasyonun İS'de İSG4.0'a yönelik gerekliliği için olumlu görüş bildirmişlerdir.

Tüm uzmanlar, cephe panellerinde, tasarım ve üretim disiplinleri arasındaki iş akışlarını desteklenmesinde, yerinde montaj, sahadışı imalat gibi çeşitli alanlarında kullanımlarının önemine dikkat çekmişlerdir.

Uzmanların tümü, YBM ve DF'nin entegrasyonu ile birlikte, zaman ve insan çabasının önemli ölçüde azaltılabileceğine, ilgili entegrasyonun daha yüksek bir okunabilirlik sağlayabileceğine, hatayı azaltabileceğine böylece maliyetleri de azaltabileceğine yönelik görüş bildirmişlerdir.

Uzman M9, aynı zamanda Nİ, gerçek zamanlı konum izleme gibi diğer E4T'ler ile ve GYY'lerden özellikle yalın yönetim ile de olan entegrasyonların daha etkin sistemler kurmak için faydalı olabileceğini vurgulamıştır.

Tüm uzmanlar, özellikle saha dışı imalat için YBM ve DF entegrayonunun gerekliliğine vurgu yapmıştır. Mülakatlar sırasında saha dışı imalatın, inşaat sektöründe İSG problemlerini YBM tabanlı DF ile çözebilme potansiyeline yönelik vurgular ön plana çıkmıştır. Uzmanlar ayrıca, YBM ve DF entegrasyonu ile daha az alana ihtiyaç duyulabileceğine ve yapım aşamasının şantiyede henüz başlamadan önemli bir miktarda iş yapılabileceğine vurgu yapmışlardır. Ayrıca saha dışı imalat ile birlikte, uzmanlar inşaatın süresi, kalitesi, İSG, değer ve sürdürülebilirliğine yönelik önemli potansiyel katkılarını vurgulamışlardır. YBM tabanlı DF ile birlikte, saha içinde daha az alana ihtiyaç duyulması, saha içindeki karmaşıklığı azaltabileceğinden, İSG risklerini de azaltabilme potansiyelinin bulunduğu vurgulanmıştır. Uzman M7, özellikle YBM tabanlı DF ile birlikte, sahadışı imalatın desteklenebileceğini, böylece sahadaki sıkışıklık ve kalabalık dolayısı ile gerçekleşen kaza ve ramakkalaların azalabileceğine vurgu yapmıştır. Uzman M3, M7 ve M10 ise YBM tabanlı DF'nin, yıkım atıklarının kontrolünü sağlayabilmesi yönü ile gereğinden fazla oluşabilecek zehirli kimyasalların önüne geçilebileceğini ve böylece, yıkıma bağlı olarak gerçekleşebilecek mesleki hastalıkların (örn; mesleki akciğer hastalığı, mesleki kanser) da azalabileceğini vurgulamışlardır. Örneğin, YBM tabanlı DF ile birlikte, yıkım atıklarının miktarı ve süresinin optimize edilebileceği vurgulanmıştır (Uzman M7 & M10). Ayrıca, robotik gibi diğer teknolojiler ile entegre çalışmalar ile birlikte insana olan ihtiyaç azalabileceğinden (örneğin, salınan zararlı kimyasalların en yüksek

olabildiği zaman dilimlerindeki yıkıma bağlı iş tanımlarının belirlenerek, insanlar yerine ilgili iş kalemlerinin robotlara yaptırılması gibi), meslek hastalıkları (örneğin; akciğer kanseri), azalabilme potansiyelinin bulunduğu vurgulanmıştır (Uzman M10).

- Olgunluk modellerine yönelik:

Görüşülen tüm uzmanlar, İS'de İSG4.0 için çalışma kapsamındaki tüm bulguların önemli olduğuna dair görüş olumlu görüş bildirmişlerdir.

Tüm uzmanlar, İS'de İSG4.0 için tüm PYD boyunca incelenen anket verilerinin bulgularına yönelik bir olgunluk modeli geliştirilebileceğini desteklemişlerdir. Uzman M2 ve M3 ise, oluşturulacak olan olgunluk modelinin İPYD'nin her aşamasında, her faz ve E4T özelinde olmasının firmalar için gerekli olabileceğine dikkat çekmişlerdir. Uzman M7 ise, İSG4.0 kültürünün sürdürülebilirliği için olgunluk modelleri ile entegre bir modelin sektördeki gerekliliğine vurgu yapmıştır.

Uzman M2, M3 ve M7 genellikle PYD'nin hangi aşamasında hangi İSG risklerine odaklanılması gerekliliğine, ilgili risklerin hangi E4T&GYY'ler ile çözülebilme potansiyelinin bulunabileceğine yönelik firmaların ve İSG uzmanlarının bir olgunluk ölçeğine ihtiyaçlarının olabileceğini bildirmişlerdir.

Uzman M2, M3, M7 ve M9, engeller ve KBF'lere yönelik bir olgunluk ölçeği geliştirmenin hem firmaların hem de bireylerin kendi olgunluk seviyelerini görebilmelerine olanak tanıyabileceklerini ifade etmişerdir.

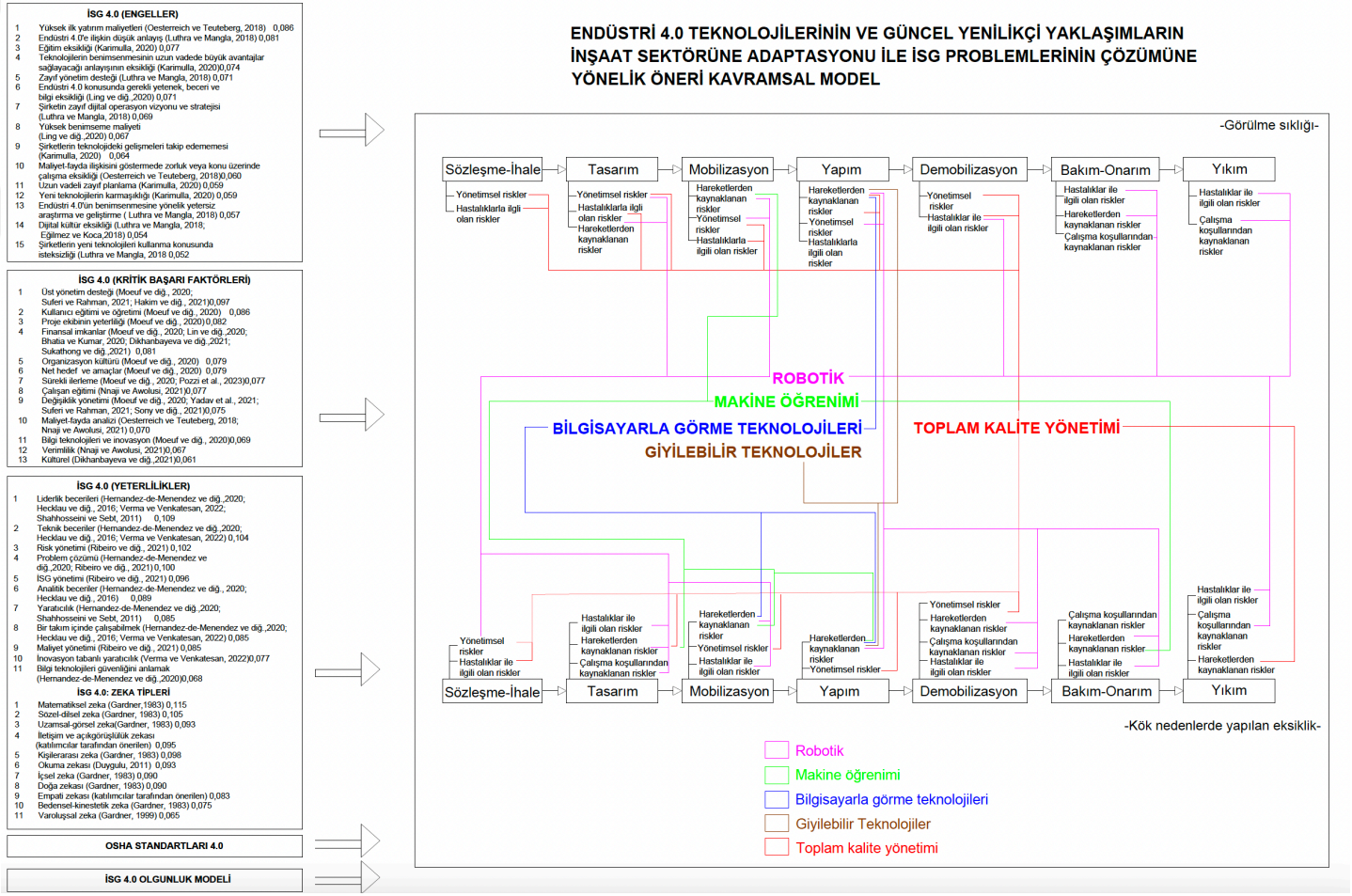
Uzman M4, M5, M6, M7 yeterlilikler ve ilişkili zeka tiplerinin belirlenmesinin, özellikle firmaların işe alımlarında İSG4.0 için gerekli İK'yı belirleyebilmeye yönelik önemini ifade etmiştir. Uzman M4, M5, M6 ve M7, belirtilen şekilde oluşturulan olgunluk modellerinin, şirketlerin kümülatif olarak da kendi olgunluklarını ölçebilmesine yönelik potansiyel faydasına dikkat çekmişlerdir.

Tüm çalışmanın verilerinin bulgularına yönelik olgunluk modeli oluşturulmasının hem birey, hem firma bazında önemli olabileceği, uzman M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 tarafından vurgulanmıştır. Böylece, kendi olgunluk seviyelerini belirleyen bireyler ve firmalar, bir sonraki olgunluk seviyesine geçebilmek için İSG4.0 bağlamında stratejiler geliştirebilir (M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9).

- Kavramsal modele yönelik:

Uzmanlara, mülakat çalışması sırasında, tez çalışmasının amacına yönelik kullanılan tüm yöntemlerin (literatür çalışması, anket çalışması, delphi çalışmaları)'nın bulgularının her biri sorulduktan sonra, oluşturulan kavramsal modele yönelik görüşleri sorulmuştur. Uzmanlara, oluşturulan kavramsal modelin faydalı ve eksik yönleri, geliştirilmesi gereken noktaları, genel olarak yorumları, nasıl yaygınlaştırılabileceği, nasıl faydalı olabileceği, genel düşünceleri, değerlendirmeleri, önerileri, kritik düşünceleri, GYY'ler ile entegre olabilme potansiyeline yönelik görüşleri sorulmuştur. Uzmanların tümü, oluşturulan kavramsal modele girdi olan çalışmaların bulgularını onaylamışlardır. Uzmanların tümü, kavramsal modelin, başta İSG uzmanları olmak üzere, İS'deki tüm paydaşlara ve akademisyenlere faydalı olabileceğinin altını çizmişlerdir. Uzmanlar ayrıca, İSG problemlerine yönelik çözümlerin ve İS'de İSG4.0'ın adaptasyonunun sağlanabilmesi için temel paydaşlar olarak işverenleri ve politika yapıcıları işaret etmişlerdir. O nedenle, oluşturulan kavramsal modelin yaygınlaştırılabilmesi için, işverenler, müteaahhitler, politika yapıcılar, İSG uzmanları ve akademisyenler kilit paydaşlar olarak değerlendirilmiştir. Uzmanlar, tüm paydaşların ve özellikle kilit paydaşların bir araya gelerek, konuya yönelik strateji önerileri geliştirmeleri ve belirlenen stratejilerin uygulaması sırasında da destekleyici ve bütüncül bir yaklaşımın gerekliliğinin altını çizmiştir.

Şekil 4.20, bu doktora tez çalışması kapsamında, İS'de İSG problemlerinin E4T ve GYY'ler ile çözümüne yönelik öneri kavramsal modeli ifade etmektedir. Şekil 4.20'de görüldüğü üzere, İS'de İSG problemlerinin E4T ve GYY'ler ile çözümüne yönelik öneri kavramsal model, tez çalışması kapsamında yapılan tüm çalışmaların bulgularından oluşmaktadır



Şekil 4.20 : İS'de İSG problemlerinin E4T ve GYY'ler ile çözümüne yönelik öneri kavramsal model

Şekil 4.20, İS'de İSG problemlerini çözebilmek için, İPYD'nin her bir fazında odak grup risklere ve ilgili riskleri çözebilecek anahtar E4T ve GYY'lere odaklanılmasının önemli olduğu ortaya koyulmuştur. Şekil 4.20'de, çeşitli renk kodları ile verildiği üzere riskleri çözebilme potansiyeli bulunduran anahtar teknolojilerden robotik (pembe), makine öğrenmesi (yeşil), bilgisayar ile görme teknolojileri (mavi), giyilebilir teknolojiler (kahverengi) ile ifade edilirken, anahtar GYY olan TKY ise kırmızı renk ile ifade edilmiştir. İPYD'nin her bir fazındaki odak grup risklerin en çok çözülebilme potansiyelinin olduğu anahtar E4T'ler ve GYY'ler anket çalışmasının bulgularından yola çıkılarak, aynı renk çizgiler ile eşleştirilmiştir. Böylece, anket çalışmasının bulgularından yola çıkılarak, fazlar özelinde odak grup riskler ve anahtar E4T ve GYY'ler belirlenmiştir. İS'de İSG 4.0 entegrasyonu için gerekli kritik engel, başarı faktörleri, yeterlilikler ve zeka tiplerine odaklanılmasının gerekli olabileceği literatür, delphi ve mülakat çalışmasının sonucunda ortaya koyulmuştur. OSHA standartlarının E4T'ler ile entegrasyonu ile bütüncül bir şekilde ele alınması ve yeniden düşünülmesi, İS'de İSG 4.0 için önemli olabileceği düşünülmektedir. Geliştirilen olgunluk ölçeği de dahil olmak üzere, her bir çalışmanın öneri kavramsal modele girdi olarak katılmıştır.

5. TARTIŞMA

Bu doktora tez çalışması, ET4'ler ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmayı amaçlamıştır. Bu amaca yönelik olarak ilk hedef, İS'deki İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak E4T'lerin kullanıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili girdi sağlamaktır. İkinci hedef, İS'deki tüm PYD'yi İSG açısından inceleyerek, E4T&GYY'lerin entegrasyonuna yönelik öneriler geliştirmektir. Üçüncü hedefi, İPY'nin tüm süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine, ve bu konudaki yetkinliklerin belirlenebilmesine yönelik araştırma yapmaktır. Dördüncü hedefi ise literatürdeki mevcut olgunluk modellerini araştırmaktır. Belirtilen ilk dört hedefin tümüne yönelik olarak literatür taramaları ve anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasının ardından literatür bulguları, anket çalışmasının belirli sorularının da girdisini oluşturmuştur. Anket çalışmasının ilk kısmı İPYD'nin tüm aşamalarında (örneğin; tasarım aşaması), literatürden elde edilen 33 adet riskin (Çizelge 2.1), E4T'ler ve GYY'ler ile birlikte ele alınmasına ve İSG4.0'a yönelik incelemeleri içermektedir. Anket çalışmasıın ikinci kısmı ise, literatürdeki mevcut çalışmalar incelendikten sonra, elde edilen sentezin ilgili uzmanlarca değerlendirmelerini sağlamaya yöneliktir. Bu kapsamda anket çalışması, literatürün bulgularına, OSHA standartlarına, olgunluk modelleri ile olan entegrasyona yönelik öneriler ile de kavramsal modele girdi sağlamıştır. Çalışmanın belirtilen üçüncü hedefi ise, literatür ve anket çalışmasına ek olarak, birbirine paralel olarak ve herbiri dört tur olan DÇ'ler ile desteklenmiştir. DÇ'ler, çalışmanın belirtilen üçüncü hedefine paralel olarak, E4T'lerin, İPYD'nin her aşamasında İSG 4.0' a entegresyonunu desteklemeye yönelik olarak yapılmıştır. Ayrıca, ilk dört hedefe yönelik olarak yapılan literatür, anket ve delphi çalışmalarının tümünün bulguları, İSG uzmanlarınca mülakat çalışması sırasında doğrulanmış ve uzmanların ek önerileri ve tartışmaları sağlanmıştır. Bazı uzmanların bazı noktalardaki vurgusu ek açıklamalar sağlanarak iletilmiştir. Çalışmanın beşinci ve altıncı hedefleri ise kavramsal modeli oluşturmak,

doğrulamak ve test etmeye yöneliktir. Belirtilen hedeflere yönelik olarak, uzman görüşleri mülakat çalışması yolu ile alınmıştır. Uzmanlar, kavramsal modelin faydalarını vurgulamış ve verdikleri ek öneriler ile model geliştirilmiştir.

5.1 İS'de İSG4.0 İçin Tüm PYD'nin İncelenmesine Yönelik Bulguların Tartışılması

E4T&GYY'lerin İPYD boyunca incelenmesine yönelik olarak anket sorularının bulgularını uzmanlar mülakat çalışması sırasında onaylamışlardır. Bölüm 4.1'de, anket çalışmasının bulguları, Bölüm 4.3'te ise anket çalışmasına yönelik mülakat çalışmasının bulguları detaylı olarak verilmiştir. Uzmanlar, konuya ilişkin ek görüşler sağlamışlardır (Bölüm 4.3). Uzmanlar, tüm risklere aynı anda odaklanmanın zor olabileceğiini düşünerek, odak grup risklerin her bir faz özelinde belirlenmesinin önemini vurgulamışlardır (Bölüm 4.3). Bu önerilerden de yola çıkarak, örneklem kümesine uygulanan anketin içerdiği tüm sorular (EK A) ve cevapları bütüncül olarak bir arada düşünülerek, bir model kurgulanmıştır. Bölüm 4.1'de anket çalışmasının bulgularına yönelik detaylı bilgiler sağlanmıştır. Örneğin, sözleşme-ihale aşamasında en çok görülen (EK A,1) (Şekil 4.1) /kök nedenlerde en çok eksiklik yapılan riskler (EK A, 2) (Şekil 4.3) belirlenmiştir. 33 adet riskten (Çizelge 2.1) en çok görülen %20'sine odaklanmanın, en önemli İSG problemlerinin odak grup olarak belirlenmesine yardımcı olabileceği düşünülmüştür. O nedenle her bir faz için odak grup riskler bazında gruplandırma yapılmıştır. Daha sonra, anketin 3.sorusu (EK A, 3) (Şekil 4.5) olan, her bir riskin hangi E4T&GYY kulanılarak çözülebilme potansiyeli olduğuna yönelik olarak alınan bulgular birleştirilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.9). Böylece, her bir faz özelinde belirlenen odak grup riskler (EK A, 1 ve Şekil 4.1) (EK A, 2 ve Şekil 4.3) belirlenmiş ve ilgili risklerin hangi E4T&GYY ile çözülebileceğine (EK A, 3, Şekil 4.5) yönelik öneri çerçeve geliştirilmiştir. Örneğin, mobilizasyon aşamasında en çok görülen (Şekil 4.1), İSG riski 11 numaralı (hareket eden nesnenin çarpması) (HSE, 2020) risktir. Bu riskin, en çok sırasıyla MÖ, Ro ve GT ile çözülebilme potansiyelinin olabileceği görülmüştür (Şekil 5.1). Böylece İPYD'nin her bir aşamasına yönelik odak grup riskler (Şekil 4.1 & Şekil 4.3) ve riskleri çözebilecek anahtar teknolojilere (Şekil 4.5) yönelik öneri çerçeve (Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5., Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9) geliştirilmiştir.

Uzmanlar, diğer bir öneri olarak, Bölüm 4.3'te anket çalışmasına yönelik mülakat çalışmasının bulguları kısmında detaylı olarak anlatıldığı üzere, 33 adet İSG riskini (Çizelge 2.1), 4 ayrı kategori altında sınıflandırma konusunda fikir belirtmişlerdir (Çizelge 5.1). Risklerin her birinin incelenmesinin yanısıra, benzer özelliklere sahip risklerin bir grupta olmasının, bütüncül olarak daha kolay incelenebilme fırsatı sunabileceğini vurgulamışlardır (Bölüm 4.3). Literatürden elde edilen 33 adet İSG riskleri (Çizelge 2.1), 4 ayrı başlık altında toplanmıştır (Çizelge 5.1). Öneri çerçeve, dört kategori altında, hangi fazda hangi İSG risk başlığının görülebildiğine yönelik bilgiler de sağlamaktadır.

Tez kapsamında incelenen İSG riskleri (Çizelge 2.1), dört başlık altında ele alınmıştır. Çizelge 5.1, risklerin ait olduğu grupları göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Çalışma kapsamında İSG risklerinin dört ana kategori altında incelenmesi

Risk kategorisi	**İlgili riskler**
Hastalıklar ile ilgili olan riskler	1,2,3,4,5,6,7,8 (HSE, 2020)
Yönetimsel riskler	12,21,24,25,26,27,28,29 (HSE, 2020)
Hareketlerden kaynaklı riskler	9,10,11,13,14,15,16,17,18,22 (HSE, 2020) 30,31,32 (OSHA, 2005)
Çalışma koşullarından kaynaklı riskler	19,20, 23 (HSE, 2020) 33 (OSHA, 2005)

E4T&GYY'lerin İPYD'nin bütününde incelenmesine yönelik olarak model şu şekilde kurgulanmıştır. PYD'ye yönelik her bir aşamada en çok görülen (EK A, 1) (Şekil 4.1) ve ilgili aşamalardaki risklerin görülme nedenlerinin risklerin kök nedenlerinde yapılan eksikliklerden kaynaklandığı (EK A, 2) (Şekil 4.3) soru grubu ve ilgili risklerin çözülebileceği teknolojilere yönelik olarak (EK A, 3) (Şekil 4.5) soru grubu birleştirilerek bir model kurgulanmıştır. Her iki soru grubundaki risklerin Pareto prensibi temel alınarak %20'si olacak şekilde (en yüksek ortalama değeri olan 7 risk) ve her bir faz özelinde (EK A, 1&EK A, 2) alınmıştır. Daha sonra, anket çalışmasının üçüncü soru grubunda (EK A, 3), ilgili risklerin en çok hangi E4T&GYY ile çözülebileceğine yönelik elde edilen bulgular birleştirilmiştir. Böylece, PYD'nin her bir fazı özelinde oluşum sıklığı ve kök nedenler ile ilgili bütüncül bir bakış açısı sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9). Bu bakış açısının her bir faz özelinde odak grup riskleri ve

E4T&GYY belirlemeye (Şekil 5.9) katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Böylece, PYD'nin her bir fazı özelinde, İSG problemlerinin çözebilmek için, odaklanılması en çok önerilen risk grupları ve E4T&GYY'leri bir arada değerlendirme fırsatı sunulmak istenmiştir (Şekil 5.9). Bu bakış açısından yola çıkılarak, aşağıda her bir faz özelinde yapılan değerlendirmeler verilmiştir (Şekil 5.9). İPYD'nin her fazında aşağıda verilen şekilde, riskler özelinde dikkat edilebilir. Bölüm 4.1 ve 4.3'te detaylı olarak aktarıldığı üzere, ilgili E4T'&GYY'ler ile çözüm önerilerinin geliştirilmesine yönelik stratejilerin oluşturulmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

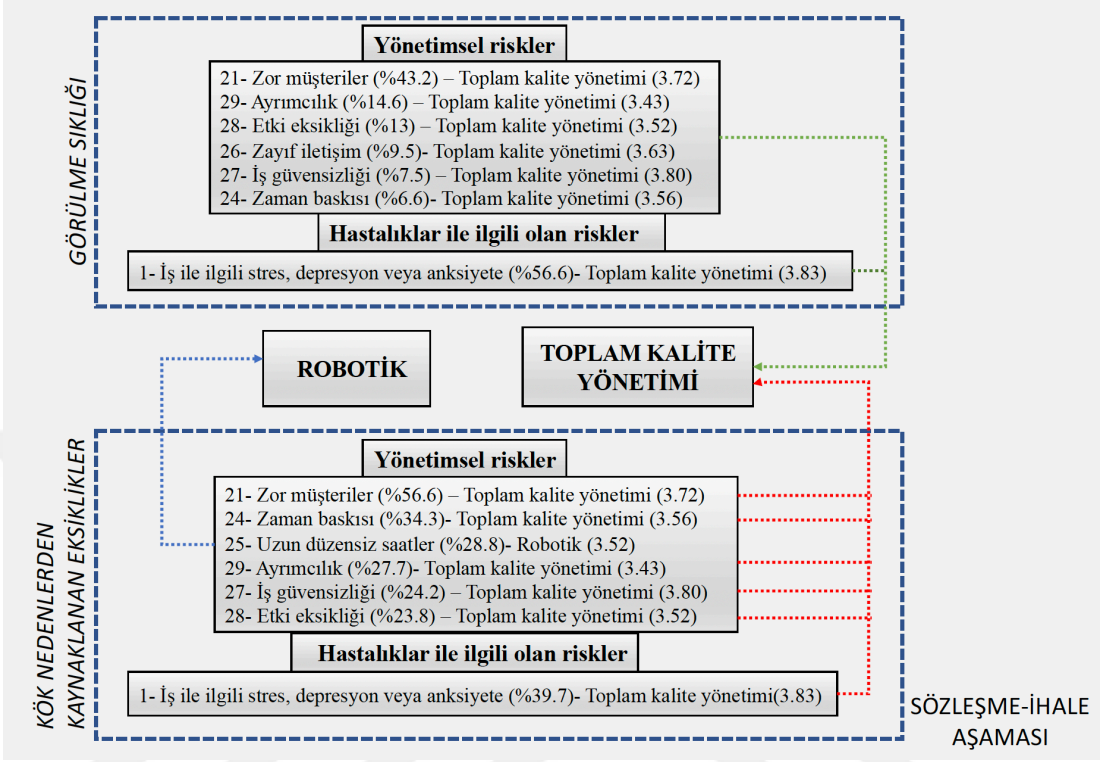
Şekil 5.1, detaylı bilgileri Bölüm 4.1 ve 4.3'te verilen şekilde anket çalışmasının (EK A, 1, 2, 3.soru gruplarının) (Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5) bulgularına göre, tez kapsamında incelenen İSG risklerinin (Çizelge 2.1) her birinin en çok çözülebilme potansiyelinin bulunduğu E4T&GYY'yi özetlemektedir.

İlgili riskin en çok çözülebilme potansiyelinin bulunduğu Endüstri 4.0 teknolojisi veya güncel yenilikçi yaklaşım	**İSG Risk numarası** (Çizelge 2.1) ve **Riskin ilgili teknoloji ile çözülebilme potansiyeline yönelik ortalama değeri** (EK A , 3; Şekil 4.5)
Toplam Kalite Yönetimi	1 (3.83), 12 (3.39), 21 (3.72), 24 (3.56), 26 (3.63), 27 (3.80), 28 (3.52), 29 (3.43), 30 (3.65), 31 (3.55), 33 (3.79)
Robotik	2 (4.11), 3 (3.73), 4 (3.67), 5 (3.85), 6 (3.99), 7 (3.73), 8 (3.63), 10 (4.00), 15 (4.00), 17 (4.01), 18 (3.59), 19 (3.54), 20 (3.83), 22 (4.03), 23 (3.64), 25 (3.52)
Makine Öğrenmesi	11 (3.89), 14 (4.14), 16 (4.00), 32 (3.71)
Bilgisayar ile Görme Teknolojileri	9 (3.63)
Giyilebilir Teknolojiler	13 (3.72)

Şekil 5.1 : Tez kapsamında incelenen İSG risklerinin en çok çözülebilme potansiyelinin bulunduğu E4T&GYY

Şekil 5.2, detaylı bilgileri Bölüm 4.1 ve 4.3'te verildiği üzere, İPYD'nin sözleşme-ihale aşamasında odaklanılmasının faydalı olabileceği düşünülen odak grup riskleri (Çizelge 2.1) (EK A, 1& EK A, 2) (Şekil 4.1 & Şekil 4.3) ve ilgili risklerin en çok çözülebilme potansiyelinin olabileceği E4T ve GYY'leri (EK A, 3) (Şekil 4.5, Şekil 5.1) özetlemektedir.

Sözleşme-ihale fazında, belirtilen risklere ve E4T&GYY'lere odaklanılması (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1), İS'de İSG problemlerinin proaktif olarak çözümüne dair katkı sunabilir.

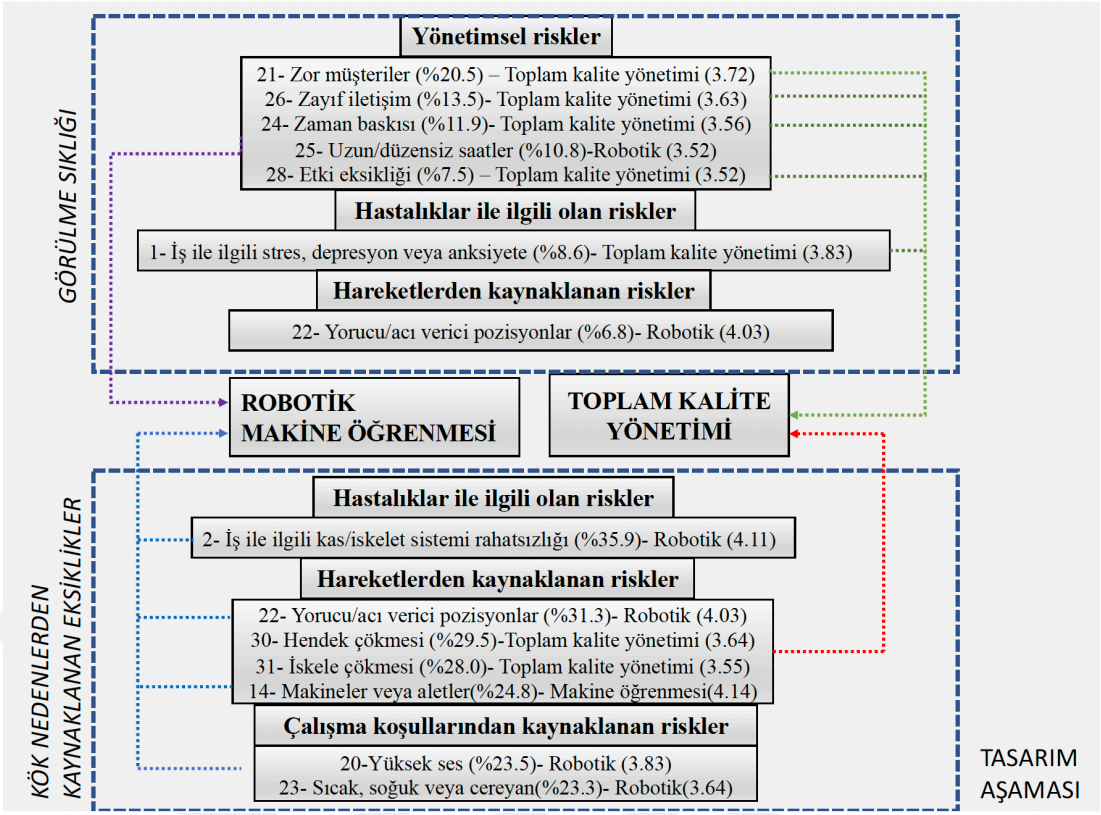


Şekil 5.2 : Sözleşme-ihale aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.2'ye göre, oluşturulan öneri kavramsal modelin sözleşme-ihale aşamasında daha çok yönetimsel risklerin olduğu (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5) görülmüştür. Yönetimsel risklerin (21, 29, 28, 26, 27, 24) (HSE, 2020) ise TKY ile çözülmesi önerilmiştir. Ayrıca yönetimsel risklerin hemen peşinden hastalıklar ile ilgili olan riskler gelmektedir. Hastalıklar ile ilgili olan risklerden 1 numaralı risk (İş ile ilgili stres, depresyon veya anksiyete) (HSE, 2020) öne çıkmıştır. 1 numaralı riskin (İş ile ilgili stres, depresyon veya anksiyete) (HSE, 2020) de yönetimsel risklere benzer şekilde en iyi şekilde çözülme potansiyelinin TKY olduğu bulgular arasındadır. Sözleşme-ihale aşamasında daha çok yönetimsel risklerin görülmesi, beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Uzmanlar o nedenle, sonuçların bu şekilde çıkmasını olağan karşılamıştır. Uzman M3, M7 ve M8 ilgili fazda, tüm paydaş ilişkilerinin ve görevlerinin tanımlanması, TKY prensiplerinin İSG temelinde düzenlenmesi ile verimlilik potansiyelini arttırabileceğini ifade etmiştir. Bazı uzmanlar ise, TKY bakış açısı ile problemlere çözüm önerileri geliştirilebileceğini ifade etmiştir. Örneğin, TKY

müşteri ile ilişkileri düzenlemeye destek olabilir. TKY, çalışanlar arasındaki ilişkileri ve iletişimi tüm tedarik zinciri ve paydaş yönetimi bakış açısı ile ele alabilir. Çalışanlar arasındaki ayrımcılık gibi konular, TKY bakış açısı ile alındığında etkin ekip yönetimi ile çözülme potansiyeli sunabilir. Diğer taraftan Uzman M5 , lider ve yönetici arasındaki farkları vurgulamıştır. Örneğin, sözleşme ve ihale hazırlığının tamamlanabilmesi için tüm etkenler bir arada değerlendirilerek ona uygun bir süre tanımlanabilir. Belirtilen yaklaşım ise çalışanlar üzerindeki baskıyı azaltacağı için verimi yükseltebilir. Sözleşme-ihale aşamasında görülen odak risklerden biri hastalıklar ile ilgili olan risklerdir. 1 numaralı olan risk, çalışanlar üzerinde yüksek derecede iş ile ilgili stres/ve anksiyete problemlerinin bulunduğunu ifade etmektedir. Günümüzde sıklıkla karşılaşılabilen hastalıklardan biri olan anksiyeteyi sözleşme-ihale aşamasında tüm yönleri ile almak önemli olabilir. Ayrıca bu risk türünün de TKY ile iyileşme potansiyelinin olabileceğine vurgu yapılmıştır. Uzun ve düzensiz saatler, çalışanların hayat kalitelerinde düşüşe sebep olduğundan ve çalışanların verimini düşürebileceğinden genellikle önemli bir problem olarak karşımıza çıktığını, uzman M1 ve M5 vurgulamıştır. Çözüm önerisi olarak, sözleşme-ihale fazında robotik kullanımının bu riske çözüm önerisi oluşturabileceğini uzman M3 ve M8 önermiştir. Robotik kullanımı ile birlikte sözleşme-ihale aşamasındaki İSG problemlerinin çözülebileceğini ifade etmiştir. Örneğin, uzman M3 ve M8, uzun ve düzensiz saatlerin robotik ile çözümüne yönelik olarak çeşitli öneriler geliştirilebileceğini vurgulamıştır. Sözleşme-ihale aşamasında, robotlara yaptırılabilme potansiyeli olan iş kalemleri belirlenebilir ve böylelikle uzun ve düzensiz çalışma saatlerinden doğabilecek İSG riskleri de azaltılabilir. Mevcut literatür (örn; Waqar ve diğ., 2024), İS'ye robotik teknolojisini dahil etmenin İSG açısından kritik olduğunu vurgulamıştır.

Yukarıda süreçlerin anlatıldığı şekilde, sözleşme-ihale aşamasında benzer şekilde (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1), tasarım aşamasına yönelik olarak modelin kurgusu Şekil 5.3'de verilmiştir.

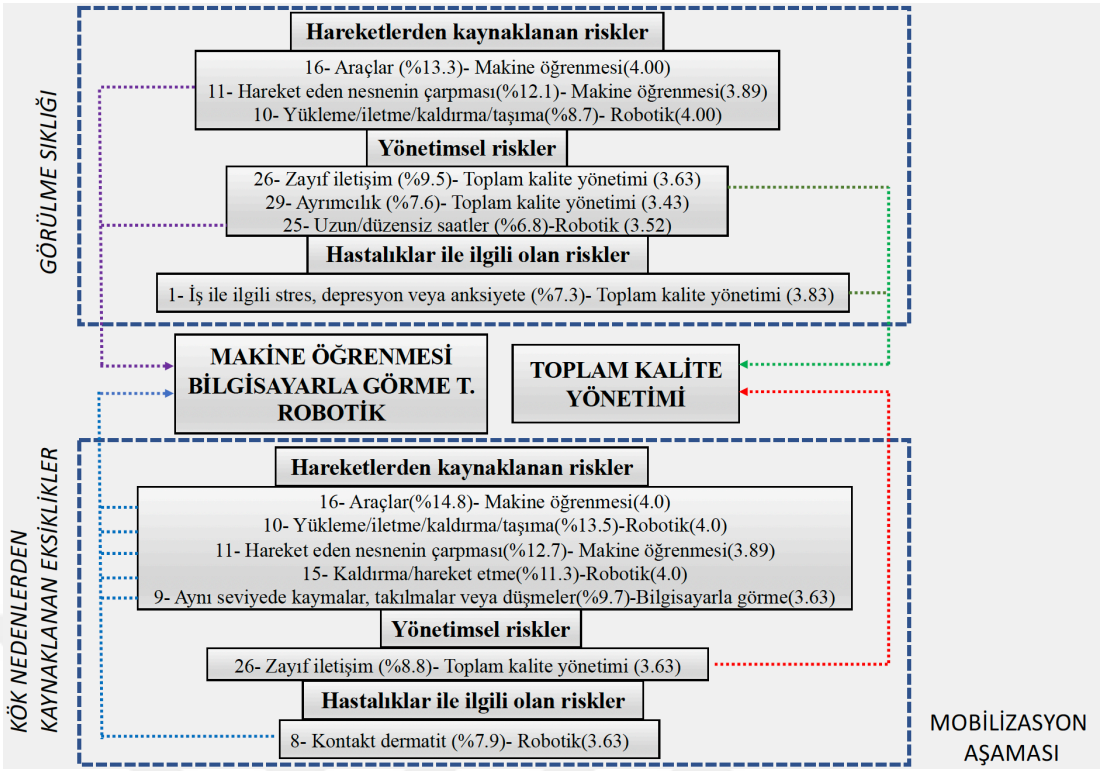


Şekil 5.3 : Tasarım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.3'e göre, oluşturulan öneri kavramsal modelin tasarım aşamasındaki en çok görülen yönetimsel risklere (Şekil 4.1, Şekil 4.3), GYY'lerden TKY'nin destek olma potansiyelinin olabileceği (Şekil 5.1) bulunmuştur. Aynı zamanda en çok görülen yönetimsel risklerden uzun ve düzensiz saatlerin (25) (HSE, 2020), robotik ile çözülebileceği görülmüştür. Uzun ve düzensiz saatler riskinin (25) (HSE, 2020) sözleşme aşamasında da robotik ile çözülebileceğine (Şekil 4.5) yönelik bulgu çıkmıştır. Robotik ile tasarım aşamasında ilgili problemin çözümüne yönelik öneriler üzerinde çalışılması gerekliliğine uzman M3 ve M8, vurgu yapmıştır. Örneğin, tasarım özelinde robotların yapabilme potansiyeli olan iş kalemlerinin belirlenebileceğini önermiştir. Aynı zamanda en çok görülen risklerden (22) yorucu ve acı verici pozisyonlar riskinin (HSE, 2020) de robotik ile çözülebileceği bulgusunu uzmanlar desteklemiştir. Uzman M7 ve M10, genellikle insan bedeni düşünüldüğünde, bazı hareketlerin insan vücuduna kısa ve uzun vadede zararları olduğu bilindiğini vurgulamıştır. İlgili tehlikeli iş kalemlerinin belirlenebilmesi ve robotlara yaptırılabilmesi ile ilgili uzman M1, M3 ve M7, öneride bulunmuştur. Uzman M7, böylece, çalışanlar arasında daha barışçıl bir çalışma ortamı oluşacağından, stres ve

depresyon üzerinde azalma yaşanabilme ihtimalini vurgulamıştır. McGregor (1960), yılında ortaya çıkardığı "x y teorisi", motivasyon, çalışan davranışı ve iş performansı ile ilgilidir (Galana ve Galanakis, 2022). McGregor'a göre çalışanlar, Tip X veya Tip Y olarak kategorize edilmektedir (Galana ve Galanakis, 2022). Bandhu ve diğ. (2024)'e göre, motivasyon teorilerinden yola çıkarak yöneticiler, çalışanları hangi faktörlerin ve motivasyonların yönlendirdiğini düşünerek ve bunu analiz ederek, işçileri ona uygun olarak yönlendirebilirler. McGregor, 1960; Galana ve Galanakis, 2022; Bandhu ve diğ. (2024)'in çalışmalarından yola çıkılarak, bu bağlamda İS'de İSG4.0 için tasarım aşamasındaki İS çalışanlarına yönelik uygun çözümler sunularak, çalışanların üstündeki baskı azaltılabilir ve 1 numaralı risk için çözüm stratejileri sağlanabilir. Örneğin, tasarım aşamasında çalışanların genellikle mimarlar ve mühendisler olduğu düşünüldüğünde, İS'deki çalışma ortamından farklıdır. O nedenle TKY perspektifinde ve tasarım aşamasında, tüm liderlik stilleri de ele alınarak bir arada düşünülmesi, ilgili aşamadaki tüm ilgili risklerin çözülebilmesi açısından önemli olarak değerlendirilebilir. Uzman M3, M7, M8 kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olabilecek problemlerin robotlara yaptırılması ile birlikte 2 numaralı riskin önüne geçilebileceğini vurgulamıştır. Uzman M1 ve M7, genellikle tasarım aşamasında bilgisayarın başında uzun saatler boyunca oturmak ve bilgisayar faresine sürekli tıklamanın da çeşitli İSG problemlerini bu kapsamda beraberinde getirebileceğini vurgulamıştır. İlgili İSG problemlerini önleyebilecek çeşitli iş kalemleri belirlenebilir ve bu kapsamda çalışmalar yapılabilir (uzman M3). Ayrıca çalışma koşullarından kaynaklanan risklerden yüksek ses ve sıcak, soğuk gibi etkilerden insan vücudu daha çok etkileneceğinden bu çalışma ortamlarında robotlardan yararlanabilme ihtimali olduğu uzman M3 ve M7 tarafından vurgulanmıştır.

Yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde, diğer aşamalara benzer şekilde (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1), mobilizasyon aşamasına yönelik olarak modelin kurgusu Şekil 5.4'te verilmiştir.

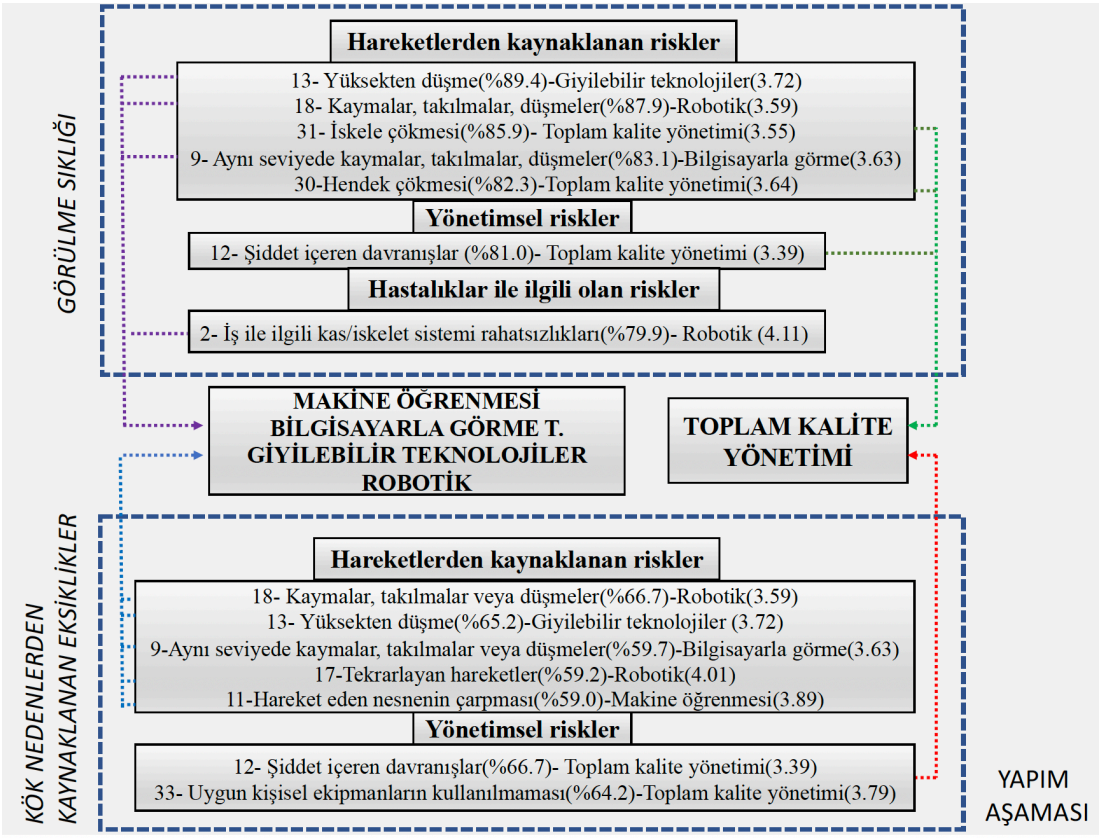


Şekil 5.4 : Mobilizasyon aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.4'te görüldüğü üzere Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1'den elde edilen sonuçlar doğrultusunda, oluşturulan önerilen kavramsal modelin mobilizasyon aşaması oluşturulmuştur. Uzman M1 ve M8, mobilizasyon aşamasında saha hazırlanırken İSG risklerinin önüne geçebilmek için MÖ, BGT, Robotik ve TKY kullanımının önemli olabileceğini vurgulamıştır. Özellikle uzman M8, BGT aracılığı ile mobilizasyon aşamasında sahanın izlenebileceğine ve tehlike içerebilecek potansiyeli taşıyan hareketlerin önceden belirlenebileceğine dikkat çekmiştir. Uzman M1 ve M3, hastalıklar ile ilgili olan risklerden kontakt dermatite de mobilizasyon aşamasında robotik ile destek olunabilme potansiyelinin olabileceğini ifade etmiştir. Uzman M1 ve M3, genellikle ilgili hastalık tipinin malzemeye dokunma gibi sebeplerle ortaya çıkabileceği için, robotik ile el-kol gibi insan uzuvlarının yerini alabileceğinden, insandaki dokunma kaynaklı hastalık risklerinin de azaltabileceğini ifade etmiştir. İncelendiği kadarı ile güncel literatür, robotik teknolojisi ile mobilizasyon aşamasındaki İSG risklerinin doğrudan çözümüne yönelik öneriler konusunda eksik kalmış olsa da, çalışmalar mobilizasyon aşamasındaki risklere de çözüm sunabilir. Örneğin, Kurien ve diğ. (2018), robotik teknolojisi ile birlikte, çeşitli insan uzuvlarına yönelik robotik inşaat işçisi yapılabilmesini önermektedir. Böylece,

özellikle, el-kol gibi insan uzuvlarının, robotik teknolojisi ile yapılması, mobilizasyon aşamasında meydana gelebilecek, çeşitli cilt hastalıklarının önüne geçebilme potansiyeli olarak değerlendirilebilir.

Yapım aşamasına yönelik olarak önerilen model, Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1'den elde edilen bilgiler doğrultusunda, Şekil 5.5'te verilmiştir.

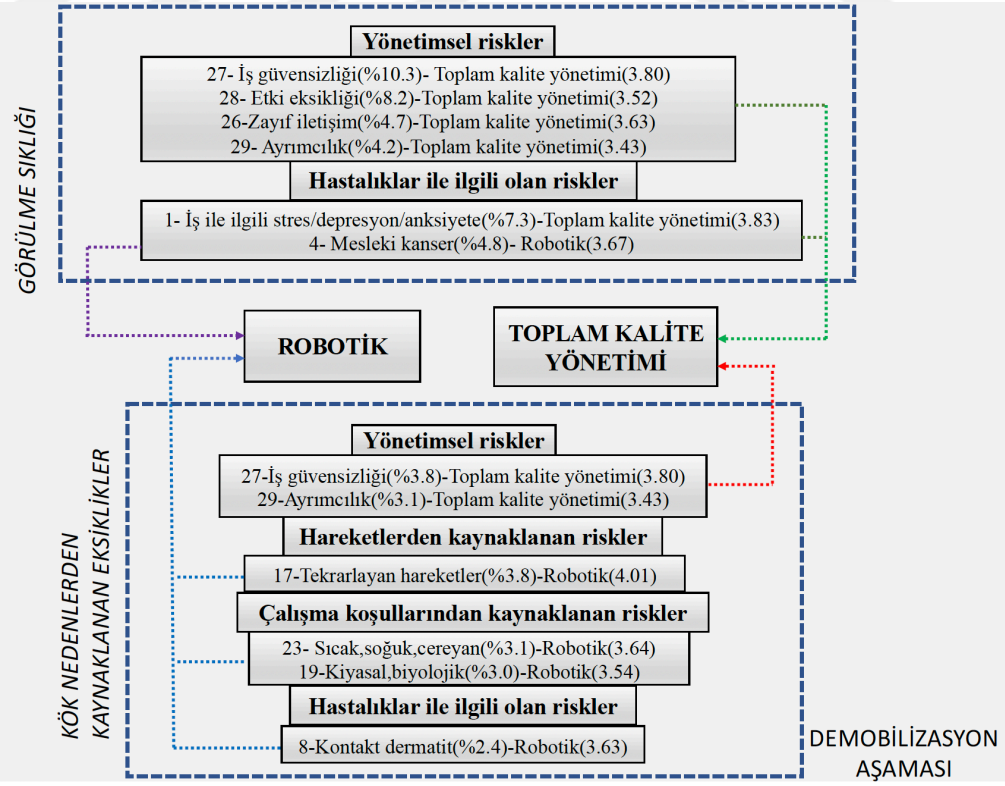


Şekil 5.5 : Yapım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.5'teki, oluşturulan öneri kavramsal modelin yapım aşamasında belirlenen odak grup riskler (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3) ve risklere çözüm olabilme potansiyeli olan E4T'ler ve GYY'ler (Şekil 4.5, Şekil 5.1) için uzman yorumları alınmıştır. Uzman M4, M5, M6, M7 şiddet içeren davranışlar gibi yönetimsel risklerin TKY ile çözülebilme potansiyeline vurgu yapmıştır. TKY'nin ve diğer yönetim yaklaşımlarının inşaat sektöründe her düzeyde uygulanması gerektiğinin altı çizilmiştir. Uzman M2, M5, M6, M7, M10 TKY nin temel felsefesinde bulunan ekip içi iletişim, sürekli iyileştirme gibi konuları da içinde bulunduracağından, İS paydaşlarının TKY eğitimi almasının, yönetimsel riskleri azaltabilme potansiyeline vurgu yapmıştır. Ayrıca uzman M1 ve M7, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları işçilerin genellikle yanlış

pozisyonda durma ya da vücudun belirli bir bölgesini yanlış hareket ettirme ile ilgili olduğundan robotlardan yardım alınmasının faydalı olabileceğine yönelik görüş bildirmiştir. Mevcut literatürün teknoloji kullanımını desteklediği görülmüştür. Örneğin, Mneymneh ve diğ. (2018), BGT kullanımı ile kask gibi çeşitli kişisel koruyucu ekipmanların şantiyelerde kullanımının denetlenebilirliği ile ilgili olarak BGT kullanımının faydasına dikkat çekmiştir. Ayrıca uzman M8, GT'lerin öneminden bahsetmiştir. Özellikle akıllı saat gibi GT'lerin, yüksekten düşme gibi riskleri azaltabilme potansiyelini vurgulamıştır. Uzman M8, örneğin kalp krizi geçirebilen bir işçinin akıllı saat ile tespit edildiği durumlarda, işçinin düşmesinin önüne geçilebileceğini ifade etmiştir. Güncel literatür de İS'de İSG için, yapım aşamasında GT'lerin kritik rolünün bulunma potansiyelini açığa çıkarmıştır. Örneğin, Bangaru ve diğ. (2020), çalışmasında, gürültüye uzun süreler maruz kalarak çalışan inşaat işçilerine yönelik kulak tıkaçlarının etkin kullanımının gerekliliğini vurgulamıştır.

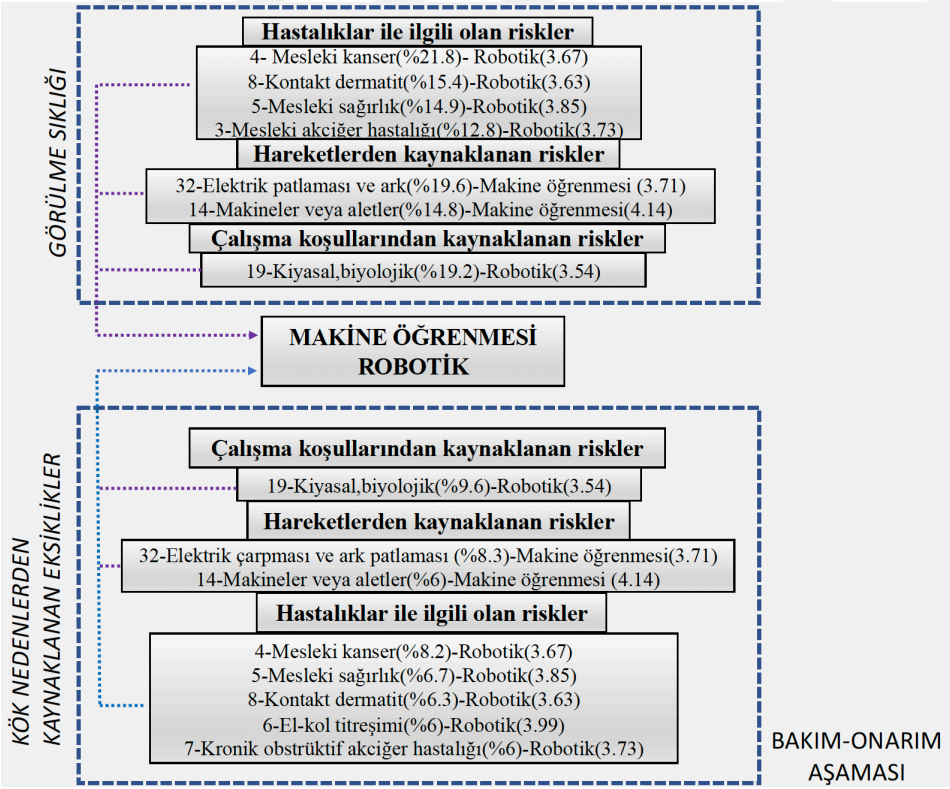
Yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde, diğer aşamalara benzer şekilde, oluşturulan öneri kavramsal modelin demobilizasyon aşamasına yönelik olarak modelin kurgusu Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1'den elde edilen bilgiler ile oluşturularak, Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 : Demobilizasyon aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.6'ya göre, oluşturulan öneri kavramsal modelin demobilizasyon aşamasında belirlenen odak grup riskler (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3) ve risklere çözüm olabilme potansiyeli olan E4T'ler ve GYY'ler (Şekil 4.5, Şekil 5.1) için uzman yorumları alınmıştır. Hastalıklar ile ilgili olan risklerden (Çizelge 5.1) mesleki kanser riskinin (4) (HSE, 2020) (Çizelge 2.1), robotik ile çözülebilme potansiyelinin en yüksek olduğu görülmüştür. Uzman M3 ve M7, mesleki kansere yakalanan işçilerin genellikle zehirli kimyasal gazlar, tozlar, asbeste maruz kaldığını ifade etmiş ve bu çalışma koşullarında bazı işlerin robotlara devredilmesi ile birlikte, işçilerin maruziyetinin azalabileceğini ve böylece mesleki kanser riskinin de azalabileceğini vurgulamıştır. Uzman M7, TKY'nin demobilizasyon aşamasında gerekliliğini özellikle vurgulamıştır. Çünkü, sahanın hangi ekipmandan başlanarak toplanmasının dahi bir sırasının olmasının gerekliliğine vurgu yapmıştır. Sahadaki karmaşıklığı azaltmanın, İSG risklerini de azalatabileceğine vurgu yapılmıştır.

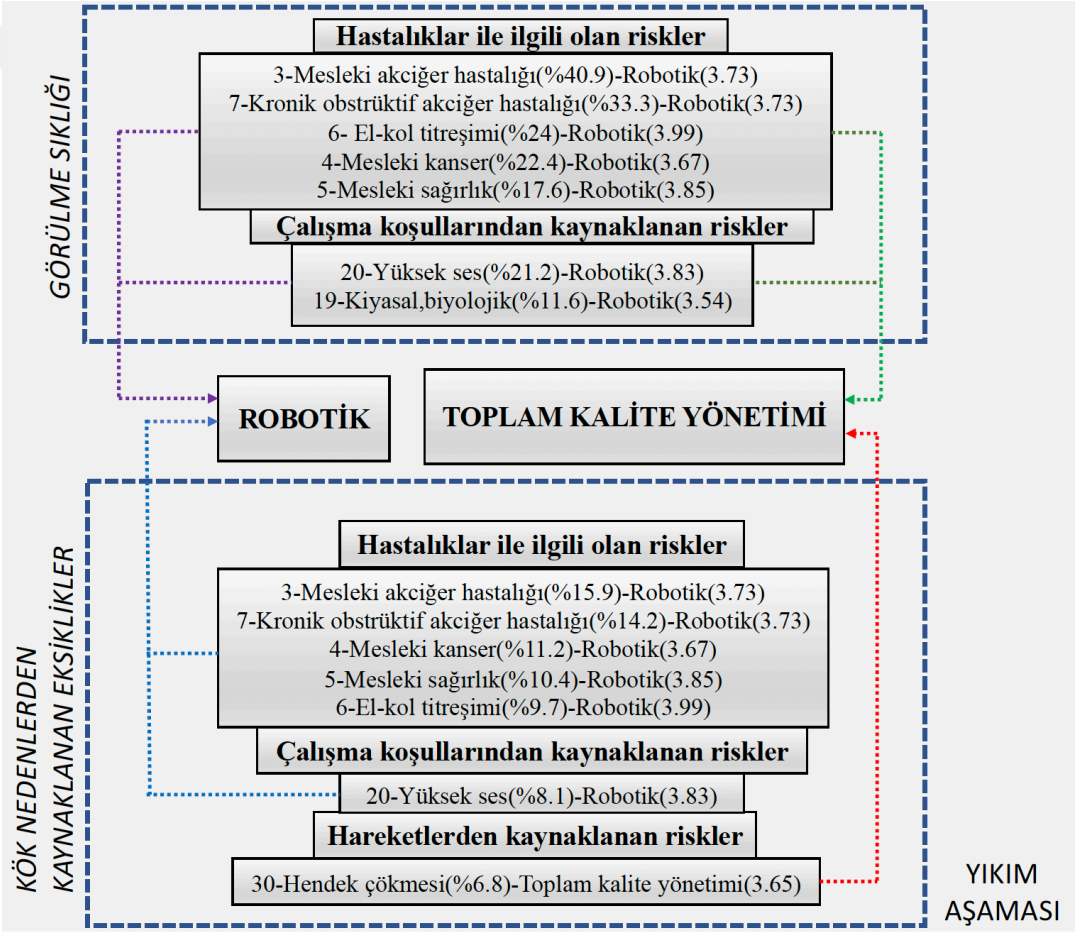
Yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde, diğer aşamalara benzer olarak, oluşturulan öneri kavramsal modelin bakım-onarım aşamasına yönelik modelin kurgusu, Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1'den elde edilen bilgiler ile Şekil 5.7'de oluşturulmuştur.



Şekil 5.7 : Bakım-onarım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

33 İSG riskinden (Çizelge 2.1), bakım-onarım aşamasında, 19 (çalışma koşullarından kaynaklanan riskler) (Çizelge 5.1) ve 32, 14 (hareketlerden kaynaklanan riskler) (Çizelge 5.1), 4,5,8,6,7 (hastalıklar ile ilgili olan riskler) (Çizelge 5.1), bakım onarım aşamasında yapılan eksiklerden (Şekil 4.1, Şekil 4.3) kaynaklandığı görülmüştür. Uzman M7, bakım-onarım iş kalemlerinin robotlara yaptırılmasının İSG risklerine yönelik olarak azalmayı da beraberinde getirebileceğini vurgulamıştır.

Yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde, diğer aşamalara benzer şekilde oluşturulan öneri kavramsal modelin yıkım aşamasına yönelik olarak modelin kurgusu, Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.'den elde edilen bilgiler ile Şekil 5.8'de oluşturulmuştur.



Şekil 5.8 : Yıkım aşamasına yönelik odak risk grupları ve anahtar E4T&GYY

Şekil 5.8'de görüldüğü üzere önerilen kavramsal modelin yıkım aşamasında hastalıklar (Çizelge 5.1) ile ilgili olan risklerin ön plana çıktığı ve bu risklerin de robotik teknolojisi ile çözülebileceği önerisi anket verilerinin önemli bulguları arasındadır. Uzman M3 ve M7, genellikle yıkım sırasında oluşabilecek zararlı

maddelerin hastalıklara sebebiyet verebileceğini vurgulamış ve bu aşamadaki çalışma koşullarının insan sağlığına verebileceği zarardan ötürü dijitalleşmesinin gerekliliğine dikkat çekmiştir. Ayrıca uzman M3, M5, M6 ve M7 tamamı ile insansız bir iş ortamı sağlanamayacağı için, TKY ile kontrollü bir şekilde robotların ve insanların iş programlarının yapılmasının gerekliliğine değinmiştir.

33 adet İSG riskini (Çizelge 2.1) en iyi çözebilecek anahtar teknolojilerin Robotik, TKY, BGT, MÖ, GT (Şekil 4.5) olduğu görülmüştür. Ayrıca, E4T&GYY'lerin ortalamasının 5'li *likert* ölçeğine göre ortalamasının 2.5 olduğu düşünüldüğünde, ortalama değerlerin 2.5'un üzerinde olması, E4T&GYY'nin İSG risklerine entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin yüksek olduğuna vurgu yapmaktadır (Şekil 4.5). Uzmanlar genel olarak belirtilen bulgular ile ilgili, kendi bireysel tecrübeleri ile örtüştüklerini ifade etmişlerdir. Robotik teknolojisi ile birlikte, özellikle riskli iş kalemlerinin robotlara yaptırılması gibi durumlarda, insanın zarar görebileceği İSG problemlerine yönelik önlem alabilme fırsatının doğabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, TKY'nin özellike yalın yönetim ve çevik yönetimden daha ön plana çıkmasını, İS profesyonelleri tarafından daha bilinir olmasına bağlamışlardır (Uzman M1, M2, M3, M5, M6, M7, M10). Uzman M1, M3, M7, M10, İS'de kalite birimlerinin bulunduğunu ve kalite birimleri ile İSG birimleri arasında her zaman olmasa da özellikle bazı firmalar için birlikte ve koordineli olarak çalışabilme fırsatlarının olduğunu ifade etmiştir. TKY'nin, İS'de İSG problemlerini çözebilmesine yönelik anket ve mülakat çalışmasının bulgularının, mevcut literatür çalışması ile de tutarlı olduğu görülmüştür. Örneğin, Tamimi ve diğ. (2017), İS'de İSG performansını arttırmanın bir yolu olarak TKY'nin kritik öneminin altını çizmiştir. GT'ler için ise, önceden İS'de özellikle E4T'lere karşı yaşanan direncin zamanla kırılmaya başlandığı ifade edilmiştir (uzman M8). Akıllı saatlerin kullanımının yaygınlaştığı ileri sürülmüştür (uzman M1 ve M8). Ayrıca *drone* teknolojisi ile şu anda genellikle işin belirli bir zaman dilimi için ilerlemesi ölçülse de bu teknolojiye İS'nin adapte olmaya başlamasının, İSG uygulamalarını da beraberinde getirebileceğine yönelik umut olduklarını ifade etmişlerdir (uzman M1, M2, M7 ve M8). Ayrıca, Uzman M1, M8, M10 COVID19 sonrasında, İS'de E4T'lerin kullanımının daha ileri bir noktaya geldiğine, bu durumun bir sonraki aşamada İSG faaliyetlerine de yansıyabileceğine dair umutlarını dile getirmiştir.

Şekil 5.9, tüm PYD boyunca öneri odak risk ve E4T&GYY'ler ile potansiyel entegrasyonuna grupları (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8) yönelik yol haritasını özetlemektedir. Uzman M1, M3 ve M7, PYD'de tüm fazların özetlendiği bir çıktının yol haritası olması dolayısı ile önemli bir işlev görebileceğinin altını çizmiştir.

		Hastalıklar ile ilgili olan riskler *(1,2,3,4,5,6,7,8)*	**Yönetimsel riskler** *(12,21,24,25,26,27,28,29)*	**Hareketlerden kaynaklanan riskler** *(9,10,11,13,14,15,16,17,18,22,30,31,32)*	**Çalışma koşullarından kaynaklanan riskler** *(19,20,23,33)*
Sözleşme-ihale aşaması	**Görülme sıklığı**	**1**(%11.3)-**Toplam Kalite Yönetimi**(3.83)	**21**(%43.2)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.72) **29**(%14.6)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.43) **28**(%13)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.52) **26**(%9.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.63) **27**(%7.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.80) **24**(%6.6)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.56)	-	-
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**1**(%39.7)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.83)	**21**(%56.6)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.72) **24**(%34.3)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.56) **25**(%28.8)- **Robotik** (3.52) **29**(%27.7)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.43) **27**(%24.2)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.80) **28**(%23.8)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.52)	-	-
Tasarım aşaması	**Görülme sıklığı**	**1**(%8.6)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.83)	**21**(%20.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.72) **26**(%13.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.63) **24**(%11.9)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.56) **25**(10.8)- **Robotik** (3.52) **28**(%7.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.52)	**22**(6.8)- **Robotik** (4.03)	-
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**2**(%35.9)- **Robotik** (4.11)	-	**22**(%31.3)- **Robotik** (4.03) **30**(%29.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.65) **31**(%28)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.55) **14**(%24.8)-**Makine Öğrenimi**(4.14)	**20** (%23.5)- **Robotik** (3.83) **23**(%23.3)- **Robotik** (3.64)
Mobilizasyon aşaması	**Görülme sıklığı**	**1**(%7.3)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.83)	**26**(%9.5)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.63 **29**(%7.6)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.43 **25**(%6.8)- **Robotik** (3.52)	**16**(%13.3)- **Makine Öğrenimi** (4.00) **11**(%12.1)- **Makine Öğrenimi** (3.89) **10**(%8.7)- **Robotik** (4.00)	-
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**8**(%7.9)- **Robotik** (3.63)	**26**(%8.8)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.63)	**16**(%14.8)- **Makine Öğrenimi** (4.00) 10(%13.5)- **Robotik** (4.00) **11**(12.7)- **Makine Öğrenimi** (3.89) **15**(%11.3)- **Robotik** (4.00) **9**(%9.7)- **Bilgisayar ile Görme Teknolojileri** (3.63)	-

Şekil 5.9 : İPYD öneri odak risk grupları ve E4T ve GYY'ler ile potansiyel entegrasyonuna yönelik yol haritası

		Hastalıklar ile ilgili olan riskler *(1,2,3,4,5,6,7,8)*	**Yönetimsel riskler** *(12,21,24,25,26,27,28,29)*	**Hareketlerden kaynaklanan riskler** *(9,10,11,13,14,15,16,17,18,22,30,31,32)*	**Çalışma koşullarından kaynaklanan riskler** *(19,20,23,33)*
Yapım aşaması	**Görülme sıklığı**	**2**(%79.9)- **Robotik** (4.11)	**12**(%81)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.39)	**13**(%89.4)- **Giyilebilir teknolojiler** (3.72) **18**(%87.9)- **Robotik** (3.59) **31**(%85.9)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.55) **9**(%83.1)- **Bilgisayar ile Görme Teknolojileri** (3.63) **30**(%82.3)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.65)	-
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	-	**12**(%66.7)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.39) **33**(%64.2)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.79)	**18**(%66.7)- **Robotik** (3.59) **13**(%65.2)-GT(3.72) **9**(%59.7)- **Bilgisayar ile Görme Teknolojileri** (3.63) **17**(%59.2)- **Robotik** (4.01) **11**(%59.00)- **Makine Öğrenimi** (3.89)	-
Demobilizasyon aşaması	**Görülme sıklığı**	**1**(%7.3)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.83) **4**(%4.8)- **Robotik** (3.67)	**27**(%10.3)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.80) **28**(%8.2)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.52) **26**(%4.7)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.63) **29**(%4.2)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.43)	-	-
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**8**(%2.4)- **Robotik** (3.63)	**27**(%3.8)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.80) **29**(%3.1)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.43)	**17**(%3.8)- **Robotik** (4.01)	**23**(%3.1)- **Robotik** (3.64) **19**(%3)- **Robotik** (3.54)
Bakım-Onarım aşaması	**Görülme sıklığı**	**4**(%21.8)- **Robotik** (3.67) **8**(%15.4)- **Robotik** (3.63) **5**(%14.9)- **Robotik** (3.85) **3**(%12.8)- **Robotik** (3.73)	-	**32**(%19.6)- **Makine Öğrenimi** (3.71) **14**(%14.8)- **Makine Öğrenimi** (4.14)	**19**(%19.2)- **Robotik** (3.54)
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**4**(%8.2)- **Robotik** (3.67) **5**(%6.7)- **Robotik** (3.85) **8**(%6.3)- **Robotik** (3.63) **6**(%6)- **Robotik** (3.99) **7**(%6)- **Robotik** (3.73)	-	**32**(%8.3)- **Makine Öğrenimi**(3.71) **14**(%6)- **Makine Öğrenimi** (4.14)	**19**(%9.6)- **Robotik** (3.54)
Yıkım aşaması	**Görülme sıklığı**	**3**(%40.9)- **Robotik**(3.73) **7**(%33.3)- **Robotik** (3.73 **6**(%24)- **Robotik** (3.99) **4**(%22.4)- **Robotik** (3.67) **5**(%17.6)- **Robotik** (3.85)	-	-	**20**(%21.2)- **Robotik** (3.83) **19**(%11.6)- **Robotik** (3.54)
	Kök nedenlerde yapılan eksiklik	**3**(%15.9)- **Robotik** (3.73) **7**(%14.2)- **Robotik** (3.73 **4**(%11.2)- **Robotik** (3.67) **5**(%10.4)- **Robotik** (3.85) **6**(%9.7)- **Robotik** (3.99)	-	**30**(%6.8)- **Toplam Kalite Yönetimi** (3.65)	**20**(%8.1)- **Robotik** (3.83)

Şekil 5.9 (devamı) : İPYD öneri odak risk grupları ve E4T ve GYY'ler ile potansiyel entegrasyonuna yönelik yol haritası

Şekil 5.9'de özetlenen öneri yol haritası, grupları (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8)'den elde edilen bilgiler ile birlikte aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Sözleşme-ihale aşamasında, hastalıklar ile ilgili olan risklerden en çok 1 numaralı olan riske (iş ile ilgili stres, depresyon veya anksiyete) (HSE, 2020) odaklanılması gerektiği ve bu riskin çözülebilme potansiyeli olan en uygun GYY'nin TKY olabileceği önerilmektedir (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8). Özellikle iş ile ilgili strese bağlı olan problemlerin çözümünde TKY'nın etkin bir rol oynayabileceği görülmüştür. Çünkü TKY felsefesi, sürece odaklanır ve süreç içerisindeki her bir problem iyileştirildiğinde sonucun da iyileşebileceğini (Tamimi, 2017) söyler. O nedenle çalışanlar üzerindeki baskıyı azaltabilme potansiyeli bulunacağından bu risk özelinde TKY uygulanması, problemi iyileştirebilme potansiyeli taşıyabilir. Aynı zamanda yönetimsel risklerin de her birinin TKY ile çözülebilme potansiyeli bulundurması önemli bir bulgudur. Benzer şekilde, Tamimi ve diğ. (2017)'ın İSG risklerinin TKY ile çözülebilme potansiyeline vurgu yaptığı incelenen literatürde görülmüştür. Süreçler iyileştirdiğinde, çalışmanın bütünü iyileşebileceğinden TKY bu yönü ile iyi bir potansiyel sunabilir. Ayrıca riskler özelinde düşünülmediğinde tüm İSG problemleri ile bütüncül düşünüldüğünde de yine bu faz için en uygun çözüm potansiyelinin TKY olabilmesi anlamlıdır. Ayrıca, sözleşme ihale aşamasında, hareketlerden ve çalışma koşullarından kaynaklanan risklere, hastalıklar ile ilgili olan ve yönetimsel risklere kıyasla daha az odaklanılmasına ihtiyaç olduğu söylenebilir (Şekil 5.9).

Şekil 5.9'da görüldüğü üzere, tasarım aşamasında, hastalıklar ile ilgili olan risklerden 1 numaralı riskin (İş ile ilgili stres, depresyon veya anksiyete) (HSE, 2020) görülme sıklığı en yüksek olduğundan (Şekil 4.1), ilgili risk gurubuna ve riski çözebilme potansiyelini en yüksek olduğu çalışma kapsamında elde edilen (Şekil 4.5) TKY'ye odaklanılması önerilmiştir. Ayrıca hastalıklar ile ilgili risklerden (Çizelge 5.1), 2 numaralı riskin (İş ile ilgili kas/iskelet sistemi rahatsızlıkları) (HSE, 2020) kök nedenlerinin tasarım aşamasında yapılan eksiklerden kaynaklandığı görüldüğünden, ilgili riski robotik ile çözebilmeye yönelik çalışmaların geliştirilmesine yönelik stratejiler kurgulanması önerilmektedir. Tasarım aşamasında görülme sıklığı en

yüksek olan (Şekil 4.1) yönetimsel risklerden (Çizelge 5.1) 21, 26, 24 ve 28 numaralı risklerin TKY ile çözümüne odaklanılması (Şekil 4.5) ve 25 numaralı riskin (uzun/düzensiz saatler) (HSE, 2020) ise robotik teknolojisi ile çözümüne odaklanılması, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik katkı sağlayabilir. Yol haritasında, Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8'den elde edilen bilgiler ile belirlenen diğer fazlar da benzer şekilde, Şekil 5.9'dan okunabilir.

Ayrıca, tüm bulgular birleştirildiğinde, her bir aşamadaki riskler (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8) ve riskleri önleyebilme potansiyeli olan E4T&GYY'lere (Şekil 4.5) ilişkin stratejiler göz önünde bulundurularak, firmalar ilgili projelerindeki İSG4.0 olgunluklarını ölçebilir (Uzman M2, M3 ve M7).

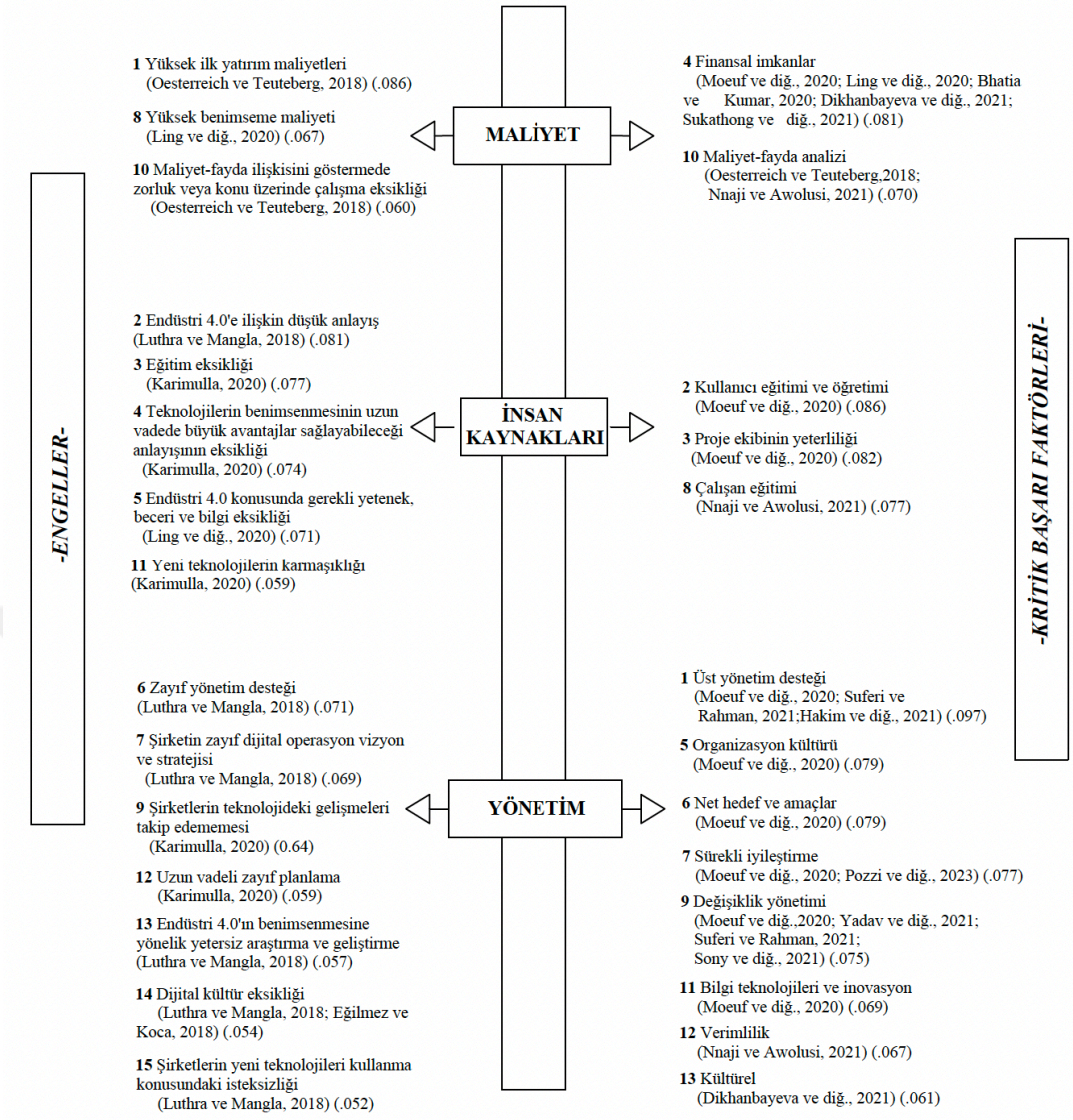
Uzmanlar, anket çalışmasının verilerine yönelik bulguların (bölüm 4.1 &4.3), İS'deki İSG problemlerini çözebilmek için değerli bir girdi olabileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle PYD'nin tümünün bir arada değerlendirilmesi, hem fazların ve risklerin özelinde hem de tümünün bütüncül bir şekilde ele alınmasında fayda sağayabileceğini belirtmişlerdir. Genellikle firmaların ve organizasyonların tüm teknolojieri aynı ölçüde tanımayabileceklerini bildirmişlerdir (uzman M1, M3 ve M7). Tüm bu nedenlerden dolayı, hangi E4T&GYY'nin hangi fazda ve hangi riskler özelinde (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8) İSG problemlerini çözmeye yönelik daha faydalı olabileceğinin bilinmesinin, yatırımcıların, inşaat şirketi sahiplerinin, politikacıların da ilgisini çekebileceğini ve alacakları kararlarda doğru yönlendirmeler yapabileceklerini ifade etmişlerdir (Uzman M2, M3 ve M7). Uzman M2 ve M7, özellikle maliyetler ile ilgili konuların öneminden dolayı, herhangi bir teknolojiye yatırım yapmadan önce, o teknolojinin hangi riskler özelinde ve PYD'nin hangi fazında daha çok fayda sağlayabileceğinin bilinmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır. Bu bağlamda, Uzman M1, M2, M3 ve M7, ilgili bilgilerin doğru teknoloji yatırımı kararları alınabilmesinde fayda sağlayabileceğine yönelik görüş bildirmişlerdir. E4T'lerin her birinin, birbirleri ile dinamik etkisinin de bir arada düşünülmesi gerekliliğine dikkat çekmişlerdir. İSG problemlerinin çözümü için tek bir paydaşın değil, tüm işbirliklerinin geliştirilmesinin, disiplinlerarası yaklaşımların oldukça kritik bir gereklilik olduğunu ifade etmişlerdir. Uzmanlar genel olarak, akademisyenler ile,

sektör profesyonellerinin çalışma alanlarından ve koşullarından kaynaklı olarak birbirlerini tamamlamaları gereken noktalar olduğunu, belirli risklerin akademisyenler, belirli risklerin ise sektör profesyonelleri tarafından daha etkin bir şekilde önceden görülebileceğini ifade etmişlerdir. Örneğin, bazı riskler sahada çalışanların doğrudan ve sürekli olarak deneyimlediği riskler olabileceği ve kötü sonuçları ile bizzat kendileri ilgilenmek zorunda kaldıkları için ise saha çalışanlarının o risklere ve risklerin kaynaklarına daha hakim olabileceğine yönelik yorum yapmışlardır (Uzman M1, M2, M6, M7). Bu nedenle uzman M1, M2, M3 ve M7 sektör ve akademi çalışanlarının birbirlerinden kopuk olmamaları ve birbirlerini bütünleyici şekilde çalışmalar yapmaları gerekliliği üzerinde durmuştur. Anket sonuçlarının tüm bu nedenlerden dolayı, sektör ve akademi işbirlikleri için hangi noktalarda ve hangi riskler bazında ele alınabileceğinin, belirtilen bulgular doğrultusunda düşünülmesi önerilmektedir.

5.2 Engeller ve Kritik Başarı Faktörlerine Yönelik Bulguların Tartışılması

Uzmanlar, İS'de İSG4.0 için engelleri ve KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan, birbirine paralel olarak yürütülen ve her biri dört turdan oluşan delphi çalışmalarının sonucunda, kriterlerin maliyet, yönetim ve İK ile ilişkili olabileceği konusunda ortak yorumda bulunmuşlardır. Şekil 5.10, engeller ve KBF'lere yönelik bulguların bir arada ele alınarak tartışmasını içermektedir. Engeller ve KBF'lere yönelik bulguların tartışılması, bu tez çalışması kapsamında yapılan (Erusta & Sertyeşilışık, 2025) araştırma makalesinden alınmıştır.

Şekil 5.10, bu tez çalışması kapsamında yayınlanmak üzere kabul edilen araştırma makalesinden adapte edilmiştir.



Şekil 5.10 : Engeller ve KBF'lerin bulgularının tartışılması (Erusta&Sertyeşilışık, yayına kabul edilmiş makaleden adapte edilmiştir)

Bu tez çalışması kapsamında yapılan araştırma makalesi Erusta & Sertyeşilışık (yayına kabul edilmiş makale)'den alınarak özetlendiği üzere, Şekil 5.10'a göre, engeller ile ilgili kriterlerden 1, 8 ve 10, KBF'ler ile ilgili kriterlerden ise 4 ve 10'un maliyet ile ilgili olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.10). İK ile ilgili olan kriterlerden 2, 3, 4, 5 ve 11 engeller ile ilgili iken, 2, 3. ve 8'in ise KBF'ler ile ilgili olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.10). ayrıca yönetim ile ilgili olan kriterlerden 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15 engeller ile ilgili iken, 1, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13 ise KBF'lerdir. Mülakat çalışması sırasında uzmanlar, maliyet ile ilgili konuların, özellikle üst yönetimin kararlarını oldukça etkilediğini, yatırım maliyetleri ile ilgili problemlerin işverenlerin teknolojileri firmalarına adapte etme konusundaki isteksizliğine sebep olabileceğinin altını çizmişlerdir.

İnsan kaynakları ile ilgili kriterlerden 2, 3, 4, 5 ve 11 engellerken, kriter 2, 3 ve 8 KBF'ler olarak belirlenmiştir. Örneğin, Eigege ve diğ.(2020) ve Karimulla (2020), E4'ün benimsenmesinin önündeki engeller arasında personelin yetersiz eğitiminini vurgulamıştır. Dikhanbayeva ve diğ. (2021) ise, hükümetler, şirketler ve üniversite işbirliklerinin olan ihtiyacı, uzmanların yetiştirilmesi yönü ile öneminie değinmiştir. Mülakat çalışması sırasında uzmanlar, engeller ve KBF'lerin İK ile ilgili olduğunu doğrulamışlardır.

Yönetim ile ilgili kriterlerden 6, 7, 12, 14, 15 engellerken, 1, 5, 6, 7, 11, 12 ve 13 KBF olarak belirlenmiştir. Pozzi ve diğ.(2023), E4'e dair fırsat gibi faktörlerin bilinmesinin yöneticilerin E4T'leri benimsemesine destek olabilme potansiyeline dikkat çekmiştir. Mülakat çalışması sırasında uzmanlar, engeller ve KBF'lerin yönetim ile ilgili olduğunu doğrulamışlardır (Şekil 4.12, Şekil 4.14, Şekil 4.15).

5.3 Yeterliliklere Yönelik Bulguların Tartışılması

Her biri dört turdan oluşan delphi çalışmasının ilk kısmı İS'de İSG 4.0 için yeterliliklerin belirlenmesine odaklanırken, ikinci kısmı ise zeka tiplerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Dört turun sonunda belirlenen kriterler, teknik yeterlilikler (bilgi teknolojileri güvenliğini anlama, teknik beceriler, analitik beceriler), metodolojik (yaratıcılık, inovasyon tabanlı yaratıcılık, problem çözme), sosyal ve kişisel (ekip içinde çalışabilmek, liderlik becerileri), yönetsel (maliyet yönetimi, risk yönetimi, sağlık ve güvenlik yönetimi) olmak üzere dört temel başlık altında sınıflandırılmıştır. Zeka tipleri belirlenirken ise, müzik zekasına uzmanların verdikleri puan ortalamasının düşük olması dolayısı ile ilgili zeka tipi elenmiştir. İki farklı yeni zeka türü (empati, iletişim&açık görüşlülük zekası) uzmanlar tarafından önerilmiş ve eklenmiştir. Mülakat çalışması sırasında uzmanlar, belirlenen yeterlilikler ve zeka tiplerinin birbirleri ile dinamik ilişkilerine yönelik olarak görüşlerini iletmişlerdir (Şekil 4.15)'te açıklamıştır. Mülakat çalışması sırasında, ortaya çıkan bulguları, güncel literatür de desteklemektedir. Örneğin, Fung ve diğ. (2010), İS'de İSG risk yönetimi için risk değerlendirmelerinin önemine dikkat çekmiştir. Gündüz ve Laitinen (2018), İS'de risk değerlendirme prosedürlerinin basitleştirilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. İS'de İSG 4.0 için E4T'leri iyi bilmek ve hangi E4T'nin hangi riskleri çözebilme potansiyeline yönelik öneri sunmak önemli olmaktadır. Örneğin, bir İSG profesyoneli bir İSG problemini fark edip uygun E4T'ler ile uygun çözüm önerilerin,

sunabildiğinde, birçok riski de proaktif olarak önleyebilmektedir. Sunindijo ve Zou (2011), İSG'deki teknik becerilerin, İS'de İSG'yi sağlayabilmek için gereken temel becerilerden biri olduğunu ifade etmiştir. Uzmanlar, iletişim ve açık fikirlilik zekâsını, DÇ'lerin sonucunda eklemiş ve mülakat çalışması sırasında uzmanlar eklenen zeka tipinin gerekliliği ve önemine dikkat çekmiştir. Störmer ve diğ. (2014), yönetim, problem çözme gibi etkileşim içeren becerilere sahip çalışanlara, teknolojilerdeki yenilikler ile birlikte şirketlerin İK'larındaki artacak ihtiyaca dikkat çekmiştir. Uzmanlar, mülakat çalışması sırasında İSG çalışanlarının, yalnızca teknik becerilere sahip olmasının yeterli olmayacağını, yakın gelecekte iletişim, sosyal, açık fikirlilik ve empati yeteneklerini ile bütüncül bir beceri setine ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır. Ribeiro ve diğ. (2021), iletişim beerileri, bilgi paylaşımı, karar alma, problem çözme gibi becerilerin önemine dikkat çekmiştir. Pratheesh ve Khalid (2024), etkin iletişimin profesyoneller için hayati bir yetkinlik olduğunu vurgulamıştır. Uzmanlar, İSG problemlerini çözebilmek için öncelikle problemi anlama ve probleme uygun metodolojik yaklaşımları geliştirebilmenin önemine dikkat çekmişlerdir. Shahhosseini ve Sebt (2011), İK politikalarının İS'de ilgili projelerin gereksinimlerine uygun olarak nitelikli ekibi işe alma avantajını beraberinde getirebileceğini ve böylece çalışmalarında zaman kayıplarının ve gizli maliyetlerin de azalabileceğine vurgu yapmıştır. Uzmanlar, mülakat çalışması sırasında, İS'de İSG 4.0 için belirlenen kritik yeterlilik ve zeka türlerinin benzer şekilde İK'nın işe alım süreçlerine entegre edilebilmesi ile uygun nitelikteki İK'ların projelere atanabilmesi yönünde destekleyici görüş bildirmişlerdir (Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18).

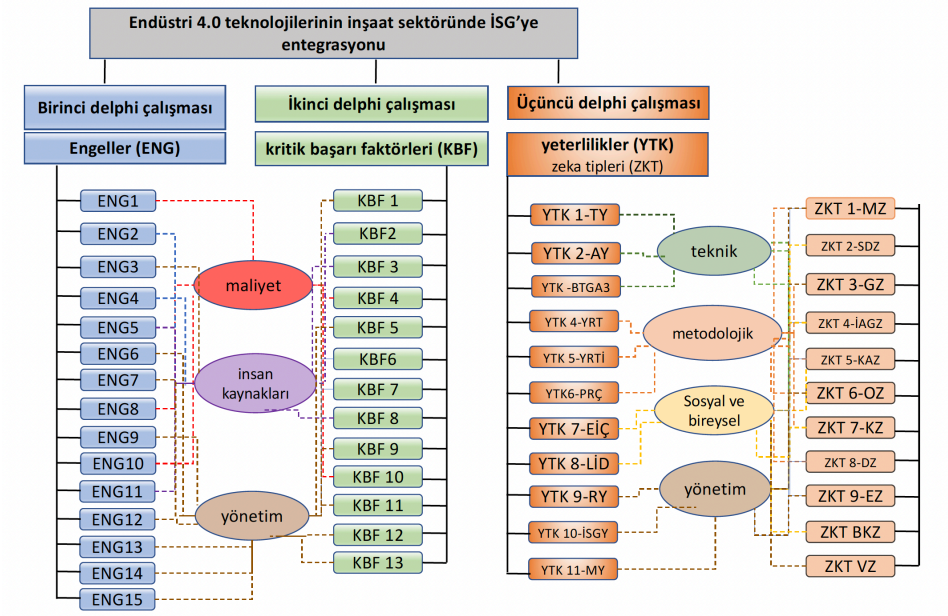
Şekil 5.11, İS'de İSG4.0 içi belirlenen engeller, KBF'ler, yetkinlik ve zeka tiplerine yönelik olarak yapılan delphi çalışmaları sonucunda kalan kriterlere ve kritlerlerin birbirleri ile olan etkileşimini özetlemektedir.

Şekil 5.11'de birinci delphi çalışması ile odaklanan engel faktörlerinin 15 tanesi sırası ile Şekil 4.15'te verilen DÇ'nin engel faktörlerine karşılık gelmektedir. Şekil 5.11'de verilen "ENG1" ifadesi, Şekil 4.15'te verilen birinci engele karşılık gelmekte olup, benzer şekilde sırası ile on beşinci engele kadar "ENG15" olarak devam etmektedir.

Şekil 5.11'de ikinci delphi çalışması ile belirlenen odak KBF'lerin 13 tanesi sırası ile Şekil 4.15'te verilen DÇ'nin KBF'lerine karşılık gelmektedir. Şekil 5.11'de verilen "KBF1" ifadesi, Şekil 4.20'de verilen birinci KBF'ye karşılık gelmekte olup, benzer şekilde sırası ile on üçüncü KBF'ye kadar "KBF13" olarak devam etmektedir.

Şekil 5.11'de verilen üçüncü delphi çalışması ile belirlenen odak grup yeterlilikler ve zeka tipleri, Şekil 4.19'de detaylı olarak verilmiştir. Şekil 5.11'de üçüncü delphi çalışması başlığı altında verilen yeterlilikler, yukarıdan aşağıya doğru Şekil 4.19'da yukarıdan aşağıya doğru olarak verilen yeterlilikler ile sırası ile eşleşmektedir. Şekil 5.11'de görüldüğü üzere YTK1-TY (yeterlilik, teknik beceriler)'i, YTK 2-AY (analitik beceriler), YTK-BGTA3 (Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak), YTK4-YRT, yaratıcılık, YTK5-YRTİ (İnovasyon tabanlı yaratıclık), YTK6-PRÇ (problem çözümü), YTK7-EİÇ (bir takım/ekip içinde çalışabilmek), YTK8-LİD (liderlik becerileri), YTK9-RY (risk yönetimi), YTK-İSGY (İSG yönetimi), YTK 11-MY (maliyet yönetimi)'ni ifade etmektedir.

Şekil 4.19'da soldan sağa doğru sırası ile ilerleyen zeka tipleri ise Şekil 5.11'deki zeka tipleri (Gardner, 1983) sırası ile yukarıdan aşağıya doğru eşleşmektedir. Şekil 5.11'de verilen ZKT1-MZ (zeka tipi, matematiksel zeka) (Gardner, 1983), ZKT2-SÖZ (sözel-dilsel zeka) (Gardner, 1983), ZKT3-GZ (Uzamsal-görsel zeka) (Gardner, 1983), ZKT4-İAGZ (iletişim&açıkgörüşlülük zekası) (katılımcılar tarafından önerilen), ZKT5-KAZ (kişilerarası zeka) (Gardner, 1983), ZKT6-OZ (okuma zekası) (Duygulu, 2011), ZKT7- KZ (kişisel, içsel zeka) (Gardner, 1983), ZKT8-DZ (doğa zekası) (Gardner, 1999), ZKT9-EZ (empati zekası) (katılımcılar tarafından önerilen), ZKT-BKZ (bedensel-kinestetik zeka) (Gardner, 1983), ZKT-VZ (varoluşsal zeka) (Gardner, 1999)'yı ifade etmektedir.



Şekil 5.11 : E4T'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu (engeller, KBF'ler, yeterlilikler)

Şekil 5.11, İS'de İSG4.0 için delphi çalışmaları sonucunda belirlenen kriterlerin (Şekil 4.15, Şekil 4.19) birbirleri ile ilişki içinde olduğunu göstermektedir. Örneğin, 1, 8, 10 numaralı engel maliyet ile ilişkili iken, aynı zamanda 4 ve 9 numaralı KBF'ler de maliyet ile ilişkilidir (Şekil 5.11). Diğer taraftann 2, 3, 4, 5 ve 11 numaralı engeller İK ile ilişkili iken 2, 3 ve 8 numaralı KBF'lerin de İK ile ilişkili oldukları görülmektedir (Şekil 5.11). 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15 numaralı engeller, yönetim ile ilişkili iken, 1, 5, 6, 7, 11, 12 ve 13 numaralı KBF'ler de yönetim ile ilişkilidir (Şekil 5.11). Engeller ve KBF'lerin maliyet, İK ve yönetim perspektifinden bir arada düşünülmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Şekil 5.11). Ayrıca tüm çalışmaların sonuçları, yönetimin, İK'nın ve maliyetin önemini ve birbirleri ile olan dinamik etkisini vurgulamıştır. Örneğin, maliyete yönelik engel ve KBF'nin, çoğu zaman üst yönetimin bir kararı olarak ortaya çıktığı görülebilmekte ve bu durum, maliyet ve yönetimin birbirlerinden ayrı düşünülemeyeceğini ve birbirlerini dinamik olarak etkilediklerini göstermektedir. Benzer şekilde, İK, şirketlerin insan kaynağına yönelik (örneğin; çalışanlara yeni çıkan bir teknoloji konusunda eğitim eğitim verilmesi, yeni başlayan çalışanlara başlangıç ve adaptasyon eğitimleri verilmesi gibi) gelişimin gerekliliğini desteklemektedir. İK'nın belirtilen talepleri, yeni bir maliyet kalemi olarak değerlendirilebileceğinden, maliyet ile ilgili faktörleri de dinamik olarak etkileyebilmektedir. Öngörülen eğitim giderlerinin, ayrıca üst yönetimin desteğini de gerektirmesi gerekliliği, yönetim, iK ve maliyet faktörlerinin birbirleri ile dinamik etkileşimini de ortaya koymaktadır. İS'de İSG 4.0 için, İSG uzmanalrının yeterliliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmada, belirlenen odak grup kriterlerin teknik, metodolojik, sosyal ve bireysel ve yönetim olmak üzere İK literatürüne uygun olarak gruplanabileceği görülmüştür (Şekil 5.11). Aynı zamanda belirlenen yeterliliklerin, belirtilen bu dört kategori altında, zeka tipleri ile de ilişkisinin bulunduğu görülmüştür (Şekil 5.11). Örneğin, İKY 4.0 tabanlı teknik yeterlilikler, teknik beceriler, analitik beceriler, bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak yeterlilik faktörleri ile ilişkili iken, İKY 4.0 tabanlı metodolojik yeterlilikler, yaratıcılık, inovasyon tabanlı yaratıcılık, problem çözümü gibi yeterlilik faktörleri ile ilişkilidir. İKY4.0 tabanlı sosyal ve bireysel yeterlilikler, bir takım içinde çalışabilmek ve liderlik becerileri ile ilişkili iken, İKY 4.0 tabanlı yönetimsel yeterliliklerin, risk yönetimi, İSG yönetimi, maliyet yönetimi ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Şekil 5.11). Şekil 5.11'de görüldüğü üzere, teknik beceriler, İKY 4.0 tabanlı teknik yeterlilikler altında gruplandırılan, teknik beceriler ve analitik beceriler, aynı zamanda matematiksel zeka, uzamsal-görsel zeka, okuma zekası ile de büyük ölçüde doğrudan

ilişkilidir (Şekil 5.11). İKY 4.0 tabanlı İS'de İSG4.0 adaptasyonu için, profesyonellerde bulunması gereken yeterlilikler ve zeka tiplerine yönelik ilişkiler ortaya çıkarılmaktadır.

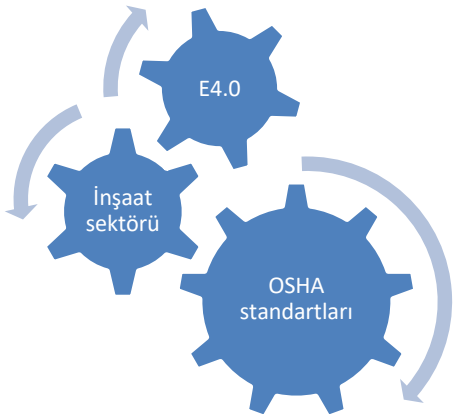
5.4 OSHA Standartlarına Yönelik Bulguların Tartışılması

OSHA standartlarının E4T'lere entegre olarak İSG problemlerini çözebilmesi ile ilgili olarak, (EK A, 8)'de verildiği üzere, anket çalışması yapılmıştır. Anket bulguları, belirlenen standartların tümüne E4T'lerin entegre olarak, İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin olabileceğini doğrulamıştır.

OSHA standartları üzerine yapılan çalışmalar (örn. Choe ve diğ. 2016; Malaby, 2016) genellikle tek bir standarda veya standartların içeriğine odaklanmıştır. Her bir E4T'yi ayrıntılı olarak inceleyen ve E4T'nin her bir standarda ilişkin etkin entegrasyonuna odaklanan çalışmalara literatürde ihtiyaç bulunmaktadır. Örneğin, Tepe (2021), OSHAS'a özel olarak odaklanan çalışmalara olan mevcut literatür konusundaki ihtiyacı vurgulamıştır.

Bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan, 10 OSHAS'ın E4T'ler ile entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelinin değerlendirildiği çalışmada kapsamında en yüksek ortalama değer 4,43 alırken, en düşük ortalama değer 4,00 almıştır. Çalışmanın 5'li *Likert* ölçeğinde yapıldığı düşünüldüğünde, bu durum en düşük ortalama değer alan standardın dahi entegrasyon potansiyeli açısından iyi durumda olduğunu ifade etmektedir.

Şekil 5.13, OSHAS, E4T ve İS'nin bütüncül bir şekilde ele alınması ve standartlar ile E4T entegrasyonunun yeniden düşünülmesi gerekliliğine dikkat çekmektedir. Şekil 5.12, bu doktora tez çalışması kapsamında yayınlanan bildiri, Erusta ve Sertyeşilışık, (2022)'den alınmıştır.



Şekil 5.12 : OSHA Standartları, E4T'ler ve İS arasındaki ilişki (Erusta ve Sertyeşilışık, 2022)

Şekil 5.12, bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan bildiriden (Erusta ve Sertyeşilışık, 2022) olup, ilgili şekil, İS'de E4T ile entegre OSHAS'ın, İS'nin sürdürülebilirliğine katkıda bulunduğunu ifade etmektedir. Örneğin, E4T ile entegre OSHAS, işçi ölümlerinin ve yaralanmalarının ve ilgili tazminatların azaltılmasına/ortadan kaldırılmasına; ve kazaların ve ramakkala olayların azaltılmasına katkıda bulunabilir. İS'nin neredeyse tüm ülkelerde kalkınmadaki önemi göz önüne alındığında, E4T entegre ve OSHAS'ın İS ve sürdürülebilir kalkınmadaki etkinliğini kapsayan potansiyel desteğinin önemi vurgulanmaktadır. İS'da E4T ile entegre OSHAS'a uyum, birçok potansiyel nedenden dolayı (örneğin, ilk yatırım ve eğitim maliyetleri) maliyetli olarak algılansa bile, uzun vadede ekonomik bir fayda sağlama avantajına sahip olabilir ve şirketlerin çağa ayak uydurmasını ve İS'deki mevcut duruma uyum sağlamasını destekleyebilir. İS'de yalın yönetimin, kazaların ve ramakkala olayların ortadan kaldırılması/en aza indirilmesi beklenebileceğinden, E4T ve İSGS'nin entegrasyonu yolu ile desteklenme potansiyeli olabilir (Erusta & Sertyesilisik, 2019).

5.5 Oluşturulan Kavramsal Modelin Olgunluk Modelleri ile Entegrasyonuna Yönelik Bulguların Tartışılması

Tüm bulgular birleştirildikten sonra oluşturulan kavramsal model, uzmanlarca doğrulanmıştır. Oluşturulan kavramsal modelin olgunluk modelleri ile entegrasyonu ile oluşturulan İS'de İSG4.0 için olgunluk modeli, Şekil 5.13'de verilmiştir.

Şekil 5.13'te verilen öneri olgunluk modelinde görüldüğü üzere, "engeller" başlığı altındaki kriterler, birinci delphi çalışmasının bulgularını içermektedir (Şekil 4.15). Şekil 5.13'te verilen öneri olgunluk modelinde görüldüğü üzere, "KBF'ler" başlığı altındaki kriterler, ikinci delphi çalışmasının bulgularını içermektedir (Şekil 4.15). Şekil 5.13'te verilen öneri olgunluk modelinde görüldüğü üzere, "yeterlilikler" başlığı altındaki kriterler, üçüncü delphi çalışmasının ilk kısım bulgularını içermektedir (Şekil 4.16 & Şekil 4.18). Şekil 5.13'te verilen öneri olgunluk modelinde görüldüğü üzere, "zeka tipleri" başlığı altındaki kriterler, üçüncü delphi çalışmasının ikinci kısım bulgularını içermektedir (Şekil 4.17 & Şekil 4.18). Şekil 5.13'te verilen öneri olgunluk modelinde görüldüğü üzere, "tüm PYD boyunca odak grup İSG riskleri ve riskleri çözebilme potansiyeline yönelik anahtar E4T&GYY'ler" başlığı altındaki kriterler ise anket çalışmasına yönelik bulguları (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.2, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8) içermektedir.

Öneri İSG4.0 için Olgunluk Modeli							
	Engeller		**olgunluk derecesi**				
no	Kriterler (Şekil 4.15)	ağırlığı	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Yüksek ilk yatırım maliyetleri (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	0,086					
2	Endüstri 4.0'e ilişkin düşük anlayış (Luthra ve Mangla, 2018)	0,081					
3	Eğitim eksikliği (Karimulla, 2020)	0,077					
4	Teknolojilerin benimsenmesinin uzun vadede büyük avantajlar sağlayacağı anlayışının eksikliği (Karimulla, 2020)	0,074					
5	Zayıf yönetim desteği (Luthra ve Mangla, 2018)	0,071					
6	Endüstri 4.0 konusunda gerekli yetenek, beceri ve bilgi eksikliği (Ling ve diğ., 2020)	0,071					
7	Şirketin zayıf dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (Luthra ve Mangla, 2018)	0,069					
8	Yüksek benimseme maliyeti (Ling ve diğ., 2020)	0,067					
9	Şirketlerin teknolojideki gelişmeleri takip edememesi (Karimulla, 2020)	0,064					
10	Maliyet-fayda ilişkisini göstermede zorluk veya konu üzerinde çalışma eksikliği (Oesterreich ve Teuteberg, 2018)	0,060					
11	Uzun vadeli zayıf planlama (Karimulla, 2020)	0,059					
12	Yeni teknolojilerin karmaşıklığı (Karimulla, 2020)	0,059					
13	Endüstri 4.0'ün benimsenmesine yönelik yetersiz araştırma ve geliştirme (Luthra ve Mangla, 2018)	0,057					
14	Dijital kültür eksikliği (Luthra ve Mangla, 2018; Eğilmez ve Koca, 2018))	0,054					
15	Şirketlerin yeni teknolojileri kullanma konusunda isteksizliği (Luthra ve Mangla, 2018)	0,052					
	Kritik başarı faktörleri		**olgunluk derecesi**				
no	Kriterler (Şekil 4.15)	ağırlığı	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Üst yönetim desteği (Moeuf ve diğ., 2020; Suferi ve Rahman, 2021; Hakim ve diğ., 2021)	0,097					
2	Kullanıcı eğitimi ve öğretimi (Moeuf ve diğ., 2020)	0,086					
3	Proje ekibinin yeterliliği (Moeuf ve diğ., 2020)	0,082					
4	Finansal imkanlar (Moeuf ve diğ., 2020; Lin ve diğ., 2020; Bhatia ve Kumar, 2020; Dikhanbayeva ve diğ., 2021; Sukathong ve diğ., 2021)	0,081					
5	Organizasyon kültürü (Moeuf ve diğ., 2020)	0,079					

Şekil 5.13 : İS'de İSG4.0 öneri olgunluk modeli

6	Net hedef ve amaçlar (Moeuf ve diğ., 2020)	0,079					
7	Sürekli ilerleme (Moeuf ve diğ., 2020; Pozzi et al., 2023)	0,077					
8	Çalışan eğitimi (Nnaji ve Awolusi, 2021)	0,077					
9	Değişiklik yönetimi (Moeuf ve diğ., 2020; Yadav ve diğ., 2021; Suferi ve Rahman, 2021; Sony ve diğ., 2021)	0,075					
10	Maliyet-fayda analizi (Oesterreich ve Teuteberg, 2018; Nnaji ve Awolusi, 2021)	0,070					
11	Bilgi teknolojileri ve inovasyon (Moeuf ve diğ., 2020)	0,069					
12	Verimlilik (Nnaji ve Awolusi, 2021)	0,067					
13	Kültürel (Dikhanbayeva ve diğ., 2021)	0,061					
	Yeterlilikler		**olgunluk derecesi**				
no	Kriterler (Şekil 4.16 & Şekil 4.18)	ağırlığı	1	2	3	4	5
1	Liderlik becerileri (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022; Shahhosseini ve Sebt, 2011)	0,109					
2	Teknik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)	0,104					
3	Risk yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	0,102					
4	Problem çözümü (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Ribeiro ve diğ., 2021)	0,100					
5	İSG yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	0,096					
6	Analitik beceriler (Hernandez-de-Menendez ve diğ.,2020; Hecklau ve diğ., 2016)	0,089					
7	Yaratıcılık (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Shahhosseini ve Sebt, 2011)	0,085					
8	Bir takım içinde çalışabilmek (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020; Hecklau ve diğ., 2016; Verma ve Venkatesan, 2022)	0,085					
9	Maliyet yönetimi (Ribeiro ve diğ., 2021)	0,085					
10	İnovasyon tabanlı yaratıcılık (Verma ve Venkatesan, 2022)	0,077					
11	Bilgi teknolojileri güvenliğini anlamak (Hernandez-de-Menendez ve diğ., 2020)	0,068					
	Zeka tipleri						
no	Kriterler (Şekil 4.17 & Şekil 4.18)	ağırlığı	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	Matematiksel zeka (Gardner,1983)	0,115					
2	Sözel-dilsel zeka (Gardner, 1983)	0,105					
3	Kişilerarası zeka (Gardner, 1983)	0,098					
4	İletişim ve açıkgörüşlülük zekası (katılımcılar tarafından önerilen)	0,095					
5	Uzamsal-görsel zeka(Gardner, 1983)	0,093					
6	Okuma zekası (Duygulu, 2011)	0,093					
7	İçsel zeka (Gardner, 1983)	0,090					
8	Doğa zekası (Gardner, 1999)	0,090					
9	Empati zekası (katılımcılar tarafından önerilen)	0,083					
10	Bedensel-kinestetik zeka (Gardner, 1983)	0,075					
11	Varoluşsal zeka (Gardner, 1999)	0,065					
Tüm PYD boyunca odak grup İSG riskleri ve riskleri çözebilme potansiyeline yönelik anahtar E4T&GYY'ler (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.2, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8)							
		E4T&GYY (Şekil 4.3)	**olgunluk derecesi**				
Sözleşme-ihale aşaması (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
	Oluşum sıklığı (21,29,28,26,27,24,1)	TKY					
	Kök-neden (21, 24, 25, 29, 27, 28, 1)	TKY,Ro					
Tasarım aşaması (Şekil 5.3) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (21, 26, 24, 25, 28, 1, 22)	TKY,Ro					
	Kök neden (2, 22, 30, 31, 14, 20, 23)	Ro, TKY,MÖ					
Mobilizasyon aşaması (Şekil 5.4) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (16, 11, 10, 26, 29, 25, 1)	MÖ, TKY, Ro					
	Kök-neden (16, 10, 11, 15, 9, 26, 8)	MÖ, TKY, BGT, Ro					
Yapım aşaması (Şekil 5.5) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (13, 18, 31, 9, 20, 12, 2)	GT, Ro, TKY, BGT					

Şekil 5.13 (devamı): İS'de İSG4.0 öneri olgunluk modeli

	Kök neden (18, 13, 9, 17, 11,12, 33)	Ro, GT, BGT, MÖ, TKY					
Demobilizasyon aşaması (Şekil 5.6) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (27, 28,26,29,1,4)	TKY, Ro					
	Kök neden (27, 29, 17, 23, 19, 8)	TKY, Ro					
Bakım-onarım aşaması (Şekil 5.7) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (4, 8, 5, 3, 32, 14, 19)	MÖ-Ro					
	Kök neden (19, 32, 14, 4, 5, 8, 6, 7)	MÖ-Ro					
Yıkım aşaması (Şekil 5.8) (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 5.2)							
	Oluşum sıklığı (3, 7, 6, 4, 5, 20,19)	Ro					
	Kök neden (3, 7, 4, 5, 6, 20,30)	Ro, TKY					

Şekil 5.13 (devamı): İS'de İSG4.0 öneri olgunluk modeli

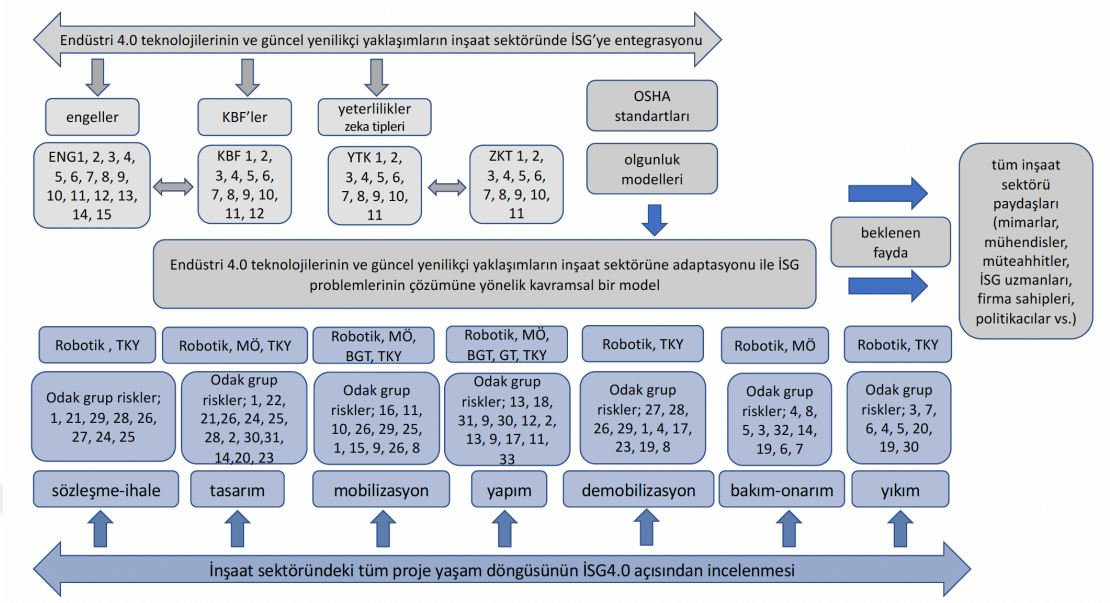
Şekil 5.13'de görüleceği üzere, oluşturulan öneri olgunluk modelinin ilk kısmı, E4T'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu için yapılan delphi çalışmalarından elde edilen engeller, KBF'ler, yeterlilikler, zeka tipleri bulgularına odaklanmıştır. Oluşturulan öneri OM'nin ikinci kısmı ise, İS'de tüm PYD boyunca odak risk gruplarına ve bu grupların çözülebileği anahtar E4T'ler ve GYY'ler e odaklanmıştır. Organizasyonlar öneri olgunluk modelini kullanarak, kendi olgunluk düzeylerini ölçebilirler.

Literatürün kısa bir özeti olarak sunulduğu üzere, OM'ler hem proje yönetiminde hem de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak kullanılabilir. Mevcut çalışmalar, genel olarak proje yönetimi alanında, organizasyonların, firmaların, yeteneklerini ve/veya olgunluklarını ölçerek, daha iyi bir seviyeye çıkabilmesine yönelik öneriler geliştirmiştir. İSG ile OM arakesitindeki çalışmalar ise, genellikle güvenlik kültürüne odaklanmıştır. İS'deki İSG problemlerinin tümü PYD'nin tüm aşamaları boyunca ele alınırken, E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de İSG olgunluğundaki yerini ölçmesi için OM'lerden destek alınması bu doktora tez çalışması kapsamında önerilmektedir. E4T'lerin ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluştururken OM'lerden destek alınabilir.

5.6 Oluşturulan Kavramsal Modelin Tartışılması

Bu tez çalışması kapsamında, çalışmanın amacına ve amacına ulaşmak için belirlenen hedeflerlerine yönelik olarak, literatür (Çizelge 2.1), anket çalışması (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9) ve delphi çalışmaları (Şekil 4.15 & Şekil4.18) gerçekleştirilmiştir. Belirtilen çalışmaların tümü tamamladıktan sonra, çalışmanın her

birinin verileri analiz edilerek, bulgular İSG uzmanlarınca mülakat çalışması sırasında doğrulanmıştır. Şekil 5.14, oluşturulan kavramsal modeli özetlemektedir.



Şekil 5.14 : Oluşturulan kavramsal model

Şekil 5.14'te görüldüğü üzere, bu tez çalışmasının amacı, E4T'ler ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmaktır. Bu amaca yönelik olarak, öncelikle literatür taraması yapılmış ve İS'de İSG problemleri, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak E4T'ler ve GYY'ler incelenmiştir. Literatürde bulunan HSE(2020) ve OSHA(2005)'den elde edilen İSG problemleri anket çalışmasına girdi oluşuracak şekilde anket içeriğine dahil edilmiştir (Çizelge 2.1). Böylece tüm İPYD boyunca, İSG riskleri ve İSG risklerine çözüm önerisi olarak sunulabilecek E4T ve GYY'ler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5). İPYD'nin her bir fazı için anket çalışmasının verilerinden destek alınarak odak grup riskler (Şekil 4.1 & Şekil 4.3) belirlenmiştir. Örneğin, Şekil 5.13'te görülebileceği üzere, sözleşme-ihale aşamasındaki odak grup riskleri 1, 21, 29, 28, 26, 27, 24 ve 25 (HSE, 2020)'dir. Bu risklerin çözülebileceği anahtar E4T ve GYY'nin ise Robotik ve TKY (Şekil 4.3, Şekil 5.9) olduğu görülmektedir. Yönetimsel diğer risklerin genelinin ise TKY ile çözüleceğine dair vurgu önemlidir (Şekil 5.9, Çizelge 5.1). Ayrıca anket çalışmasında ve mülakat sırasında katılımcılar, İSG problem ve risklerini çözebilmek adına tüm süreçlere etkin bir şekilde E4Tlerin İS'ye uygulanması gerekliliğinin vurgu yapmışlardır. Belirtilen bakış açısına göre her bir faz değerlendirilerek, odak grup riskler üzerinde gelecek stratejileri geliştirilebilir, bu

doğrultuda ilgili faz özelinde çözüm önerileri sağlanabilir. Örneğin, zor müşteriler (HSE, 2020) riskinin en çok sözleşme-ihale aşamasında görüldüğü bilgisi anket verilerine yönelik önemli bulgular arasındadır (Şekil 4.1). O nedenle sözleşme-ihale aşamasında iç ve dış müşterilerin seçimi, tedarik zinciri gibi konular üzerinde daha çok düşünülmesi önerilmektedir. Mesleki akciğer hastalığı (HSE, 2020) gibi çeşitli mesleki hastalık risklerinin ise mevcut durumda, ölümcül kazalar kadar dikkate alınmadığı ancak önlemlerin gerekliliği üzerinde düşünülmesi önerilmektedir. Örneğin, yıkım sırasında çevreye salınan çeşitli gazların ve tozların ilerleyen dönemlerde meslek hastalığına evrilmesi ve buna karşı alınan önlemlerin düşük olduğunun vurgulanması önemli bir bulgu olarak görülmüştür. Ayrıca *Spearman*'ın korelasyon analizine göre risklerin önemli bir bölümünün en çok görüldüğü faz ile kök nedenlerinde yapılan eksikliklerden kaynaklandığı faz arasında korelasyon olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, risklerin ilgili fazda hem oluşum sıklığı hem de ilgili risklerin kök nedenlerinin ilgili fazda yapılan eksikliklerden kaynaklandığı da bir arada düşünülmelidir. Çizelge 4.4'te verilen korelasyon tablosuna göre, her bir aşama özelinde belirli risk gruplarının aralarında bulunan korelasyonun göz önünde bulundurulması önerilir. Tüm aşamalar birlikte değerlendirildiğinde öne çıkan E4T'lerin sırası ile robotik, MÖ, BGT ve GT olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Tüm aşamalar birlikte değerlendirildiğinde öne çıkan GYY'nin ise TKY olduğu, çalışma sonuçlarından elde edilmiştir. İS'de İSG problemlerinin tüm PYD boyunca çözümüne yönelik stratejiler belirlenirken, çalışma kapsamında belirlenen odak grup riskler, odak grup E4T ve GYY'lerin göz önünde bulundurulması önerilmektedir. Ayrıca, İS'de tüm PYD'nin incelenmesine yönelik olarak anket çalışmasında katılımcılar arasında anlamlı fark bulunup bulunmadığına yönelik yapılan testler (*mann-whitney u* testi, *t-test*) ile birlikte, anlamlı fark bulunan yerlerde, İK'nın o doğrultudaki personeli ataması İS'de İSG4.0 için önerilebilmektedir. Katılımcılar arasında sorulara verilen cevaplar yönü ile anlamlı fark olup olmadığını belirlemeye yönelik yapılan testlerin bulgularının her biri özelinde ve kapsamlı olarak düşünülmesi önerilebilir. Örneğin, bilinenin aksine bazı teknolojilerin bazı İSG risklerini çözebilme potansiyelinin tecrübe yılı arttıkça arttığı görülürken, bazı teknoloji ve riskler özelinde ise tecrübe yılı azaldıkça entegrasyonun artabileceğini ifade ettikleri görülmüştür. Mülakatlar sırasında uzmanlar bu durumun sebebi olarak, belirli riskler ve teknolojiler özelinde tecrübe yılının fazlalığından ziyade, o teknolojiye olan aşinalığın daha önemli olabileceği ihtimali üzerinde durmuştur. Belirtilen durumu destekleyen diğer bir

olasılığın ise, tecrübe yılı azaldığında, katılımcıların yaşının da daha genç olabileceği varsayılmış ve genç neslin teknoloji bilgisinin ve yatkınlığının, daha çok olabileceği üzerinedir. Genellikle sektörde daha tecrübeli personelin tercih edildiği düşünüldüğünde, öneri modelin anlamlı fark çıkan belirli noktalarında daha az tecrübeli çalışanların istihdam edilmesi, inşaat sektöründe İSG 4.0 adaptasyonunu daha etkin sağlayarak, İSG problemlerinin çözümünü destekleyebilir. Uzmanların görüşlerine paralel olarak, örneğin 10 yıl üstü deneyime sahip personel yerine 10 yıl altı deneyime sahip personel seçimi sınırlı kaynakların doğru kullanımı açısından faydalı olabilir. Daha az tecrübe yılına sahip çalışanları istihdam etmek firmalar için maliyeti düşürmeye yardımcı olurken, yeni mezunlar gibi daha az tecrübe yılına sahip uzmanlar için kariyerlerine başlama ve ilerleme konusunda destek olma potansiyeli sunabilir. Benzer şekilde, akademisyenler ile sektör çalışanları arasında anlamlı çıkan bulgular üzerinde değerlendirmeler yapılarak, ilgili konular üzerinde çalışılması gereken yerlerde duruma uygun akademisyenler ya da sektör çalışanları tercih edilebilir. Böylece, konuya ilişkin en etkin personel ataması yapılabilmiş olacağından firmalar kaynaklarını optimize etmiş olabilirler.

Oluşturulan kavramsal aynı zamanda, E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonunu sağlamak için engeller, KBF'ler, yeterlilikler ve zeka tiplerini belirlemiştir. İS'de İSG4.0 için delphi çalışması sonucunda belirlenen 15 kritere odaklanılarak, engellerin üstesinden gelmeye yönelik stratejilerin oluşturulması önerilmektedir. İS'de İSG4.0 için delphi çalışması sonucunda belirlenen 13 kritere odaklanılması önerilmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmaların bir kısmı engel ve KBF'lere birlikte odaklanmaktadır. Benzer şekilde her iki delphi çalışmasının bulguları da maliyet, yönetim ve İK perspektifinden birbirini desteklemektedir (Şekil 5.10). benzer şekilde literatürdeki çalışmalar yeterlilikler ve zeka tiplerinin de birbirleri ile ilişki içinde olduğunu ortaya koymuştur. Delphi çalışmalarının yeterlilikler ve zeka tiplerini birlikte ele alan çalışmaları bir arada düşünüldüğünde, çalışma kapsamında belirlenen odak grup kriterlerin de birbirleri ile ilişki içinde olduğu görülmüştür. Örneğin, analitik beceriler ile matematiksel zeka'nın İS'de İSG4.0 bağlamında birlikte ele alınabileceğini uzmanlar, mülakat çalışmasında da vurgulamıştır. Şekil 5.13'te görüldüğü üzere, belirlenen odak grup faktörlere odaklanılmasının İS'de İSG4.0 entegrasyonunu sağlama potansiyeli olduğu, tez çalışması sonucunda görülmüştür.

Çalışma kapsamında incelenen OSHA standartlarının herbirinin yüksek düzeyde E4T ve GYY'lere entegre olabilme potansiyelinin olduğu, literatür, anket ve mülakat çalışması sonucunda belirlenmiştir. İS'de İSG4.0 entegrasyonu için standartlarının da bir arada düşünülmesi gerekliliği, kavramsal modelin bir bileşeni olarak düşünülebilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Literatür incelendiğinde, olgunluk modellerinin İS'de proje yönetimi, İSG yönetimi gibi çeşitli konular için kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, İS'de İSG4.0 için olgunluk modellerinin kullanımına yönelik, literatür, anket ve mülakat destekli olarak ortak bir bulgu ortaya koymuştur. Şekil 5.13, tez çalışması kapsamında bulgular, bir araya getirilerek İS'de öneri İSG4.0 olgunluk modeli oluşturulmuştur.

Şeki 5.14 ve Şekil 4.20'de belirtildiği üzere, tez kapsamında önerilen bu kavramsal model, tüm İPYD boyunca odak grup riskleri (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3), odak grup E4T&GYY'leri (Şekil 4.5), engeller (Şekil 4.15), KBF'ler (Şekil 4.15), yeterlilikler (Şekil 4.18), zeka tipleri (Şekil 4.18) ve OSHA standartlarını (Çizelge 4.3) İS'de İSG 4.0 öneri olgunluk modelini (Çizelge 5.13) de kapsamaktadır. Firmalar, aynı zamanda, Şekil 5.12'de verildiği şekilde, öneri olgunluk modelini kullanarak, kendi olgunluk seviyelerini ölçebilirler. Böylece bir sonraki olgunluk seviyesine geçebilmek için strateji üretebilirler. Uzmanlar ayrıca mülakat çalışmasında, yüklenici seçimleri sırasında ihale dosyalarında her bir firma için geliştirilen olgunluk ölçeği doğrultusunda firmalardan ilgili sonuçları gösteren detaylı değerlendirme karnesi istenebilme fikri üzerinde görüş bildirmiştir. Böylece, yüklenici ve alt yüklenici seçimleri İSG 4.0 için en yüksek olgunluk düzeyindeki firmalar arasından yapılabileceğinden, gelecekte firmaların kaza ve ramakkala olaylardan kaynaklı olarak problem yaşayabileceği maliyet, süre ve kalite problemlerinin önüne geçilebilir. Kazalardan sonra firmaların vermek zorunda kalacağı tazminatlar, firmaları maliyet açısından dezavantajlı duruma düşürebilirken aynı zamanda ölümcül kazaların yaşandığı durumlarda şantiyeler kapatılabildiği için, geciken süreler de ek bir maliyet gerektirebilmektedir. Şirket prestijinin de etkilenebileceği düşünüldüğünde, bu durum şirketin gelecekteki iş alma süreçlerini de olumsuz etkileyebileceğinden, maliyet ile ilgili ek zorluklar oluşturabilir. Tüm bu nedenlerden dolayı geliştirilen öneri İSG 4.0 olgunluk ölçeğinin, inşaat sektöründe tüm tedarik zinciri boyunca ve firma seçimleri sırasında bir değerlendirme aracı olarak kullanımına girdi oluşturma potansiyeli taşıyabilir. İnşaat sektöründe tüm tedarik zinciri boyunca firmalar, önerilen kavramsal

modelden de destek alarak, geleceğe yönelik ön strateji geliştirebilir. Önerilen kavramsal modelin, İS'de İSG problemlerine yönelik kaygı taşıyan mimarlar, mühendisler, müteahhitler, İSG uzmanları, firma sahipleri, politikacılar dahil olmak üzere tüm İS paydaşlarına fayda sağlama olasılığı bulunabileceği düşünülmektedir.

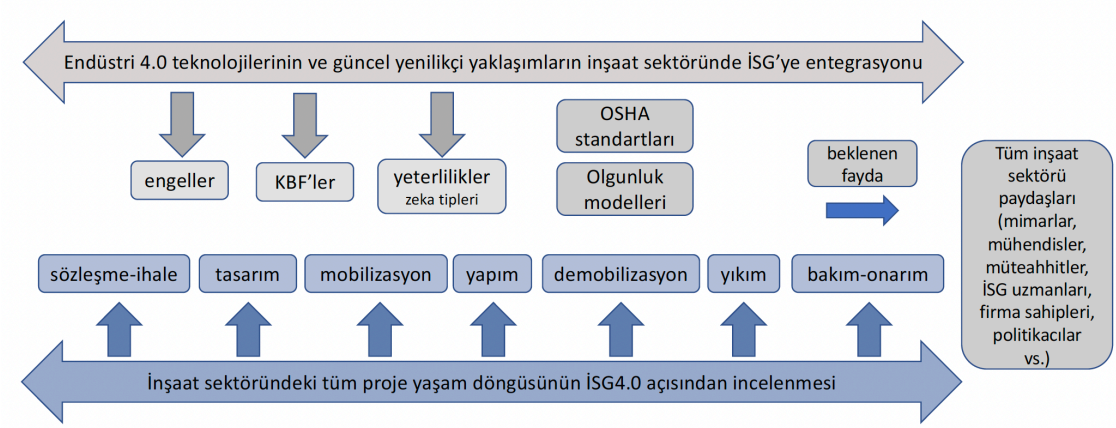
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İS'de İSG uygulamalarının düşük performans (Pillsbury ve diğ., 2020; Zhang ve diğ., 2020a, Patel ve Jha, 2017) gösterdiği bilinmektedir. İS, kazaların ve ramak kala olayların olumsuz sonuçlarından etkilenmektedir. Dahası, İS'de kaza ve ramakkala olayların olumsuz sonuçlarının, süre, maliyet, kalite, şirket prestiji vs. gibi çok çeşitli konularda da problemleri beraberinde getirdiği görülmektedir. Tüm bu problemlerin varlığı, İS'deki önemli verimsizlik kalemlerinden sayılan İSG problemlerinin çözümüne yönelik yapılan çalışmalara olan ihtiyacı göstermektedir. İS'de İSG problemlerine yönelik çalışmaların yapılması, İS'nin kaza ve ramakkala olayların olumsuz sonuçlarından etkilenmesini azaltarak, İS'deki İSG problemlerini iyileştirmeye yönelik çözüm önerileri sağlayabilir. E4T'lerin ve GYY'lerin, İS'de İSG problemlerini çözebilme konusunda (Pereira ve diğ., 2018; Xu ve diğ., 2021; Hatami ve diğ., 2019; Lim ve diğ., 2016) destek olma potansiyelleri bulunmaktadır.

Bu doktora tez çalışması, E4T'ler ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmayı amaçlamaktadır. Doktora tez çalışmasının belirtilen amacını gerçekleştirmeye yönelik, altı adet hedef belirlenmiştir. İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak E4T'lerin kullanıldığı çalışmaları incelemek ve bu kapsamda gelecekte yapılabilecek çalışmalar için girdi sağlamak, belirlenen altı hedeften ilk olanıdır. İS'deki tüm PYD'nin, İSG açısından incelenerek E4T'lerin ve GYY'lerin entegrasyonuna yönelik öneriler sağlamak, tezin ikinci hedefidir. İPY'nin tüm süreçlerinde tüm paydaşların etkin bir şekilde katılımına ve doğru yerde doğru teknolojinin kullanımının sağlanmasına, entegre edilebilmesine ve bu konudaki yeterliliklerin belirlenebilmesine yönelik araştırma yapmak, tezin üçüncü hedefidir. Literatürdeki mevcut olgunluk modellerini ve İS'de İSG4.0 için kullanım alanlarını incelemek, bu doktora tez çalışmasının dördüncü hedefidir. Kavramsal modeli oluşturmak ise tez çalışmasının beşinci hedefidir. Kavramsal modeli doğrulamak ve test etmek ise tezin altıncı ve son hedefidir.

Bu doktora tez çalışmasının amacına ulaşabilmesi için tezin belirlenen tüm hedeflerine yönelik çeşitli araştırma yöntemleri (literatür taraması, anket, delphi çalışmaları ve mülakat çalışması ile uzman görüşlerinin alınması) kullanılmıştır. Literatür taraması, tezin tüm hedefleri için uygulanmıştır. Daha sonra literatürden elde edilen bulgular ve bulguların sentezi ile elde edilen çıktılar, tezin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü hedeflerine ulaşmak için araştırma yöntemi olarak kullanılan anket çalışmasına girdi oluşturmuştur. Tez çalışmasının üçüncü hedefine ulaşabilmesi için kullanılan araştırma yöntemlerinden anket çalışmasına ek olarak, birbirine paralel ve her biri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışması yapılmıştır. İlk dört hedefe yönelik olarak yapılan literatür taraması, anket çalışması ve delphi çalışmalarının tüm bulguları birleştirilerek, bir kavramsal model oluşturulmuştur. Dördüncü hedefe yönelik olarak oluşturulan kavramsal model, tezin beşinci ve altıncı hedeflerine yönelik olarak, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca doğrulanmış ve test edilmiştir. Ayrıca, mülakat çalışması sırasında, çalışmanın tümüne ve araştırma yöntemleri kullanılarak elde edilen çalışmanın bulgularına yönelik genel değerlendirme, uzmanlardan sağlanmıştır. Mülakat sırasında uzmanlar, önerilen kavramsal modelin, faydalı ve eksik yönleri, geliştirilmesi gereken noktaları, genel olarak yorumları, ilgili modelin nasıl yaygınlaştırılabileceği, nasıl faydalı olabileceği, genel düşünceleri, değerlendirmeleri, önerileri, kritik düşünceleri, E4T'ler ve GYY'ler ile entegre olabilme potansiyeline yönelik görüşlerini paylaşmıştır.

Şekil 6.1, E4T'lerin ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik oluşturulan kavramsal modeli özetlemektedir. Şekil 6.1'de PYD'nin İSG4.0 açısından incelenirken, Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5, Şekil 5.2, Şekil 5.3,Şekil 5.4, Şekil 5.5., Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9'da belirtilen bilgilerden yararlanılmıştır.



Şekil 6.1 : E4T'lerin ve GYY'lerin İS'ye adaptasyonu ile İSG problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal model.

Şekil 6.1'de görüldüğü ve mavi renk ile belirtildiği üzere, tez çalışması kapsamında önerilen kavramsal model, İS'deki tüm PYD'yi İSG4.0 açısından incelemiştir (Çizelge 2.1, Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.5). Şekil 6.1'de görüldüğü üzere gri renk ise, E4T ve GYY'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonuna yönelik belirlenen engeller, KBF'ler, yeterlilikleri içermektedir. Aynı zamanda, İS'de E4T ve GYY'lerin entegrasyonu için OSHA standartlarının bütüncül bir şekilde yeniden düşünülmesi ve tüm sonuçlar ile entegre bir olgunluk ölçeği geliştirilerek, önerilmiştir. Literatür taramasının ardından, literatür tabanlı olarak İS'de İSG riskleri belirlenmiştir (Çizelge 2.1). İlgili risklerin, İPYD boyunca görülme sıklıkları (Şekil 4.1), ilgili İSG risklerinin kök nedenlerinin İS'deki hangi aşamda yapılan eksikliklerden kaynaklandığı (Şekil 4.3), ilgili İSG risklerinin hangi E4T ve GYY'ler ile çözülebilme potansiyelinin olduğu (Şekil 4.5, Çizelge 5.1), ilgili E4T'ler ve GYY'lerin PYD'nin hangi fazına en çok entegre olarak İSG problemlerini çözebileceği (Şekil 4.7), literatürden elde edilen çalışma başlıklarının (örn: güvenlik izleme), PYD'nin fazlarına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyeli (Şekil 4.9), literatürün sentezi sonucu elde edilen ve gelecek çalışmalar için yöne oluşturma potansiyeli bulunan ifadelere yönelik ağırlıklıklandırmaların yapılması (Şekil 4.11), E4T ve GYY'lerin olgunluk modellerine entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyellerini, OSHA standartlarının E4T'ler ile entegre olabilme potansiyeli anket çalışması ile araştırılmıştır. Bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan anket çalışmasının ilki, İS'de görüldüğü çalışmalarca belirlenen 33 adet İSG riskini (Çizelge 2.1) tüm PYD, oluşum sıklığı, kök nedenlerinin ilgili fazların hangisinde yapılan hangi eksikliklerden kaynaklanabileceği, İSG risklerinni en çok hangi E4T ve GYY'ler ile entegre olunarak

çözülebileceği gibi durumlar açısından İSG riskleri, E4T&GYY, İPYD fazları açısından incelemeye odaklanmıştır. Ayrıca 33 riskin (Çizelge 2.1) her birinin E4T&GYY'ler ile çözülebilme potansiyeline karşın bazıları daha ön plana (Çizelge 5.1) çıkmıştır. Örneğin, İS'de İSG problemlerini en iyi çözebilme potansiyeli olan E4T ve GYY'lerden en çok robotik ve TKY dikkat çekmektedir. Robotik'i, MÖ, BGT ve GT'ler takip etmiştir. Aynı zamanda çalışma kapsamında incelenen İSG risklerinin İPYD boyunca odak grup olarak ele alınması ve anahtar teknoloji ve yaklaşımların belirlenmesi ile ilgili verilen cevaplar arasında katılımcılar arasında anlamlı fark olup olmadığını görmeye yönelik yapılan istatistiksel testlerin sonuçlarının göz önünde bulundurulmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. İlgili risklerin çözümüne yönelik geliştirilecek stratejiler belirlenirken katılımcılar arasındaki farklılaşma dikkate alınabilir ve ilgili pozisyonlara, ilgili özelliklere sahip personelin ataması gerçekleştirilebilmesi önerilebilir. Bazı teknolojilerin bazı riskler için çözümünde 11 yıl ve üstü tecrübeye sahip personelin yerine, 10 yıl ve altı tecrübeye sahip personelin seçimi, firmaları gereksiz maliyetten kurtarabilir. Ayrıca, nispeten daha az tecrübeye sahip uzmanların potansiyellerini ilgili alanlarda göstermelerini teşvik edebilir.

İSG'ye yönelik yapılan standartlar, İS'de İSG problemlerinin çözümüne yönelik yol gösterici bir görev alabilir. İSG standartlarının (İSGS), İSG ile ilgili gündengüne ve ihtiyaca yönelik olarak değişen teknolojiler ve gereklilikler göz önünde bulundurularak, güncellenmesinin gerekli olabileceği göz önünde bulundurulabilir. İS'de İSG 4.0 adaptasyonu için, E4T entegrasyonun gerekliliği, İSGS'yi yeniden düşünmenin gerekli olabileceğini ortaya çıkarmıştır. OSHA'nın en çok atıfta bulunulan 10 standardının incelenmesi, E4T'ler ile entegrasyonunun araştırılmasına yönelik yapılmıştır (Şekil 6.1). Çalışma kapsamında incelenen 10 OSHA standardı ve ilgili standartların E4T'ler ile entegre olabilme potansiyeline yönelik olarak yapılan anket çalışmasının bulguları, İS'de İSG4.0 için İSGS4.0'ın da potansiyelini ortaya koymuştur. İS, kazaların ve ramakkalaların olumsuz sonuçlarından önemli ölçüde etkilendiğinden, bu kazaların ve ramakkala olayların etkilerini ve nedenlerini en aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılması gerekmektedir. OSHAS, İS'de İSG yönetimi ve performansındaki etkinliği destekleyebilir, çünkü OSHAS işverenlere belirli sorumluluklar yükler ve tüm İS paydaşları için güvenli bir çalışma ortamı sağlamalarını gerektirir. OSHAS'ın İSG sorunlarına bir çözüm olma potansiyeli literatürde belirtilmiştir (örneğin, Choe ve diğ., 2016; Paoletta, 2019;

360training, 2022; Compliance quest, 2022). Teknolojilerdeki ve gereksinimlerdeki gelişmelere uyum sağlamak için İSG'nin değişen ihtiyaçları, OSHAS'ın güncel tutulması ihtiyacını gerektirebilmektedir. Sürekli gelişen E4T'nin İSG ile bütünsel olarak ele alınması ve OSHAS'a adapte edilmesi, İS'de İSG sorunlarının çözümünü olumlu yönde etkileyebilir. İSG standartları, İS'de İSG performansını artırmak için etkili bir rol oynayabileceğinden, E4T'nin OSHAS'a entegre edilmesi önemli olabilir. İS'de E4T ile entegre edilmiş OSHAS, özellikle bu entegrasyonun kaza, ölüm, hastalık, yaralanma ve ilgili maliyet ve tazminatların azaltılmasına potansiyel katkı sunabilir. Ayrıca anket ve mülakat katılımcılarına göre, ilgili tüm standartların İS'de E4T ile entegre olma potansiyeli yüksektir. Gelecekteki araştırmalar, her OSHAS'ın İS'deki E4T ile entegrasyonu ve her güncellenen OSHAS'ın İS'deki sürdürülebilirliğe nasıl katkıda bulunabileceği üzerine daha fazla çalışmaya odaklanabilmesi önerilmektedir.

Şekil 6.1'de görülebileceği üzere, İS'de İSG'nin düşük performans göstermesi, E4T'lerin İS'ye etkin bir şekilde entegre edilebilmesine olan ihtiyacına da açığa çıkarmıştır. Bu tez çalışmasının belirtilen üçüncü hedefine yönelik olarak birbirine paralel olarak yürütülen ve her biri dört turdan oluşan üç adet delphi çalışması, İS'de İSG4.0 entegrasyonunu sağlamaya yöneliktir. Delphi çalışmalarının ilki, İSG4.0'ın İS'ye adaptasyonu için engelleri belirlemeye odaklanırken, ikincisi KBF'leri, ve üçüncüsü ise yeterlilikleri belirlemeye odaklanmıştır. Ayrıca, E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de İSG'ye entegrasyonu için engellerin ve KBF'lerin belirlenmesine yönelik odak gruplar üzerinde statejilerin geliştirilmesi önerilmektedir. Tüm faktörler birbirlerini, maliyet, İK ve yönetim olarak tamamlamaktadır. Ayrıca ortaya çıkan faktörlerin de birbirleri ile dinamik etki içinde olduğu görülmüştür. Örneğin, maliyetlerin yüksek olması, teknolojilerin ilk yatırımı konusunda firma sahipleri için problem oluşturduğundan, firma sahiplerine teknolojilerin uzun vadede sağlayacağı kazançlar ile ilgili eğitim verilmesi gerekmektedir. Ayrıca adapte edilecek teknolojiyi etkin bir şekilde kullanabilecek personele de gerek olacağından, personelin yeni teknolojileri benimsemesine yönelik ek eğitimlere ihtiyacı olabilecektir. Ayrıca, eğitim içeriklerinin de değişen dünya ile birlikte geleneksel yöntemlerden çıkıp, eğitim4.0 yönünde güncellenmesi gerekmektedir. Eğitim ise İK'ya yönelik stratejiler de gerektirdiğinden ek maliyet gerektirebilmektedir. Diğer bir faktör olarak ise, maliyetler konusunda yönetimlerin teşvikler gibi çeşitli finans politikalarını teşvik etmesi, firma sahiplerinin maliyetler ile ilgili engelleri aşmaları için bir önemli bir

faktör de olabilmektedir. Tüm faktörlerin birbirleri ile olan dinamik etkilerinin bir arada değerlendirilmesi, süreçlerine İSG4.0 entegre etmek isteyen ve İSG4.0 etkinliğini geliştirmeye çalışan tüm İS paydaşları için önerilmektedir.

İS personellerinin tümünde ve özellikle İSG uzmanlarında yeterlilikler ve zeka tipleri için belirlenen kriterlere odaklanmanın, İSG4.0 için önemli bir yol haritası olduğu düşünülmektedir. İS'de İSG çalışanlarının risk karşısındaki tutumları yeterlilik ve zeka tiplerine göre değişebilmektedir. İS'de İSG4.0 için çalışanların yeterlilik ve zeka tipleri belirlendikten sonra, ilgili duruma uygun olarak çeşitli eğitimler yolu ile farkındalıkların kazandırılması daha etkin bir çözüm için strateji oluşturulabilir. E4T'lere ilişkin, giderek artan anlayışın, bir taraftan çalışanları İSG problemlerinden koruması yönü ile mülakatlarda uzmanlarca olumlu değerlendirilirken, diğer taraftan işçilerin gelecekte işlerini kaybetme korkularını da beraberinde getirebildikleri için endişe taşıdıklarının da altını çizmiştir. Günümüz koşullarında yalnızca teknik yeterlilikler ve buna bağlı olarak matematiksel zekanın ötesinde, problem çözme, karar verme, bilgi paylaşımı, iletişim becerileri, ekip içinde uyumlu olarak çalışabilme, duygusal zekaya sahip olabilme gibi ek bir takım özelliklerin de gerekliliği görülmektedir. Çalışma kapsamında, günümüz koşullarında İS'de İSG4.0 için gerekliliği ortaya çıkan iletişim&açıkgörüşlülük zekası ile empati zekası, bu durumu destekleyebilir. İKY, kendine özgü stratejilerini belirlerken İS'de İSG4.0 için gerekli yeterlilik ve zeka tiplerinin kesişimindeki İK'ları belirleyerek, çalışma kapsamında önerilen modelin bakış açısından da yararlanarak, kendi ihtiyaçlarına uygun özelliklere sahip personelin seçimi konusunda destek alabilir.

Bu doktora tez çalışmasının belirlenen ilk üç hedefini gerçekleştirmeye yönelik olarak yapılan literatür taraması, anket çalışması ve delphi çalışmalarının tüm bulguları bir araya getirilmiştir. Tüm bulgular, bir araya getirildikten sonra, öneri kavramsal model, olgunluk modellerinden de destek alınarak oluşturulmuştur. Mülakat çalışması sırasında uzmanlardan, oluşturulan öneri kavramsal modele yönelik görüşler alınmıştır. Böylece oluşturulan öneri kavramsal modeli, tezin beşinci ve altıncı hedefine yönelik olarak test etmeleri istenmiştir.

Mülakat çalışmasında uzmanlar, literatür çalışmasının bulgularını desteklemişlerdir. Literatür çalışmasının sonucunda, İS'de İSG4.0'ın İPYD boyunca İSG risklerinin çözümünü desteklediği görülmüştür. Bu doktora tez çalışması kapsamında yapılan literatür çalışması, E4T'lerin İSG problemlerinin güncel literatürde nasıl ele alındığını

inceleyerek, gelecek çalışmalara ilişkin yön belirtmiş ve İSG problemlerinin çözümüne yönelik strateji oluşturulmasına destek olmuştur. Ayrıca literatür tabanlı olarak yapılan anket çalışmasının tüm bulgularını da mülakat çalışması sırasında uzmanlar, doğrulamışlardır. Güncel literatüre uygun olarak belirlenen İS'deki 33 adet İSG risklerinin (Çizelge 2.1) hastalıklar ile ilgili olan (Çizelge 5.1), yönetimsel (Çizelge 5.1), hareketlerden kaynaklanan (Çizelge 5.1), çalışma koşullarından kaynaklanan (Çizelge 5.1), olmak üzere dört temel kategori altında incelenmesinin faydalı olabileceği, mülakat çalışması sırasında uzmanlarca vurgulanmıştır. Uzmanlar ayrıca, İS'de İSG problemlerini çözmeye yönelik olarak, odak risk gruplarının tüm PYD boyunca belirlenmesinin, gelecek inşaat projelerinde İSG4.0 için bir yol haritası (Şekil 5.9) sunabileceğini ifade etmişlerdir. İSG risklerini çözebilme potansiyeli olan anahtar teknolojilerin robotik, MÖ, BGT, GT olduğu (Şekil 4.5, Şekil 5.1) anket sonuçlarından görülmüştür. GYY'lerden ise TKY'nin (Şekil 4.5, Şekil 5.1), belirlenen İSG risklerini çözebilme potansiyeli açısından önemi anket sonuçlarından çıkarılmıştır. Mülakat çalışmasında uzmanların her biri, kendi bireysel iş tecrübelerine de dayanarak, belirlenen anahtar teknolojileri ve TKY'nin İS'de bilinirliğini doğrulamışlardır. Anket çalışmasının bulguları ve bulguların mülakat çalışması sırasında uzmanlarca değerlendirilmesi ve doğrulanması, İS'de İSG problemlerinin en iyi çözümüne ulaşabilmesi için literatüre yol haritası sunması bakımından önemlidir. İS'de İSG problemlerini çözebilmek için, odak risk gruplarının, PYD'nin her fazı özelinde belirlemek, hangi E4T'ler ile entegre olarak çözülebileceğine yönelik profesyonel hayata da katkı sunmaktadır. Uzmanlar, konu ile ilgili görüşlerini belirtirken, TKY'nin İS'de, özellikle diğer GYY'lerden daha çok bilinir olduğuna dikkat çekmiştir. İS'de TKY'nin bilinirliği pozitif olarak değerlendirilmesine rağmen diğer E4T ve GYY (örneğin; yalın ve çevik)'ler ile entegre edildiklerinde, İS'de İSG4.0 sürecine yönelik etkinliği arttırabilme potansiyellerinin bulunabileceği görülmüştür. Günden güne gelişen teknolojilerden robotik'in İSG problemlerine çözüm olabilme potansiyelinin yüksek olması önemli bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Diğer E4T'lerden ve GYY'lerden ayrı olarak odaklanılması, İSG problemlerine yönelik çözümlerin etkinliği arttırmak için önemli olabilir. Diğer çözüm olma potansiyeli olan anahtar teknolojiler ise BGT, MÖ ve GT olarak sıralanabilir. Süreçlerine İSG4.0'ı entegre etmek isteyen firmalar, kendi ihtiyaçlarına uygun E4T'yi seçebilmek için, öneri kavramsal modelden yola çıkarak, önlem alması gereken risk grubunu belirleyebilir ve kendine en uygun olan E4T için yatırım yapma kararı alabilir.

Ayrıca, İSG problemlerine çözüm olabileceği çalışma kapsamında önerilen bazı E4T ve GYY'lerin birbirlerinden ayrı kullanımının ötesinde, birlikte kullanılmasına yönelik entegre çözüm yolları geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında işbirliklerinin önemi ortaya koyulmuştur. İS'de İSG problemlerinin çözümü için, tüm İS paydaşlarının birlikte hareket etmesine yönelik ortak bir bilinç oluşturulması, önemli görülmüştür. Mülakat çalışmasında uzmanlar, anket sorularına verilen cevaplardaki anlamlı farklara yönelik değerlendirmelerinde de gerekli olduğunu düşündükleri bu işbirliklerini vurgulamıştır. Mülakat çalışması, akademisyenlerin meslek hastalıkları gibi olay anında gerçekleşmeyen ancak bir çalışanın, proje bittikten sonraki hayatında belirli problemleri ortaya çıkarabilecek uzun vadeli riskleri konu alan çalışmalarına olan ihtiyacı göstermiştir. Mülakat çalışması, doğrudan ölümcül kazalara yol açabilecek İSG riskleri ile ilgili çalışma yaparken ise saha çalışanlarının tecrübelerinden de doğrudan faydalanılması gerekliliğini vurgulamıştır. Böylece, akademisyenlerin ve saha çalışanlarının ölümcül riskler ve meslek hastalıkları yönü ile birbirlerini tamamlama potansiyelleri nedeni ile birlikte çalışması önemli olabilir. Ayrıca İSG uzmanları için tecrübe yılı arttıkça, İSG ile ilgili tehlikeler oluşmadan henüz kaynağında, tecrübeli İSG uzmanları tarafından önlenebilmektedir. Ancak, tecrübe yılı nispeten daha düşük İSG uzmanlarının da tecrübeli İSG uzmanlarına göre avantajlı olabildiği durumların varlığı ortaya koyulmuştur. Mülakat çalışması sırasında, tecrübeli İSG uzmanlarının yaşlarının, daha az tecrübeli İSG uzmanlarına kıyasla genellikle daha fazla olması sebebi ile yeni çıkan teknolojilere aynı mesafede olamayabileceği ihtimali üzerinde durulmuştur. Yeni neslin gelişen teknolojilere daha aşina olması nedeni ile, İS'de İSG4.0 için yeni nesil İSG uzmanlarına olan ihtiyacın vurgulanması, özellikle İK'nın personel seçimi için önemli bir nokta olma potansiyeli taşıyabilir. İPYD'nin fazlarına göre, odaklanılması önerilen riskler ve ilgili E4T'ler ve GYY'ler ile birlikte, ilgili iş pozisyonlarında çalışacak İK'nın seçimi de önemli olabilmektedir. O nedenle, önerilen kavramsal modelin genel ve özelleşmiş bulgularına dayanılarak, örneğin meslek hastalıkları ile ilgili riskler özelinde akademisyenler ile birlikte işbirliği yapılması, belirli risk gruplarını çözebilecek anahtar teknoloji adaptasyonu için İSG uzmanlarının tecrübe yıllarının, bu bağlamda seçilmesinin İS'de İSG4.0 için faydalı olabilir. Gelecek çalışmaların, İPYD'nin belirli odak grup risklerine (Şekil 5.9), anahtar E4T ve GYY'lere (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8) ilgili fazlar boyunca İSG4.0 adaptasyonun etkinliğini arttıracak İSG

uzmanlarının seçimine (örn; mimar/mühendis /diğer alt yapıya sahip İSG uzmanı, ön lisans-lisans /lisansüstü eğitimine sahip İSG uzmanı, 10 yıl altı/11 yıl üstü tecrübeye sahip İSG uzmanı, akademik/profesyonel) önerilen kavramsal modelin bulgularını da değerlendirerek ilerlemesi önerilebilir. E4T'lerin ve GYY'lerin İS'de PYD'nin tüm fazlarına adapte olarak, İSG problemlerinin çözümü için destek olma potansiyelinin olabileceğini, anket çalışmasının bulguları açığa çıkarmıştır.

Mülakat çalışması sırasında, engeller ve kritik başarı faktörlerini belirlemeye yönelik olarak yapılan ilk iki delphi çalışmalarının bulguları, uzmanlar tarafından doğrulanmıştır. 15 adet engel faktörü ve 13 adet KBF'nin her birine uzmanlar odaklanarak, İS'de İSG4.0 adaptasyonu için odak grup faktörleri belirlemenin gerekliliğine ve bu doğrultuda stratejiler oluşturmanın önemine dikkat çekmiştir. Uzmanlar ayrıca, engeller ve KBF'leri belirlemeye yönelik yapılan DÇ'lerin birlikte yorumlanmasına yönelik ihtiyacın önemini vurgulamıştır. Belirtilen ilk iki grup DÇ'nin, dört turunun da sonuçlarının, birbirleri ile ilişkili olarak maliyet, İK ve yönetim olmak üzere üç temel kategoride değerlendirilmesinin gerekliliğine yönelik olarak uzmanlar, mülakatta değerlendirmelerini iletmişlerdir. Mülakat çalışması sırasında uzmanlar ayrıca, İS'de İSG4.0 için gerekli yeterlilikleri belirlemeye yönelik olarak yapılan DÇ'nin bulgularını da mülakat çalışması sırasında doğrulamışlardır. DÇ'nin ilk kısmı, İS'ye İSG4.0'ın adaptasyonu için gerekli yeterlilikleri belirlemeye odaklanırken, DÇ'nin ikinci kısmı ise, İS'de İSG4.0'ın adaptasyonunu desteklemek için sahip olunması gereken zeka tiplerini temel alarak belirlemiştir. Mülakatlar sırasında uzmanlar, delphi çalışmasının bulgularını onaylamışlar ve zeka türleri ile yeterlilikler arasındaki ilişkilerin doğrudan ve dolaylı olarak birbirleri ile İS'de İSG4.0 temelinde potansiyel ilişkilerine yönelik görüşlerini bildirmişlerdir. Yeterlilikler, İK literatürüne dayalı olarak teknik, metodolojik, kişisel ve yönetsel olmak üzere dört temel kategoride ele alınırken, her bir yeterlilik kriterinin, zeka tipleri ile ilişkileri de mülakat çalışması sırasında uzmanlarca değerlendirilmiştir.

Güncel literatür incelendiğinde, olgunluk modellerinin, proje yönetiminde, inşaat sektöründe, İPY'de ve İSG'de çeşitli kullanım alanlarının bulunduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, tez çalışmasının amacına yönelik olarak İS'de İSG4.0 adaptasyonu için olgunluk modellerinden de destek alınabilir. Literatür taraması, anket, delphi çalışmalarının bulgularının ve bulguların tümünün bir araya getirilerek oluşturulan öneri kavramsal modelin doğrulanmasına yönelik yapılan mülakat çalışmasında

uzmanlar, İS'de İSG4.0 için olgunluk modellerinden destek alınması potansiyelini de vurgulamışlardır. Bu doğrultuda, İS'de İSG4.0 için, tez çalışmasının hedeflerine yönelik gerçekleştirilen tüm bulgular bir araya getirilerek bir olgunluk ölçeği geliştirilmiştir (Şekil 5.13). Geliştirilen öneri olgunluk ölçeği ile birlikte, firmalar kendi İSG4.0 olgunluk seviyelerini belirleyebilirken, bir sonraki olgunluk seviyesine erişebilmek için etkin stratejiler planlayabilir. Anket ve delphi çalışmalarının bulgularının, odak riskler, odak kriterler, odak teknolojiler, odak İPYD fazlarını bulundurması yönü ile önemli görülmüştür (Şekil 5.13). Firmalar, önerilen olgunluk ölçeklerini uygulayarak, kendi İSG4.0 olgunluklarını ölçmede destek alabilirler. Bir sonraki olgunluk aşamasına geçebilmek için, kendi özelleşmiş süreçleri doğrultusunda stratejiler belirlerken, önerilen kavramsal modelin bakış açısından da faydalanabilirler. Ayrıca, öneri model, işverenlerin müteahhit seçim kriterleri sırasında, müteahhitlerin İSG4.0 olgunluğunu değerlendirebilmeleri için kendi özelleşmiş şirket politika ve ihtiyaçları için ek bir girdi olarak da düşünülebilir.

Bu doktora tez çalışmasının amacına ulaşabilmesi için belirlenen hedeflere yönelik olarak yapılan tüm literatür, anket ve delphi çalışmalarının bulguları, İS'de İSG4.0 için oluşturulan öneri kavramsal modelin girdileri olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6.1). Oluşturulan öneri kavramsal model, örneklem kümesine uygun olarak seçilen uzmanlar ile, mülakat çalışması yolu doğrulanmıştır. Önerilen kavramsal model, İS'de İSG4.0 adaptasyonu için ilgili paydaşlar için yol gösterici olarak düşünülmüştür. İS'de İSG endişesi taşıyan tüm paydaşlar, çalışma kapsamında önerilen kavramsal modeli, kendi özelleşmiş süreçlerinde bir ön girdi olarak kullabilirler. Önerilen İSG4.0 kavramsal modeli ile birlikte firmalar, olgunluk düzeylerini bireysel olarak ölçerek farkındalık geliştirebilirler. Düşük düzeyde olgunluk gösteren firmalar ise kendilerini, bir üst olgunluk düzeyine çıkarabilmek için belirlenen modelin bakış açısından yola çıkarak ve bulguları doğrultusunda geleceğe yönelik strateji üretebilirler. Ayrıca bu öneri kavramsal model ve kavramsal modele yönelik geliştirilen olgunluk modeli, bir sonraki aşamada daha da geliştirilerek, firmaların kendi olgunluk ölçeğini gelişirmelerinin yanısıra, hükümetler, politika yapıcılar, denetleyiciler tarafından firmaların İSG4.0 olgunluğunu ölçmeye de yardımcı olabilir. Tedarik zinciri bir bütün olarak düşünüldüğünde, önerilen kavramsal model, tedarik zinciri boyunca tüm paydaşlara faydalı olabilir. Önerilen kavramsal modelden yararlanırken, firmanın ihtiyaçları ve kaynakları, her bir firmanın projesinin ve tedarik zincirinin özgün

durumunu göz önünde bulundurarak değerlendirmesi gerekmektedir. Bu durum, bu doktora tez çalışmasının bir kısıtlaması olarak da değerlendirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, kavramsal modele girdi olabilecek literatürde gelişen başka faktörler, konular, güncel yaklaşımlar, yeni teknolojiler ile bu tez çalışması kapsamında sunulan öneri model geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

360training. (2022). *What does OSHA do and why is OSHA training important?*.Erişim: 18.07.2022, https://www.360training.com/blog/what-does-osha-do-and-why-osha-training-important.

Afzal, M., Shafiq, M. T., Jassmi, H. A. (2021). Improving construction safety with virtual-design construction technologies-a review, *Journal of Information Technology in Construction,* 26, 319-340.

Ajayi, A., Oyedele, L., Akinade, O., Bilal, M., Owolabi, H., Akanbi, L., Delgado, J. M. D. (2020a). Optimised big data analytics for health and safety hazards prediction in power infrastructure operations, *Safety Science*, 125,104656.

Akarsu, E. E., Üstündağ, Ö., Boyraz, Z. (2008). Ülkemizde kentsel alanlarda yapılaşma sürecinin izlenilmesi için bir öneri: Hava LİDAR (light detection and ranging), *E-journal of new world sciences academy*, 3(3), 479-491.

Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Arawomo, O. O. (2018). Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment, *Journal of Cleaner Production*, 180, 375-385.

Akram, R., Thaheem, M. J., Nasir, A. R., Ali, T. H., Khan, S. (2019). Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping, *Safety Science*, 120, 456-470,, https://doi.org/10.1016/j.ssİS.2019.07.036.

Al-Bayati, A. J., Bilal, G. A., Esmaeili, B., Karakhan, A., & York, D. (2021). Evaluating OSHA's fatality and catastrophe investigation summaries: Arc flash focus, *Safety Science*, 140, 105287.

Al-Bayati, A. J., Rener, A. T., Listello, M. P., Mohamed, M. (2023). PPE non-compliance among construction workers: An assesment of contributing factors utilizing fuzzy theory, *Journal of Safety Research*, 85, 242-253.

Alkaissy, M., Arashpour, M., Golafshani, E. M., Hosseini, M.R., Khanmohammadi, S., Bai, Y., Feng, H. (2023). Enhancing construction safety: Machine learning-based classification of injury types, *Safety Science*, 162, 106102 ,https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106102.

Ameyaw, E. E., Hu, Y., Shan, M., Chan, A.P.C., Le, Y. (2014). Application of Delphi Method in construction enginerring and management research: A quantitative perspective, Journal of civil engineering and management, 22(8), 991-1000.

An, S., Martinez, P., Al-Hussein, M., Ahmad, R. (2020). BIM-based decision support system for automated manufacturability check of wood frame assemblies, *Automation in Construction*, 111, 103065.

Angelia, R. E., Pangantihon, R. S., Villaverde, J. F. (2021). Wireless Sensor Network for Safety Tracking of Construction Workers through Hard Hat. *In Proceedings of the 7th International Conference on Computing and Artificial Intelligence (ICCAI '21), Association for Computing Machinery,* New York, NY, USA, 412–417. https://doi.org/10.1145/3467707.3467769

Annalee, Y. (2000). Work-related musculoskeletal disorders, *Current Opinion in Rheumatology*, 12(2), 124-130.

Arifiddun, R., Latief, Y., Wibowo, M. A., Nugroho, D. B., Fadlillah, R. (2024) Development of occupational safety audit based on risk management approach in design-build contract in building project: A conceptual framework. *Lecture notes in civil engineering, 7th International Conference on Architecture and civil Engineering*, 466, 623-632.

Aripin, I. D., Zawawi, E. M. A., Ismail, Z. (2019). Factors Influencing the Implementation of Technologies Behind Industry 4.0 in the Malaysian Construction Industry. *MATEC Web of Conferences*, 266, 01006. https://doi.org/10.1051/matecconf/201926601006.

Arlene, S. & Jeffrey, K. (2009). Occupational Lung Disease*, Journal of Thoracic Imaging*, 24(4), 310-320.

Arowoiya, V. A., Oke, A. E., Akanni, P. O., Kwofie, T. E., Enih, P. I. (2021). Augmented reality for construction revolution-analysis of critical success factors, *International Journal of Construction Management*, doi: 10.1080/15623599.2021.2017542.

Asgari, Z. & Rahimian, F. P. (2017). Advanced virtual reality applications and intelligent agents for construction process optimization and defect prevention. *Creative Construction Conference*, *Procedia Engineering* (196, 1130-1137). Primosten, Croatia.

Awolusi, I., Nnaji, C., Marks, E., Hallowell, M. (2019). Enhancing Construction Safety Monitoring through the Application of Internet of Things and Wearable Sensing Devices: A Review, *Computing in civil Engineering*, 530-538.

Bademosi, F., Tayeh, R., Issa, R. (2018). Skills assessment for robotics in construction education, *Intelligent Computing in Engineering and Architecture*.

Badri, A., Boudreau-Trudel, B., Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: a cause for major concern?, *Safety Science*, 109.403-411.

Bandhu, D., Mohan, M. M., Nittala, N. A.P., Jadhav, P., Bhadauria, A., Saxena, K. K. (2024). Theories of motivation: A comprehensive analysis of human behaviour drivers, *Acta psychologica*, 244, 104177.

Bangaru, S. S., Wang, C., Zhou, X., Jeon, H. W., Li, Y. (2020). Gesture recognition–based smart training assistant system for construction worker earplug-wearing training, *Journal of construction engineering and management*, 146(12), 04020144.

Bhatia, M. S. & Kumar, S. K. (2020). Critical success factors of industry 4.0 in automotive manufacturing industry, *IEEE Trancations on Emerging Management*, 69 (5), 2439 -2453.

Biller, K. (2016). OSHA updates eye and face protection standards in final rule, *Focus on Powder Coatings*, 5, 6.

Bowen, P., Edwards, P., Lingard, H. (2013). Workplace stress among construction professionals in South Africa: The role of harassment and discrimination, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(6), 620-635.

Boyatzis, R.E., Foguet, M.J., Marin, F. X., Truninger, M. (2015). EI competencies as a related but different characteristic than intelligence, *Frontiers in psychology,* 6 (72),1-14.

Breitbarth, M. (2021). *OSHA standards: 5 things every small business needs to comply,* https://www.sbdc.duq.edu/Blog-Item-OSHA-Standards-5-Things-Every-Small-Business-Needs-to-Comply, erişim tarihi 18.07.2022.

Cai, S., Ma, Z., Skibniewski, M. J., Bao, S., Wang, H. (2020). Construction automation and robotics for high-rise buildings: development priorities and key challenges, *J. Constr. Eng. Manage.,*146(8), 04020096.

Cangan, G. S. (2019). Analysis of Construction Site Safety by using ANN and Fuzzy Logic, *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 5(11), 51-57.

Carpino, C., Mora, D., Simone, M. (2019). On the use of questionnaire in residental buildings. A review of collected data, methodologies and objectives, *Energy and Buildings*, 186, 297-318.

Cavas, B. & Cavas, P. (2020). Multiple Intelligences Theory-Howard Gardner. In: Akpan, B., Kennedy, T.J. (eds), *Science Education in Theory and Practice. Springer Texts in Education*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_27.

Cazzola, M., Donner, C. F., Hanania, N. A. (2007). One hundred years of chronic obstructive pulmonary disease (COPD), *Respiratory Medicine*, 101(6), 1049-1065.

Chan, A. P. C., Yung, E. H. K., Lam, P. T. I., Tam, C. M., Cheung, S. O. (2001). Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects, *Construction Management and Economics*, 19(7), 699-718.

Chan, E. (2023). A multi-level safety culture maturity model for (new) building projects in Hong Kong, *HKIE transactions*, 30(1), 951015.

Chang, W. R., Leclercq, S., Lockhart, T. E., Haslam, R. (2016). State of science: occupational slips, trips and falls on the same level, *Ergonomics,* 59(7),861-883.

Chen, K., Loo, S. C., Alias, A. (2024). A bibliometric review of maturity model studies in the construction industry*, Journal of Construction in Developing Countries*, 29(1), 129-145.

Chen, Y., Okudan, G. E., Riley, D. R. (2010). Decision support for construction method selection in concrete buildings: prefabrication adoption and optimization, *Automation in Construction*, 19, 665-675.

Chew, S.H. (1990). Mean Value. In: Eatwell, J., Milgate, M., Newman, P. (eds) Time Series and Statistics. *The New Palgrave.* Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-20865-4_20.

Cho, Y.K., Kim, K., Ueda, J. (2018). A Robotic Wearable Exoskeleton for Construction Worker's Safety and Health, *Construction Research Congress*, ss.19-28.

Choe, S., Yun, S., Leite, F. (2016). Analysis of the effectiveness of the OSHA steel erection standard in the construction industry, *Safety Science*, 89, 190-200.

Chokor, A., Naganathan, H., Chong, W. K., El Asmar, M. (2016). Analyzing Arizona OSHA injury reports using unsupervised machine learning, *Procedia Engineering*, 145, 1588-1593.

Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M. G. M. (2020)**.** How do Industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis on Italian SMEs, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32, 1-27.

Compliance quest web sayfası. (2022). *OSHA regulations.* Erişim: 18.07.2022, https://www.compliancequest.com/regulations/osha-regulations/#.

Costin, A. M., Teizer, J., Schoner, B. (2015). RFID and BIM-enabled worker location tracking to support real-time building protocol control and data visualization, *Journal of Information Technology in Construction*, 20, 495-517.

Couto, J. P., Santos, F. J. B., Rabbani, E. R. K. (2017). How time constraints affect safety conditions at construction sites: analysis of the perception of Portuguese construction participants, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, ss. 563-576.

Creative safety supply web sayfası. (2022). *Are OSHA regulations considered the law?.*Erişim: 18.07.2022, https://www.creativesafetysupply.com/qa/osha/are-osha-regulations-law.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests, *Psychometrika,* 16, 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555.

Cugno, M., Castagnoli, R., Büchi, G. (2021). Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives, *Technological Forecasting & Social Change,* 168, 120756.

Cunningham, T. R., Rebecca J. G., Ferguson, J., Cavallari, J. (2022). Work-related fatigue: A hazard for workers experiencing disproportionate occupational risks, *American Journal of Industrial Medicine*, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ajim.23325.https://doi.org/10.1002/ajim.23325.

Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Beach, T., Demian, P. (2020a). Augmented and Virtual Reality in Construction: Drivers and Limitations for Industry Adoption, *J. Constr. Eng. Manage.*, 146(7), 04020079.

Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Demian, P. Beach, T. (2020b). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, *Advanced Engineering Informatics*, 45. https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122.

Demirkesen, S. & Tezel, A. (2021). Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies, *Engineering, Construction and Architectural Management,* 10.1108/ECAM-12-2020-1059.

Deng, M., Tan, Y., Singh, J., Joneja, A., Cheng, J. C. P. (2021). A BIM-based framework for automated generation of fabrication drawings for facade panels, *Computers in Industry*, 126, 103395.

Dikhanbayeva, D., Tokbergenova, A., Lukhmanov, Y., Shehab, E., Pastuszak, Z., Turkyilmaz, A. (2021). Critical Factors of Industry 4.0 Implementation in an Emerging Country: Empirical Study, *Future Internet*, 13, 137. https://doi.org/10.3390/fi13060137.

Dursun, B. (2023). A Qualitative Research Technique: Interview, *Journal of Interdisciplinary Educational Research*, 7(14), 100-113.

Duygulu, S. (2011). *Çoklu zeka ve zeka türleri*, https://www.tavsiyeediyorum.com/makale_7309.htm, son erişim tarihi: 11.08.2024.

E4amf. (2022). *Standards & guidelines,* https://E4amf.aigroup.com.au/streams/standards-guidelines/. Son erişim tarihi: 18.07.2022.

Eğilmez, Ö. & Koca, G. (2018). Industry 4.0 Initiatives Evaluation for Sustainable Supply Chain in Emerging Economies, *The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences, Special Issue on Industry 4.0 and Organizational Change,* 23, 1521-1536.

Eigege, J., Aka A., Agbo, A. E. (2020). Effective Implementation of Health and Safety Practices on Construction Site: Barriers and Movers. *In Book of Proceedings, School of Environmental Technology International Conference, Federal University of Technology,* Minna, Niger State, Nigeria.

Eiris, R. & Gheisari, M. (2017). Research trends of virtual human applications in architecture, engineering and construction, *Journal of Information Technology in Construction*, 22,168-184.

Endroyo, B., Suraji, A., Besari, M. S. (2017). Model of maturity of pre-construction safety planning, *Procedia engineering*, 171, 413-418.

Erdem, A.T. (2020). The Moderator Role of Job insecurity perceptions in the effect of employees' self-efficacy perceptions on the quality of work-lide: the case of foundation university, *Gaziantep üniversitesi, iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi,* 2(2), 167-184.

Erusta, N. E. & Sertyşilışık, B. (2022). Rethinking Occupational Health and Safety Standards: As a Key to the OHS 4.0 in the Construction Industry. *Uluslarası 7. Proje ve Yapım Yönetimi Konferansı*, ss.1421-1430, İstanbul, Turkiye.

Erusta, N. E. & Sertyşilışık, B. (yayına kabul edilen makale). Critical Success Factors and Barriers against Occupational Health and Safety in the CI. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture.*

Erusta, N.E. & Sertyesilisik, B. (2020). An investigation into improving occupational health and safety performance of construction projects through usage of BIM for lean management. *Advances in building information modelling* (eds: UmitIsikdag). 1188, ISBN 978-3-030-42851-8. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-42852-5.

EU-OSHA. (2022). *Construction safety risk and prevention*, https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/construction-safety-risks-and-prevention.

European Agency for Safety and Health at Work web sayfası. (2022). *Discrimination in the workplace*. Erişim: 18.03.2025, https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/discrimination-workplace.

Ewin, N., Luck, J., Chugh, R., Jarvis, J. (2017). Rethinking project management education: a humanistic approach based on design thinking, *Procedia computer science*, 121, 503-510.

Filho, A. P. & Watersoni P. (2018). Maturity models and safety culture: A critical review, *Safety science*, 105, 192-211.

Fotwe, F. T. E. &Caffer, R. M. (2000). Developing project management competency: perspectives from the construction industry, *International Journal of Project Management,* 18(2), 111-124.

Fox, N. (2009). Using interviews in a research project, *The NIHR RDS for the East Midlands/Yorkshire & the Humber*, 26.

Fung, I. W. H., Tam, V. W. Y., Lo, T., Y. &Lu, L. L. H. (2010). Developing a risk assessment model for construction safety, *International Journal of Project Management*, 28(6), 593-600.

Galani, A. & Galanakis, M. (2022). Organizational Psychology on the Rise McGregor's X and Y Theory: A Systematic Literature Review, *Psychology*, 13, 782-789.

Gao, M., Wu, X., Wang, Y., Yin, Y. (2023). Study on the mechanism of a lean construction safety planning and control system: An empirical analysis in China, *Ain Shams Engineering Journal*, 14, (2), 2090-4479.

Garcia, O., Lopez, F., Burgos, S. (2014). Relationship between general intelligence, competences and academic achievement among university students, *Personality and individual differences*, 60, 67.

Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*, New York: Basic Books, 10.

Gardner, H. (1983). *Multiple Intelligences Çoklu Zeka,* (2006) (Çeviren: Gül, A.H.),. Basic Books, Optimist yayıncılık, Esenyurt, İstanbul.

Gardner, H. (1999). *Intelligence reframed: Multiple intelligences for the 21st century*. Basic Books.

Gardner, H, A. (2000). *Case against spiritual intelligence*, International Journal for the Psychology of Religion, 10 (1), 27-34.

Gardner, H., & Moran, S. (2006). The Science of Multiple Intelligences Theory: A Response to Lynn Waterhouse, *Educational Psychologist*, 41(4), 227-232.

Garyaev, N. & Garyaeva, V. (2019). Big data technology in construction. *E3S Web of Conferences*, 97, 01032, https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/23/e3sconf_form2018_01032/e3sconf_form2018_01032.html son görülme: 10.11.2021.

Gbadamosi, A. Q., Mahamadu, A. M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Manu, P., Mahdjoubi, L., Aigbavboa, C. (2019). Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly, *Journal of Cleaner Production*, 215, 1180-1190.

Goldner, A. (1945). Occupational Deafness: With Special Refence to Chronic Occupational Deafness, *Arch Otolaryngol*, 42(5):407–411.

Golzad, H., Banihashemi, S., Hon, C., Drogemuller, R. (2023). BIM and construction health and safety: uncovering,adoption and implementation, *BIM and construction health and safety:uncovering, adoption and implementation*, 1-145.

Grant, A., & Hinze, J. (2014). Construction worker fatalities related to trusses: An analysis of the OSHA fatality and catastrophic incident database, *Safety Science*, 65, 54–62.

Graphic products. (2022). *OSHA requirements and compliance*. Erişim: 18.07.2022, https://www.graphicproducts.com/articles/osha-requirements-and-compliance/.

Gündüz M & Laitinen H. (2018). Construction safety risk assessment with introduced control levels, *Journal of civil Engineering and Management,* 24(1), 11-18.

Guo, X., Liu, Y., Tan, Y., Xia, Z., Fu, H. (2024). Hazard identification performance comparison between virtual reality and traditional construction safety training modes for different learning style individuals, *Safety science*, 180, 10.1016/j.ssci.2024.106644.

Hakim, I. M., Singgih, M. L., Gunarta, I. K. (2021). Critical Success Factors for Implementation of Internet of Things (IoT) in Automotive Companies: A Literature Review. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Singapore.

Hallowell, M. R. (2009). Techniques to minimize bias when using the delphi method to quantify construction safety and health risks. *Building a Sustainable Future (Construction Research Congress),* 1489-1498.

Hamdan, N.& Awang, H. (2015). Safety Scaffolding in the Construction Site, *Jurnal Teknologi*, 75(5), 26–31.

Hamid, M., Tolba, O., Antably, A. E. (2018). BIM semantics for digital fabrication: A knowledge-based approach, *Automation in Construction,* 91, 62-82.

Haslam, R.A., Hide, S. A., Gibb, A. G.F., Gyi, D.E., Pavitt, T., Atkinson, S., Duff, A. R. (2005). Contributing factors in construction accidents, *Applied Ergonomics*, 36(4), 401-415.

Hatami, M., Flood, I., Franz, B., Zhang, X. (2019). State-of-the-Art Review on the Applicability of AI Methods to Automated Construction Manufacturing, *Computing in civil Engineering*, 368-375.

He, R., Li, M., Gan, V. J.L., Ma, J. (2021). BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study, Journal of Cleaner Production, 278, 123505.

Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in industry 4.0, *Procedia İSRP*, 54, 1-6.

Hernandez de Menendez, M., Díaz, C. A. E., Morales, M. R. (2020). Engineering education for smart 4.0 technology: a review, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing,* 14, 789–803.

Hernandez-de-Menendez, M., Morales-Menendez, R., Escobar, C. A., McGovern, M. (2020). Competencies for industry 4.0, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14, 1511–1524.

Homer, M. (2001). Skills and competency management, *Industrial and Commercial Training,* 33(2), 59-62.

HSE (t.y.). *Organisational culture: Overview*. Erişim: 18.03.2025, https://www.hse.gov.uk/humanfactors/topics/culture.htm.

HSE. (2020). *Health and safety at work, Summary statistics for Great Britain 2020*, Erişim: 05.02.2021, https://www.hse.gov.uk/, Health and safety executive, November, 2020.

Hseni web sayfası (t.y.). *Protecting your workers from violence and aggression.* Erişim: 26.02.2025, https://www.hseni.gov.uk/articles/protecting-your-workers-violence-and-aggression.

Hwang, B. G., Ngo, J., Her, P. W. Y. (2020). Integrated Digital Delivery: Implementation status and project performance in the Singapore construction industry, *Journal of Cleaner Production*, 262, 121396.

Iavicoli, I., Fontana, L., Leso, V. (2022). OSH strategies to Industry 4.0: the example of risk assessment and management of nanomaterials, *Safety and health at work,* 13:S1eS86. doi:10.1016/j.shaw.2021.12.807.

Iftadi, I., Suhardi, B., Pujianto, E., Damayanti, W. (2023). A Bibliometric analysis on safety culture maturity model. *E3S Web of conferences*, 465, 02044, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346502044.

International labour organization (2025). Harmful Chemical and Biological agents/substances. Erişim tarihi: 26.02.2025, https://www.ilo.org/topics/labour-administration-and-inspection/resources-library/occupational-safety-and-health-guide-labour-inspectors-and-other/harmful-chemical-and-biological-agentssubstances.

ISO (t.y.). *Identifying OHS risks and Managing risks*, https://www.iso.org/osh/hazards.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E.S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability, *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203-217.

Jia, G., Ni, X., Chen, Z., Hong, B., Chen, Y., Yang, F., Lin, C. (2013). Measuring the maturity of risk management in large-scale construction projects, *Automation in Construction*, 34, 56-66.

Joerres, J., McAuliffe, J., Beba, U., Awad, A. B., Chorh-Chuan, T., Condo, A. (2016). *The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution, Global Challenge insight report.*

Johari, S. & Jha, K. N. (2021). Framework for identifying competencies of construction workers, *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(5).

Kale, Ö.A. (2021). Characteristic analysis and prevention strategy of trench collapse accidents in the U.S., 1995-2020, *Revista de la Construcción*, 20(3) Santiago, https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2021000300617&script=sci_arttext&tlng=en.

Karakhan, A., Rajendran, S., Gambatese, J., Nnaji, C. (2018). Measuring and Evaluating Safety Maturity of Construction Contractors: Multicriteria Decision-Making Approach, *Journal of Construction Engineering and Management,* 144(7), 04018054.

Karimulla, U. (2020). *An Assessment on the Adoption of Industry 4.0 Technologies in South African Fabrication Industry*. (Doktora tezi). Faculty of Engineering and the Built Environment, University of Johannesburg.

Karmakar, A. &Delhi, V. S. K. (2021). Construction 4.0: what we know and where we are headed?, *Journal of Information Technology in Construction*, Special issue: 'Next Generation ICT - How distant is ubiquitous computing?', 26, 526-545.

Kashikar, A., Mehta, B., Motichandani, B., Chaitanya, D. (2016). A case study on Agile and Lean Project management in Construction Industry, *Journal of Mechanical and civil Engineering*, 13(4), 31-39.

Katsarou, D. V., Kougioumtzis, G. A., Sofologi, M., Mantsos, E., Efthymiou, E., Sarris, D. (2024). A developmental critical view of emotional intelligence theories and programs in the Greek educational settings, *All Works*, 6849, https://zuscholars.zu.ac.ae/works/6849.

Kaufman, J. C., Kaufman, S. B., Plucker, J. A. (2013). Contemporary Theories of Intelligence, in Daniel Reisberg (ed.), *The Oxford Handbook of Cognitive Psychology, Oxford Library of Psychology*; online edn, Oxford Academic.

Keeney, S., Hasson, F., McKenna, H.P. (2001). A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing, *International Journal of Nursing Studies*, 38(2),195-200.

Keller, K. (2010). OSHA regulations simplified (bölüm 10). Electrical safety code manual, *A plain language guide to national electrical code*, 223-249.

Kerzner, H. (2001). *Strategic Planning for Project Management Using a Project Management Maturity Model*. John Wiley & Sons, Inc.

Kerzner, H. (2003). *Project Management A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, 8. baskı. John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

Khan, S., Singh, R., Haleem, A., Dsilva, J., Ali, S.S. (2022). Exploration of Critical Success Factors of Logistics 4.0: A DEMATEL Approach, *Logistics*, 6, (13), https://doi.org/ 10.3390/logistics6010013.

Kim, H. Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis, *Restor Dent Endod*, 38(1), 52-4, doi: 10.5395/rde.2013.38.1.52.

Kim, T. & Chi, S. (2019). Accident case retrieval and analyses: using natural language processing in the construction industry, *J. Constr. Eng. Manage.*, 145(3), 04019004.

Kim, T. K. (2015). T test as a parametric statistic, *Korean J Anesthesiol,* 68(6), 540-6, doi: 10.4097/kjae.2015.68.6.540.

Koc, K., Ekmekcioglu, O., Gurgun, A. P. (2023). Developing a National Data-Driven Construction Safety Management Framework with Interpretable Fatal Accident Prediction, *Journal of Construction Engineering and Management,* 149(4).

Koçak, A. & Diyadin, A. (2018). Sanayi 4.0 Geçiş Süreçlerinde Kritik Başarı Faktörlerinin DEMATEL Yöntemi ile Değerlendirilmesi, *Ege Academic Review*, 18(1), 107-120.

Konting, M. M., Kamaruddin, N., & Man, N. A. (2009). Quality assurance in higher education institutions: Exit survey among Universiti Putra Malaysia graduating students, *International Education Studies*, 2(1).

Koshy, K., Shendell, D. G., Presutti, M. J. (2021). Perspectives of region II OSHA authorized safety and health trainers about initial COVID-19 response programs, *Safety Science*, 138, 105193.

Kukoyi, P. O., & Smallwood, J. J. (2017). A Qualitative Study of Health and Safety (H&S) Construction Practices in Lagos. Journal of Construction Business and Management, 1(1),1-7.

Kul, B. (2021). *Yönetimde etik zeka ve yeterlilik*, IKSAD Publishing, ISBN: 978-625-7562-05-8, Ankara, Türkiye.

Kurien, M., Kim, M-K., Kopsida, M., Brilakis, İ. (2018). Real-time simulation of construction workers using combined human body and hand tracking for robotic construction worker system, *Automation in Construction*, 86, 125-137.

Kusma, V. V., Geronimo, B. M., Zola, F. C., Aragao, F. V., Chiroli, D. M. G., Kovaleski, J. L. (2024). A Maturity model of occupational safety and health in industry 4.0: analysis in brazilian organizations, *Journal of safety and sustainability*, 1(4), 234-246.

Kvale, S. (1996). *InterViews: An introduction to qualitative research interviewing*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Kwon, N., Park, M., Lee, H-S., Ahn, J., Kim, S. (2017). Construction noise prediction model based on case-based reasoning in the preconstruction phase, *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(6), 04017008.

Kwon, N., Song, K., Hyun-Soo, L., Kim, J., Park, M. (2018). Construction noise risk assessment model focusing on construction equipment, *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(6), https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001480.

Larios, J.A., Sanz, M. A., Pellicer, E., Catala, J. (2012). Construction health and safety from a lean production approach. *16th International Congress on Project Engineering,* Valencia, 11-13 July, ss. 27-37.

Leard statistics web sayfası. (2018). *Mann-Whitney U Test using SPSS statistics*. Erişim, 07.05.2025, https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/mann-whitney-u-test-using-spss-statistics.php.

Lee, M., Jeong, J., Jeong, J., Lee, J. (2021). Exploring fatalities and injuries in construction by considering thermal comfort using uncertainty and relative importance analysis, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 5573.

Leso, V., Fontana, L., Iavicoli, I. (2018). The occupational health and safety dimension of Industry 4.0, *La Medicina del lavoro*, 110(5), 327–338.

Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., Shen, G. Q. (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction, *Automation in Construction,* 89, 146-161.

Liang, A. W., Kuznetsova, E., Lee, T. J., Ng, A. T. S. (2020). Extended inherent safety index-Analysis of chemical, physical and biological inherent safety, *Journal of Cleaner Production*, 248, 119258.

Lim, T. K., Park, S. M., Lee, H. C., Lee, D. E. (2016). Artificial neural network–based slip-trip classifier using smart sensor for construction workplace, *J. Constr. Eng. Manage*., 142(2): 04015065.

Lin, C., Hu, Z. Z., Yang, C., Deng, Y. C., Zheng, W., Lin, J. R. (2022). Maturity Assessment of Intelligent Construction Management, *Buildings*, 12(10), 1742.

Lin, Y.C. & Cheung, W. F. (2020). Developing WSN/BIM-based environmental monitoring management system for parking garages in Smart cities, *J. Manage. Eng.,* 36(3), 04020012.

Ling, Y. M., Abdul Hamid, N. A., Chuan, L. T. (2020). Is Malaysia ready for Industry 4.0? Issues and Challenges in Manufacturing Industry, *International Journal of Integrated Engineering*, 12(7), 134-150.

Lipscomb, H. J., Glazner, J.E., Bondi, J., Guarini, K., Lezotte, D. (2006). Injuries from slips and trips in construction, *Applied Ergonomics*, 37(3), 267-274.

Liu, H., Sydora, C., Altaf, M. S., Han, S., Al-Hussein, M. (2019). Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings, *Journal of Cleaner Production*, 235, 1189-1201.

Liu, Y., Li, M., Wong, B. C. L., Chan, C. M., Cheng, J. C.P., Gan, V. J. L. (2021). BIM-BVBS integration with openBIM standards for automatic prefabrication of steel reinforcement, *Automation in Construction*, 125, 103654.

Liu, Y., Wang, Y., Yang, Z., Yu, T. (2018). On-site safety uncertainties assessment of construction based on cloud model and fuzzy sets theory. *ICCREM*, 1-12.

Lombardi, M., Fargnoli, M., Parise, G. (2019). Risk Profiling from the European Statistics on Accidents at Work (ESAW) Accidents? Databases: A Case Study in Construction Sites, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 4748.

Loushine, T. W., Peter, L.T., Hoonakker, P. C., Smith, M. J. (2006). Quality and Safety Management in Construction, *Total Quality Management & Business Excellence*, 17(9), 1171-1212.

Luthra, S. & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies, *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.

Malaby, F. (2016). Reflections of a former OSHA official on the laboratory standard, *Journal of Chemical Health and Safety*, 23(5), 6-11.

Maliha, M.N., Abu Aisheh, Y. I., Tayeh, B.A., Almalki, A. (2021). Safety Barriers Identification, Classification, and Ways to Improve Safety Performance in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry: Review Study, *Sustainability*, 13, 3316.

Martinez-Rojas, M., Antolin, R. M., Salguero-Caparros, F., Rubio-Romero, J. C. (2020). Management of construction safety and health plans based on automated content analysis, *Automation in Construction*, 120,103362.

Maryani, A., Sudiarno, A., Dewi, R. S. (2019). Designing safety maturity level questionnaire of construction project, *International conference on industrial technology*, 109-114, doi: 10.5220/0009423001090114.

Masood, T. & Egger, J. (2020). Adopting augmented reality in the age of industrial digitalization, *Computers in Industry*, 115, 103112.

Mastermover. (2024). Understanding Manual Handling Weight Limits. Erişim: 26.02.2025, https://www.mastermover.com/manual-handling/manual-handling-weight-limits.

Mastrangelo, G., Perticaroli, S., Camipo, G., Priolo, G., Leva, A., Merich, D., Marangi, G., Fedeli, U., Fadda, E., Scoizzato, L., Marchiori, L. (2008). Working and health conditions and preventive measures in a random sample of 5000 workers in the Veneto Region examined by telephone interview, *Med Lav.,* 99(1),9-30.

Mazibuko, N. & Smallwood, J. (2022). Improving health and safety (H&S) on South African construction projects with Industry 4.0. *International conference on construction in the 21st Century*, Amman, 184703.

McGregor, D. (1960). *Theory X and Theory Y*. Organization Theory, 358, 5.

Medicalpark. (2025). *Kontakt dermatit nedir? belirtileri ve tedavi yöntemleri nelerdir?*. Erişim: 26.02.2025. https://www.medicalpark.com.tr/kontakt-dermatit/hg-2962.

Mentalup. (2019). *Çoklu zeka kuramı ve zeka türleri*. Erişim: 28052025, https://www.mentalup.net/blog/coklu-zeka-kurami-ve-zeka-turleri.

Mertens, D. M., Bazeley, P., Bowleg, L., Fielding, N., Maxwell, J., Molina-Azorin, J. F., Niglas, K. (2016). *The future of mixed methods: A five year projection to 2020*, https://mmira.wildapricot.org/ resources/Documents/MMIRA%20task%20force%20report%20Jan20 16%20final .pdf.

Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data, *Annals of cardiac anaesthesia*, 22(1), 67.

Mizrak, K. C. (2020). Agile occupational safety management system model and evaluation of the proposed model in an automative company, *International Journal of Management and Administration*, 4(8), 228-244.

Mneymneh, B. E., Abbas, M., Khoury, H. (2018). Vision-Based Framework for Intelligent Monitoring of Hardhat Wearing on Construction Sites, *Journal of Computing in civil Engineering*, 33(2), https://doi.org/10.1061/(ASCE)İP.1943-5487.0000813.

Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Giraldo, S. T., Valencia, E. T., Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs, *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384-1400. 10.1080/00207543.2019.1636323.

Mohamed, R. B., Hassan, C. R. B. C., Hamid, M. D. (2018). Developing a risk-based inspection practices maturity model for Malaysian industries, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 217-230.

Molina, A. J. F. (2016). Mixed methods research: An opportunity to improve our studies and our research skills, *European Journal of Management and Business Economics*, 25(2), 37-38.

Moreira, F. G. P., Ramos, A. L. F., Fonseca, K. R. C. (2021). Safety culture maturity in a civil engineering academic laboratory, *Safety Science*, 134, 105076.

Moshood, T. D., Adeleke, A.Q., Nawanir, G., Ajibike, W.A., Shittu, R.A (2020). Emerging challenges and sustainability of industry 4.0 era in the Malaysian construction industry, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 9(1), 1627-1634.

Mucenski, V., Pesko, I., Velkovski, T., Caloska, J., Vujkov, A., Bibic, D. (2018). Impact of Construction Machinery and Tools on Non-Fatal Injuries in the Building Processes, *Tehnički vjesnik*, 25(6), https://doi.org/10.17559/TV-20170703160241.

Nadhim, E.A., Hon, C., Xia, B.; Stewart, I., Fang, D. (2016). Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13, 638. https://doi.org/10.3390/ijerph13070638.

Nasab, R. A., Malekitabar, H., Elzarka, H., Nekouvaght, T. A., Ghorab, K. (2023). Managing Safety Risks from Overlapping Construction Activities: A BIM Approach, *Buildings*, 13, 2647.

National safety council. (2025). *Struck by objects*, https://www.nsc.org/workplace/safety-topics/struck-by-objects?srsltid=AfmBOoobnJjyaOzBbQ6SicHPf_LuUFlVRyhvbSuw8Lrr0HbPMF0HRZsa. Son erişim tarihi: 26.02.2025.

Nawi, M. N. M., Ibrahim, S. H., Affandi, R., Rosli, N.A., Basri, F. M. (2016). Factor affecting safety performance construction industry*, International Review of Management and Marketing*, 6(S8) 280-285.

Neitzel, D. K. (2016). Electrical safety by design and maintenance, *IEEE Pulp, Paper & Forest Industries Conference (PPFIC)*, Austin, TX, USA, ss.6-13, doi: 10.1109/PPIC.2016.7523460.

Nnaji, C. & Karakhan, A. A. (2020). Technologies for safety and health management in construction: Current use, implementation benefits and limitations, and adoption barriers, *Journal of Building Engineering*, 29, 101212.

Nwaiwu, F., Duduci, M., Chromjakova, F. (2019). Assesment of the Critical Success Factors that Enable Implementation of Industry 4.0 Concepts in Manufacturing Companies within the SME Sector in the Czech Republic. *International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Economica Engineering,* Vilnius, Lithuania.

Oesterreich, T. D. &Teuteberg, F. (2018). Looking at the big picture of IS investment appraisal through the lens of systems theory: A System Dynamics approach for understanding the economic impact of BIM, *Computers in Industry*, 99, 262-281.

OGC (Office of Government Commerce). (2006). *Portfolio, Programme&Project Management Maturity Model* (P3M3), Version 1.0, Crown copyright.

Okpala, I., Nnaji, C., Awolusi, I. (2019). Emerging Construction Technologies: State of Standard and Regulation Implementation, *Computing in civil Engineering,* 153-161.

Oladotun, A. J. & Edosa, O. M. (2016). *The Needs for Professionalism and Competency in the Construction Industry*, International Journal of Built Environmental and Sustainability, 3(3), 184-190.

Olivencia, E. R., Del Puerto, C. L., Perdomo, J. L., Gonzalez, O. A. A. (2017). Developing and Assessing a safety training module to reduce the risk of cave-ins in the construction industry. *Annual Conference and Exposition, conference proceedings,* 129594.

Olugboyega, O.&Windapo, A. (2019). Building Information Modeling- Enabled Construction Safety Culture and Maturity Model: A Grounded Theory Approach, *Front. Built Environ*, 5(35), doi: 10.3389/fbuil.2019.00035.

Omacan, C. (2008). *Yazılım Şirketlerinde CMMI ve Bir Yazılım Şirketinde CMMI'nın Performansa Etkilerinin İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye.

Onur, İ. (2007). *Proje Yönetiminde Stratejik Planlama ve Olgunluk Modeli Kapsamında Yapılan Bir Uygulama*. (Yüksek lisans tezi).Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye.

OSHA. (2021). *Top 10 most frequently cited standards*. Erişim: 15.08.2022, https://www.osha.gov/top10citedstandards.

OSHA. (2005). *Worker safety series construction.* Occupational Health and Safety Administration A Pocket Guide, OSHA 3252-05N 2005, www.osha.gov.

Oshwiki. (2020). *Musculoskeletal disorders and prolonged static standing*. Erişim: 26.02.2025, https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/musculoskeletal-disorders-and-prolonged-static-standing.

Oswald, D. & Lingard, H. (2019). Development of a frontline H&S leadership maturity model in the construction industry, *Safety Science*, 118, 674-686.

Pallant, J. & Manual, S. S. (2011). *A step by step guide to data analysisusing spss*, 4.baskı. Australia: Allen & Unwin.

Paoletta, D. (2019). *The ultimate OSHA compliance guide*. Erişim: 18.07.2022, https://safesitehq.com/osha-compliance/.

Pariafsai, F. & Behzadan, A. H. (2021). Core Competencies for Construction Project Management: Literature Review and Content Analysis, *Journal of civil Engineering Education*, 147(4), 04021010.

Parida, R. & Ray, P. K. (2012). Study and analysis of occupational risk factors for ergonomic design of construction worksystems, *Work*, 41,3788-3794, https://content.iospress.com/download/work/wor0679?id=work%2Fwor0679.

Park, J. & Kim, **Y.** (2021). Factors that Affect Depression and Anxiety in Service and Sales Workers Who Interact with angry Clients, *Safety and Health at Work*, 12(2), 217-224.

Patel, D. A. & Jha, K. N. (2015). Neural network approach for safety climate prediction, *J. Manage. Eng*., 31(6), 05014027.

Patel, D. A. & Jha, K. N. (2017). Developing a process to evaluate construction project safety hazard index using the possibility approach in India, *J. Constr. Eng. Manage*., 143(1), 04016081.

Pereira, E., Han, S., AbouRizk, S. (2018). Integrating case-based reasoning and simulation modeling for testing strategies to control safety performance, *J. Comput. civ. Eng*., 32(6), 04018047.

Perez, J. P. C., Perez, A. C., Muriel, P. P. (2020). BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance, *Automation in Construction*, 113, 103115.

Perrier, N., Bled, A., Bourgault, M., Cousin, N., Danjou, C., Pellerin, R., Roland, T. (2020). Contruction 4.0: a survey of research trends, *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 416-437.

Pillsbury, W., Clevenger, C. M., Abdallah, M., Young, R. (2020). Capabilities of an assessment system for construction worker physiology, *J. Perform. Constr. Facil*., 34(2), 04019120.

Poghosyan, A., Manu, P., Mahamadu, A., Akinade, O., Mahdjoubi, L., Gibb, A., Behm, M. (2020). A web-based design for occupational safety and health capability maturity indicator, *Safety Science*,122,104516.

Pozzi, R., Rossi, T., Secchi, R. (2023). Industry 4.0 technologies: critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies, *Production Planning&Control*, https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1891481.

Pratheesh, T. & Khalid, P. S. (2024). Influence of Howard Gardner's linguistic intelligence on effective communication, *International Research Journal of Multidisciplinary Scope*, 5(2), 691-698.

Prodyanatasari, A., Prayitno, M. A., Leuwol, F. S., Aminah, S., Maskur, M. (2023). Comparison of educational theories: perspectives of Carol Dweck and Howard Gardner in developing individual potential, *Education and Learning Journal*, 2(6), 725-732.

Prospect. (2023). *Noise at work*. Erişim: 26.02.2025, https://prospect.org.uk/article/noise-at-work/.

Ramos-Hurtado, J., Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Deraemaeker, A., Valero I. (2022). Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection, *Buildings*, 12, 500, https://doi.org/10.3390/buildings12040500.

Riaz, Z., Arslan, M., Pena, M. F. (2015). Challenges in data management when monitoring confined spaces using BIM and wireless sensor technology, *Congress on computing in civil engineering, proceedings*, ss.123-130.

Riaz, Z., Edwards, D. J., Thorpe, A. (2006). SightSafety: A hybrid information and communication technology system for reducing vehicle/pedestrian collisions, *Automation in Construction*, 15(6),719-728.

Ribeiro, A., Amaral, A., Barros, T. (2021). Project manager competencies in the context of the industry4.0, *Procedia Computer Science*, 181,803–810.

Rousseaux, C. G. & Gad, S. C. (2018). Statistical Assesment of toxicologic pathology studies (bölüm 30). *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology*, 3.baskı, Elsevier, http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00030-3.

Sadeghi, M., Mahmoudi, A., Deng, X. (2022). Adopting distributed ledger technology for the sustainable construction industry: evaluating the barriers using Ordinal Priority Approach, *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 10495–10520.

Safeopedia. (2018). *OSHA regulations*. Erişim: 18.07.2022, https://www.safeopedia.com/definition/466/osha-regulations.

Safety culture. (2022). *OSHA standards: A guide to health and safety compliance*. Erişim: 18.07.2022, https://safetyculture.com/topics/osha-standards/.

Safetysign. (2022). *What are OSHA standards?*. Erişim: 18.07.2022. https://www.safetysign.com/what-are-osha-standards.

Salman, D. (2018). *Gardner'ın çoklu zeka kuramı*. Erişim tarihi: 28.05.2025, https://medium.com/@dogokon/gardner%C4%B1n-%C3%A7oklu-zeka-kuram%C4%B1-78d898531d4d.

Sasseville, D. (2008). Occupational contact dermatitis, All Asth Clin Immun 4, 59, https://doi.org/10.1186/1710-1492-4-2-59.

Sauni, R., Virtema, P., Pääkkönen, R. (2010). Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome, *Int Arch Occup Environ Health*, 83, 209-216, https://doi.org/10.1007/s00420-009-0441-6.

Schober, P., Boer, C., Schwarte, L.A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation, *Anesth Analg*, 126(5):1763-1768.

Schranz, C., Urban, H., Gerger, A. (2021). Potentials of augmented reality in a BIM based building submission process, *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 441-457.

Sehsah, R., El-Gilany, A. H., Ibrahim, A. M. (2020). Personal protective equipment (PPE) use and its relation to accidents among construction workers, Med Lav., 111(4), 285-295.

Shah N, Gupta P, Singh T. (2024). Skill or Competency: What Should we be Assessing?, *Medical Education*, PII: S097475591600594.

Shahhosseini, V. & Sebt, M. H. (2011). Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects, *Scientia Iranica*, 18(2), 163-180.

Shrm. (2022). *What are OSHA standards?*. Erişim: 18.07.2022, https://www.shrm.org/resourcesandtools/tools-and-samples/hr-qa/pages/industrystandards.aspx.

Siemiatycki, J. (2020). *Historical Overview of Occupational Cancer Research*. In: Anttila, S., Boffetta, P. (eds) Occupational Cancers, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30766-0_1.

Smallwood, J. &Allen, C. (2023). Practitioners' perceptions of the potential impact of Industry 4.0 on construction health and safety, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(2), 486–501.

Soltanmohammadlou, N., Rashidian, S., Hon, C. K. H. (2023). Towards construction safety management maturity model in the Industry 4.0 Era: A state-of-the-Art Review. *Proceesings of the 23rd International conference on construction applciations of virtual reality,* ss.515-525, doi:10.36253/979-12-215-0289-3.50.

Sony, M. Antony, Dermott, O.M., Garza-Reyes, J.A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and servize sector, *Technology in Society*, 67, 101754.

Sourani, A. & Sohail, M. (2015). The delphi method: review and use in construction management research, *International Journal of Construction Education and Research*, 11(1), 54-76, https://doi.org/10.1080/15578771.2014.917132.

Stålhane, T. & Myklebust, T. (2016). The Agile Safety Case. In: Skavhaug, A., Guiochet, J., Schoitsch, E., Bitsch, F. (eds) Computer Safety, Reliability, and Security. SAFECOMP. *Lecture Notes in Computer Science,* 9923. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-45480-1_1.

Stepchangeinsafety web sayfası (t.y.). Prevention of personal injury. Slipps, tripps and falls. Erişim: 26.02.2025, https://www.stepchangeinsafety.net/slips-trips-and-falls/.

Störmer, E., Patscha, C., Prendergast, J., Daheim, C., Rhisiart, M., Glover, P.&Beck, H. (2014)**.** *The Future of Work: Jobs and skills in 2030*.

Strauss, S. (2013). A call for a multidisciplinary approach to the scientific study of teaching: Inspirations from Howard Gardner. In M. Kornhaber & E. Winner (Eds.), *Mind, work, and life: A Festschrift on the occasion of Howard Gardner's 70th birthday, with an introduction and comments by Howard Gardner.*

Suferi, N. S. M. & Rahman, M. M. (2021). Adopting Industry 4.0 in Construction Industry, *International Journal of Integrated Engineering*, 13(7),27-33.

Sukathong, S., Suksawang, P., Naenna, T. (2021). Analyzing the importance of critical success factors for the adoption of advanced manufacturing Technologies, *International Journal of Engineering Business Management,* 13, 1–16.

Sunindijo, R. Y.& Zou, P. X. W. (2011). Influence of technical skill on safety task implementation and safety climate development in construction, In: Egbu, C. and Lou, E.C.W. (Eds.) *Procs 27th Annual ARCOM Conference,* Bristol, UK, 269-278.

Sykes, L. M., Gani, F., Vally, Z. (2016). Statistical terms part1: The meaning of the MEAN, and other statistical terms commonly used in medical research, *South african dental journal*, 71(6).

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics (6th ed.),* Boston, MA: Pearson.

Taher, G. (2021). Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities, *Management Studies and Economic Systems (MSES),* 6 (3/4), 109-127.

Talu, N. (1999). Çoklu Zeka Kuramı ve Eğitime Yansımaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 5, 64-172.

Tamimi, A., Ansari, A., Kashwani, G., Sajwani, A. (2017). Application of "TQM" and "TSM" in UAE Construction Safety Management, *Ind Eng Manage* 6, 220, doi:10.4172/2169-0316.1000220.

Tang, A., Babar, M. A., Gorton, I., Han, J. (2005). A survey of the use and documentation of architecture design retionale, *Fifth working IEEE/IFIP Conference on Software architecture (WICSA 2005),* Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Tatlıcı, K. G. & Sertyesilisik, B. (2023). A Preliminary list of lean and sustainablility based supplier selection criteria in the construction industry, *ITU A/Z*, 20(3), 617-642.

Taylor, E. L. (2015). Safety benefits of mandatory OSHA 10 h training, *Safety Science*, 77, 66-71.

Tennant, C. (2001). Work-related stress and depressive disorders, *Journal of Psychosomatic Research*, 51(5), 697-704.

Tepe, S. (2021). The impact of Industry 4.0 on occupational health and safety, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.*, 33(1), 122-130.

The Irish Advantage. (2021). Erişim: 03.11. 2021, https://irishadvantage.com/key-trends-uk-construction/, last accessed.

Thenbs. (2018). *12 of the biggest health and safety risks in construction*. Erişim:26.02.2025.https://www.thenbs.com/knowledge/12-of-the-biggest-health-and-safety-risks-in-construction.

Tixier, A. J. P., Hallowell, M. R., Albert, A., Boven, L., Kleiner, B. M. (2014). Psychological antecedents of risk-taking behavior in construction, J. Constr. Eng. Manage.,140(11), 04014052.

Todi, B., Pitmann, S., Patwari, B. (2021). Erişim: https://medium.com/autodesk-university/integrated-bim-workflows-in-modular-prefabricated-construction-concept-to-fabricate-2cff9b3573e1.

Toyin, J. O., Azhar, S., Sattineni, A., Fasoyinu, A. A. (2024). Investigating the influence of ICT application in construction jobsites: A systematic review and bibliometric analysis, *Journal of Information Technologhy in Construction*, 29, 444-479.

Trinh, M. & Feng, Y. (2022). A maturity model for resilient safety culture development in construction companies, *Buildings,* 12(6), https://doi.org/10.3390/buildings12060733.

Tuğberk, C. & Şirin, S. (2024). Beyond Intelligence: The life and work of Howard Gardner. In: Geier, B.A. (eds) *The Palgrave Handbook of Educational Thinkers*, Palgrave Macmillan, Cham.

Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H.D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., Căpusneanu, S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania, *Processes*, 7, 153; 10.3390/pr7030153.

University of Cambridge. (2018). *Testing normality including skewness and kurtosis.* Erişim: 07.05.2025, https://imaging.mrc-cbu.cam.ac.uk/statswiki/FAQ/Simon.

Vem, L. J., Ng, I. S., Sambasivan, M., Kok, T. K. (2024). Spiritual intelligence and teachers' intention to quit: the mechanism roles of sanctification of work and job satisfaction, *International Journal of Educational Management*, 38(1), 178-196.

Venkatesh, P.& Ergan, S. (2023). Clarification of challenges in achieving BIM-based safety-requirement checking in vertical construction projects, *Journal of construction engineering and management,* 149(12),04023131.195.

Verma A. & Ventakesan M. (2022)**.** HR factors for the successful implementation of Industry 4.0: A systematic literature review, *Journal of General Management,* 47(2), 73-85.

Vetter, T. R. (2017). Descriptive Statistics: Reporting the Answers to the 5 Basic Questions of Who, What, Why, When, Where, and a Sixth, So What? *Anesth Anal*, 125(5),1797-1802.

Vignoli, M., Nielsen, K., Guglielmi, D., Mariani, M. G., Patras, L., Peiro, J. M. (2021)**.** Design of a safety training package for migrant workers in the construction industry, *Safety Science*, 136.

Wan, T. (2022). Construction model of urban public safety emergency management information system with computer technology, *International conference on mechanisms and robotics (ICMAR 2022)*, edited by Zeguang Pei, Proc. of SPIE, 12331, 123315U.

Wang, B. & Wu, C. (2020). Safety informatics as a new, promising and sustainable area of safety science in the information age, *Journal of Cleaner Production*, 252,119852.

Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., Wang, X. (2018). A Critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training, *International journal of environmental research and public health*, 15(6).

Wang, X. & Dunston, P. S. (2007). Design, strategies and issues towards and augmented reality-based construction training platform, *ITcon,* 12, 363-380.

Waqar, A., Alrasheed, K.A., Benjeddou, O. (2024). Enhancing construction managementoutcomes through the mitigation of robotics implementation barriers: A sustainable practice model, *Environmental challenges*.16, https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100989.

Wassell, J. T. (2009). Workplace violence intervention effectiveness: A systematic literature review, *Safety Science*, 47(8),1049-1055.

Waterhouse, L. (2006). Multiple Intelligences, the Mozart Effect, and Emotional Intelligence: A Critical Review, *Educational Psychologist*, 41(4), 207-225.

Wetzel, E. M. & Thabet, W. Y. (2018). A Case study towards transferring relevant safety information for facilities maintenance using BIM, *Journal of Information Technology in Construction*, 23, 53-74.

Woodson, R. D. (2012). OSHA requirements for lead construction. Construction Hazardous Materials Compliance Guide: Lead Detection, *Abatement, and Inspection Procedures,* 47-78.

Worksafe. (2024). *Lifting, carrying, pushing, and pulling - what's the problem?*.Erişim:26.02.2025, https://www.worksafe.govt.nz/topic-and-industry/manual-handling/lifting-carrying-pushing-and-pulling-whats-the-problem/.

Worksafe. (2025). *How to Avoid Repetitive Strain Injuries (RSI) at Work.* Erişim: 26.02.2025, https://www.worksafe.uk.com/first-aid/how-to-avoid-repetitive-strain-injuries-rsi-at-work/.

Wu, X., Yuan, H., Wang, G., Li, S., Wu, G. (2019). Impacts of lean construction on Safety Systems: A System Dynamics Approach, Int. J. Environ. Res. Public Health, 16, 221, https://doi.org/10.3390/ijerph16020221.

Xu, Y., Zhou, Y., Sekula, P., Ding, L. (2021). Machine learning in construction: From shallow to deep learning, *Developments in the Built Environment*, 6,100045.

Yadav, N., Shankar, R., Singh, S.P. (2021). Critical success factors for lean six sigma in quality 4.0, *International journal of quality and service sciences*, 13(1),123-156.

Yap, J. B. H., Lee, K. P. H., Wang, C. (2023). Safety enablers using emerging technologies in construction projects: empirical study in Malaysia, *Journal of engineering, design and technology*, 21(5), 1414-1440.

Ye, X. W., Ni, Y.Q., Yin, J. H. (2013). Safety Monitoring of Railway Tunnel Construction Using FBG Sensing Technology, *Advances in Structural Engineering*, 16(8), 1401-1409.

Yeo, C. J., Yu, J. H., Kang, Y. (2020). Quantifying the effectiveness of IoT technologies for accident prevention, *J. Manage. Eng.,* 36(5), 04020054.

Yeung, J., F., Y., Chan, A. P. C., Chan, D., W., M., Li, L.K. (2007). Development of a partnering performance index (PPI) for construction projects in Hong Kong: a Delphi study, *Construction Management and Economics*, 25(12), 1219-1237.

Yıldız, D. A. (2016). *Proje Yönetiminde Olgunluk Seviyesi Ölçülmesine Yönelik Araştırma.* (Yüksek lisans tezi). Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi Anabilim Dalı, İşletme Bilim Dalı, İstanbul.

Yoon, S., Chang, T., Chi, S. (2024). Developing an Integrated Construction Safety Management System for Accident Prevention, *Journal of Management in Engineering,* 40(6), 10.1061/JMENEA.MEENG-6074.

Zabidin, N. S., Belayutham, S., Ibrahim, C. K. I. C. (2021). Awareness and Barriers of Industry 4.0 and Education 4.0 between Construction Players and Academicians in Malaysia, *Journal of Technology Management and Business,* 27-37, https://doi.org/10.30880/jtmb.2021.08.02.003.

Zhang, M., Cao, Z., Yang, Z., Zhao, X. (2020a). Utilizing computer vision and fuzzy inference to evaluate level of collision safety for workers and equipment in a dynamic environment, *J. Constr. Eng. Manage*.,146(6), 04020051.

Zhang, X., Zhao, C., Niu, Z., Xu, S., Wang, D. (2021). Job Insecurity and Safety Behaviour: The Mediating Role of Insomnia and Work Engagement, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 581, https://doi.org/10.3390/ijerph18020581.

Zhou, Z., Irizarry, J., Lu, Y. (2018). A multidimensional framework for unmanned aerial system applications in construction project management, *Journal of Management in Engineering*, 34(3), 04018004.

Zia, M. N. (2020). A Review Paper on Identification of Critical Success Factors (KBFs) for Successful Project Management of Construction Projects, *Journal of Management Practices, Humanities and Social Sciences,* 4(2), 29-36.

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,* 102(2).

Zorzenon, R., Lizarelli, F. L., Moura, D. B. A. A. (2022). What is the potential impact of industry 4.0 on health and safety at work?, *Safety Science*, 153, 105802.

EKLER

EK A: anket formu

EK A: anket formu

ANKET ÇALIŞMASI
Anket çalışmasına yönelik bilgilendirme:

Bu anket çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Proje Yapım ve Yönetimi Doktora programında öğrenci olan Nur Efşan Erusta'nın Prof. Dr. Begüm Sertyeşilışık danışmanlığında yaptığı "Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Güncel Yenilikçi Yaklaşımların İnşaat Sektörüne Adaptasyonu ile İş Sağlığı ve Güvenliği Problemlerinin Çözümüne Yönelik Kavramsal Bir Model" konulu doktora tezi kapsamında yapılmaktadır. Çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların inşaat sektörüne adaptasyonu ile iş sağlığı ve güvenliği problemlerinin çözümüne yönelik kavramsal bir model oluşturmaktır.

Bu kapsamda sizi anket çalışmama katılabilmeniz için davet etmek isterim. Bu anket çalışmasına katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır. Bu anket çalışmasından istediğiniz zaman istediğiniz aşamada herhangi bir yaptırımla karşılaşmaksızın ayrılabilirsiniz/araştırmaya katılmaktan vazgeçebilirsiniz. Bu anket çalışması yaklaşık 30 dakika sürebilmektedir. Bu anket çalışmasında sağlayacağınız veriler ve bilgiler ve bu anket çalışmasından elde edilecek veriler ve bilgiler sadece belirtilmiş olan doktora tez çalışması ve ilgili makale, bildiri, kitap bölümü çalışmalarında anonim olarak kullanılacaktır. Elde edilen veriler ve bilgiler doktora tezi ve ilgili makale, bildiri, kitap bölümü çalışmaları dışında paylaşılmayacaktır.

Bu anket çalışması hakkında daha fazla bilgi edinmek istersiniz Nur Efşan Erusta (nurefsanerusta@gmail.com, erusta15@itu.edu.tr) e-mail adreslerinden) ile iletişime geçebilirsiniz.
Saygılarımla,
Nur Efşan Erusta
İstanbul Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Proje Yapım ve Yönetimi Doktora programı öğrencisi

A. Kişisel sorular:
*Mesleğiniz?
A. Mimar/Mühendis tabanlı İSG uzmanları
B. Diğer alt yapıya sahip İSG uzmanları
*Öğrenim düzeyiniz nedir? En son mezun olduğunuz okula göre yanıtlayınız.
A. Ön lisans-lisans eğitimi
B. Lisansüstü eğitimi
*Sektördeki tecrübe yılınız?
A. 10 yıl ve altı
B. 11 yıl ve üstü
*Çalıştığınız sektör?
A. Akademik
B. Profesyonel

Şekil A.1 : Anket çalışmasına yönelik bilgilendirme ve kişisel sorular

B. Alan soruları

1. Aşağıda verilen İSG problemlerinin ve risklerinin inşaat proje aşamalarının her birinde görülme sıklığı en yüksek olanı/ olanları işaretleyiniz.

	sözleşme, ihale	tasarım	mobilizasyon	yapım	demobilizasyon	bakım-onarım	yıkım
İş ile ilgili sağlık sorunları/*Work-related ill health* (HSE, 2020)							
İş ile ilgili stres/depresyonn veya anksiyete/ *Work-related stress, depression or anxiety* (HSE, 2020)							
İş ile ilgili kas/iskelet sistemi rahatsızlıkları/ *Work-related musculoskeletal disorders* (HSE, 2020)							
Mesleki akciğer hastalığı/*Occupational lung disease* (HSE, 2020)							
Mesleki kanser/ *Occupational Cancer* (HSE, 2020)							
Mesleki sağırlık/ *Occupational Deafness* (HSE, 2020)							
El kol titreşimi (büyük ölçüde iki koşuldan oluşur, titreşim beyaz parmak ve karpal tünel sendromu) /*Hand Arm Vibration (largely made up of two conditions, Vibration White Finger and Carpal Tunnel Syndrome)* (HSE, 2020)							
Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı / *Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)* (HSE, 2020)							
Kontakt dermatit/ *Contact dermatitis* (HSE, 2020)							
İş yeri yaralanmaları/ *Workplace injury* (HSE, 2020)							
Aynı seviyede kaymalar, takılmalar veya düşmeler / *Slips, trips or falls on same level* (HSE, 2020)							
Yükleme/iletme, kaldırma veya taşıma / Handling, *lifting or carrying* (HSE, 2020)							
Hareket eden nesnenin çarpması/ *Struck by moving object* (HSE, 2020)							
Şiddet içeren davranışlar/ *Acts of violence* (HSE, 2020)							
Yüksekten düşme/ *Falls from a height* (HSE, 2020)							

Şekil A.2 : Anket çalışmasının birinci soru grubu (İSG riskleri & oluşum sıklığına ilişkin İPYD fazları) (EK A, 1)

İş yeri riskleri/ *Workplace risks*							
Makineler veya aletler/ *Machines or tools* (HSE, 2020)							
Kaldırma/hareket etme/ *Lifting/moving* (HSE, 2020)							
Araçlar/ vehicles (HSE, 2020)							
Tekrarlayan hareketler/ *Repetetive movement* (HSE, 2020)							
Kaymalar, takılmalar veya düşmeler/ *Slips, trips or falls* (HSE, 2020)							
Kimyasal, biyolojik / *Chemical/biological* (HSE, 2020)							
Yüksek ses/ *Loud noise* (HSE, 2020)							
Zor müşteriler/ *Difficult customers etc.* (HSE, 2020)							
Yorucu/ Acı veren pozisyonlar/ *Tiring/painful positions* (HSE, 2020)							
Sıcak, soğuk veya cereyan/ *Heat, cold or draught* (HSE, 2020)							
Zaman baskısı/ *Time pressure* (HSE, 2020)							
Uzun/ düzensiz saatler/ *Long/irregular hours* (HSE, 2020)							
Zayıf iletişim/ *Poor communications* (HSE, 2020)							
İş güvensizliği/ *Job insecurity* (HSE, 2020)							
Etki eksikliği/ *Lack of influence* (HSE, 2020)							
Ayrımcılık/ *Discrimination* (HSE, 2020)							
Hendek çökmesi/ *Trench collapse* (OSHA, 2005)							
İskele çökmesi/ *Scaffold collapse* (OSHA, 2005)							
Elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması/ *Electric shock and arc flash/arc blast*; (OSHA, 2005)							
Uygun kişisel koruyucu ekipmanın kullanılmaması /*Failure to use proper personal protective equipment;* (OSHA, 2005)							

Şekil A.2 (devamı): Anket çalışmasının birinci soru grubu (İSG riskleri & oluşum sıklığına ilişkin İPYD fazları) (EK A, 1)

2. Aşağıda verilen İSG problemlerinin kök nedenleri, inşaat sektöründeki hangi aşamada/aşamalarda yapılan eksikliklerden kaynaklanmaktadır? (işaretleyiniz)

	Sözleşme-ihale	tasarım	mobilizasyon	yapım	demobilizasyon	bakım-onarım	yıkım
İş ile ilgili sağlık sorunları/*Work-related ill health* (HSE, 2020)							
İş ile ilgili stres/depresyonn veya anksiyete/ *Work-related stress, depression or anxiety* (HSE, 2020)							
İş ile ilgili kas/iskelet sistemi rahatsızlıkları/ *Work-related musculoskeletal disorders* (HSE, 2020)							
Mesleki akciğer hastalığı/*Occupational lung disease* (HSE, 2020)							
Mesleki kanser/ *Occupational Cancer* (HSE, 2020)							
Mesleki sağırlık/ *Occupational Deafness* (HSE, 2020)							
El kol titreşimi (büyük ölçüde iki koşuldan oluşur, titreşim beyaz parmak ve karpal tünel sendromu) /*Hand Arm Vibration (largely made up of two conditions, Vibration White Finger and Carpal Tunnel Syndrome)* (HSE, 2020)							
Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı / *Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)* (HSE, 2020)							
Kontakt dermatit/ *Contact dermatitis* (HSE, 2020)							
İş yeri yaralanmaları/ Workplace injury (HSE, 2020)							
Aynı seviyede kaymalar, takılmalar veya düşmeler / *Slips, trips or falls on same level* (HSE, 2020)							
Yükleme, kaldırma veya taşıma / *Handling, lifting or carrying* (HSE, 2020)							
Hareket eden nesnenin çarpması/ *Struck by moving object* (HSE, 2020)							
Şiddet içeren davranışlar/ *Acts of violence* (HSE, 2020)							
Yüksekten düşme/ *Falls from a height* (HSE, 2020)							

Şekil A.3 : Anket çalışmasının ikinci soru grubu (İSG riskleri & kök nedenlere ilişkin İPYD fazları) (EK A, 2)

İş yeri riskleri/ *Workplace risks*							
Makineler veya aletler/ *Machines or tools* (HSE, 2020)							
Kaldırma/hareket etme/ *Lifting/moving* (HSE, 2020)							
Araçlar/ *vehicles* (HSE, 2020)							
Tekrarlayan hareketler/ *Repetetive movement* (HSE, 2020)							
Kaymalar, takılmalar veya düşmeler/ *Slips, trips or falls* (HSE, 2020)							
Kimyasal, biyolojik / *Chemical/biological* (HSE, 2020)							
Yüksek ses/ *Loud noise* (HSE, 2020)							
Zor müşteriler/ *Difficult customers etc.* (HSE, 2020)							
Yorucu/ Acı veren pozisyonlar/ *Tiring/painful positions* (HSE, 2020)							
Sıcak, soğuk veya cereyan/ *Heat, cold or draught* (HSE, 2020)							
Zaman baskısı/ *Time pressure* (HSE, 2020)							
Uzun/ düzensiz saatler/ *Long/irregular hours* (HSE, 2020)							
Zayıf iletişim/ *Poor communications* (HSE, 2020)							
İş güvensizliği/ *Job insecurity* (HSE, 2020)							
Etki eksikliği/ *Lack of influence* (HSE, 2020)							
Ayrımcılık/ *Discrimination* (HSE, 2020)							
Hendek çökmesi/ *Trench collapse* (OSHA, 2005)							
İskele çökmesi/ *Scaffold collapse* (OSHA, 2005)							
Elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması/ *Electric shock and arc flash/arc blast*; (OSHA, 2005)							
Uygun kişisel koruyucu ekipmanın kullanılmaması /*Failure to use proper personal protective equipment*; (OSHA, 2005)							

Şekil A.3 (devamı): Anket çalışmasının ikinci soru grubu (İSG riskleri & kök nedenlere ilişkin İPYD fazları) (EK A, 2)

3. Her bir İSG probleminin ve riskinin, belirtilen Endüstri 4.0 teknolojileri ve güncel yenilikçi yaklaşımlar kullanılarak önlenebilme potansiyelini/bu teknolojiye entegre olabilme potansiyelini değerlendiriniz. (1 en düşük, 5 en yüksek)

	MÖ	BGT	Nİ	ITUT	İHA	GT	R	S3DF	YBS	SG	AG	Y	Ç	TKY	Diğer
İş ile ilgili stres/depresyon veya anksiyete/ *Work-related stress, depression or anxiety* (HSE, 2020)															
İş ile ilgili kas/iskelet sistemi rahatsızlıkları/ *Work-related musculoskeletal disorders* (HSE, 2020)															
Mesleki akciğer hastalığı/ *Occupational lung disease* (HSE, 2020)															
Mesleki kanser/ *Occupational Cancer* (HSE, 2020)															
Mesleki sağırlık/ *Occupational Deafness*; (HSE, 2020)															
El kol titreşimi(büyük ölçüde iki koşuldan oluşur, titreşim beyaz parmak ve karpal tünel sendromu)/*Hand Arm Vibration (largely made up of two conditions, Vibration White Finger and Carpal Tunnel Syndrome).* (HSE, 2020)															
Kronik Obstrüktif Akciğer hastalığı/ *Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)* (HSE, 2020)															
Kontakt dermatit/Contact dermatitis (HSE, 2020)															
İşyeri yaralanmaları/*Workplace injury* (HSE, 2020)															
Aynı seviyede kaymalar, takılmalar veya düşmeler/ *Slips, trips or falls on same level* (HSE, 2020)															
Yükleme, kaldırma veya taşıma/ *Handling, lifting or carrying* (HSE, 2020)															
Hareket eden nesnenin çarpması/ *Struck by moving object* (HSE, 2020)															
Şiddet içeren davranışlar/ *Acts of violence* (HSE, 2020)															
Yüksekten düşme/ *Falls from a height* (HSE, 2020)															
İşyeri riskleri/ *Workplace risks* (HSE, 2020)															
Makineler veya aletler/ *Machines or tools* (HSE, 2020)															
Kaldırma/hareket etme/*Lifting/moving* (HSE, 2020)															
Araçlar/ *vehicles* (HSE, 2020)															
Tekrarlayan hareketler/ *Repetetive movement* (HSE, 2020)															
Kaymalar/takılmalar veya düşmeler/*Slips, trips or falls* (HSE, 2020)															
Kimyasal, biyolojik/*Chemical/biological* (HSE, 2020)															
Yüksek ses/*Loud noise* (HSE, 2020)															

Şekil A.4 : Anket çalışmasının üçüncü soru grubu (İSG riskleri & E4T'ler ve GYY'ler) (EK A, 3)

Zor müşteriler/*Difficult customers etc.* (HSE, 2020)																
Yorucu/acı veren pozisyonlar/ *Tiring/painful positions* (HSE, 2020)																
Sıcak, soğuk veya cereyan/ *Heat, cold or draught* (HSE, 2020)																
Zaman baskısı/ *Time pressure* (HSE, 2020)																
Uzun/düzensiz saatler / *Long/irregular hours* (HSE, 2020)																
Zayıf iletişim/ *Poor communications* (HSE, 2020)																
İş güvensizliği/ *job insecurity* (HSE, 2020)																
Etki eksikliği/ *Lack of influence* (HSE, 2020)																
Ayrımcılık/ *discrimination* (HSE, 2020)																
Hendek çökmesi/ *Trench collapse* (OSHA, 2005)																
İskele çökmesi/ *Scaffold collapse* (OSHA, 2005)																
Elektrik çarpması ve ark parlaması/ark patlaması/ *Electric shock and arc flash/arc blast* (OSHA, 2005)																
Uygun kişisel koruyucu ekipmanın kullanılmaması /*Failure to use proper personal protective equipment* (OSHA, 2005)																

MÖ: Makine Öğrenimi/ *Machine Learning*
BGT: Bilgisayar Görme Tekn./*Computer Vision*
Nİ: Nesnelerin İnterneti/ *Internet of Things (IoT)*
ITUT: Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini/*Light Detection and Ranging (LiDAR)*
İHA: İnsansız Hava Aracı/ *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*
GT: Giyilebilir teknolojiler/ *Wearable technologies*
R: Robotik/ *Robotic*
S3DF: Simulasyon/3D Baskı ve Fabrikasyon
YBS: Yapı Bilgi Sistemi/BIM
SG: Sanal Gerçeklik / *Virtual Reality*
AG: Arttırılmış Gerçeklik/ *Augmented Reality*
Y: Yalın /*Lean*
Ç: Çevik /*Agile*
TKY: Toplam Kalite Yönetimi / *Total Quality Management*
D: Diğer/ *Other*

Şekil A. 4 (devamı): Anket çalışmasının üçüncü soru grubu (İSG riskleri & kök nedenlere ilişkin İPYD fazları) (EK A, 3)

4. Aşağıda verilen Endüstri 4.0 teknolojilerinin her birinin inşaat proje yaşam döngüsünün her bir aşamasına entegre olarak İSG problemlerini çözebilme potansiyelini puanlayınız. 1 en düşük (çözebilme potansiyeli olduğunu düşünmüyorum), 5 en yüksek(kesinlikle çözebilir)

	sözleşme, ihale	tasarım	mobilizasyon	yapım	demobilizasyon	bakım-onarım	yıkım
Makine Öğrenimi/ *Machine Learning* (Xu ve diğ., 2021)							
Bilgisayarla Görme Teknolojileri/ *Computer Vision Tech.* (Mneymneh ve diğ., 2018)							
Nesnelerin İnterneti /*Internet of Things (IoT)*(Okpala ve diğ., 2019)							
Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini / *Light Detection and Ranging (LiDAR) (*Akarsu ve diğ., 2008)							
İnsansız Hava Aracı /*Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)* (Zhou ve diğ., 2018)							
Giyilebilir Teknolojiler/ Wearable technologies (Bangaru ve diğ.,2020)							
Robotik/*Robotic* (Waqar ve diğ., 2024)							
Simülasyon, 3D Baskı ve Fabrikasyon teknolojileri (Kwon ve diğ.,2018; Akinade ve diğ., 2018)							
Yapı Bilgi Sistemi (BIM) (Lin ve Cheung, 2020)							
Sanal Gerçeklik / *Virtual Reality (*Eiris ve Gheisari, 2017)							
Arttırılmış Gerçeklik / *Augmented Reality* (Zollmann ve diğ., 2014)							
Diğer belirtmek istediğiniz teknoloji							
Yalın /lean (Gao ve diğ., 2023)							
Çevik / agile(Stalhane ve diğ., 2016)							
Toplam Kalite Yönetimi /Total Quality Management (Tamimi ve diğ., 2017)							
Diğer belirtmek istediğiniz güncel yenilikçi yaklaşım							

Şekil A.5 : Anket çalışmasının dördüncü soru grubu (E4T'ler ve GYY'ler & İPYD fazları) (EK A, 4)

5. İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak yapılan çalışma başlıklarının ve güncel yenilikçi yaklaşımların proje yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında İSG problemlerine çözüm olabilme potansiyellerini puanlayınız. 1 en düşük (çözebilme potansiyeli olduğunu düşünmüyorum), 5 en yüksek(kesinlikle çözebilir)

	sözleşme-ihale	tasarım	mobilizasyon	yapım	demobilizasyon	bakım-onarım	yıkım
İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile "Güvenlik İzleme/*Safety Monitoring*" (Awolusi ve diğ., 2019)							
İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile "Güvenlik Karar Verme/ *Safety Decision-Making*" (Chen ve diğ., 2010)							
İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile "Kaza Araştırma, analiz etme-değerlendirme/ *Accident investigation, analysis-assesment*"(Kim ve Chi, 2019)							
İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile "Güvenlik riskleri (kaza, felaket) önleme ve kontrol, tahmin/ *Safety risk (Accident/disaster) prevention and control / prediction"* (Yoon ve diğ., 2024)							
İnşaat Sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile Güvenlik Eğitimi ve Öğretimi/ *Safety Education and Training* (Guo ve diğ., 2024)							
İnşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri ile Acil Durum Yönetimi/*Emergency Management* (Wan, 2022)							
İnşaat sektöründe İSG problemlerinin çözümüne yönelik kullanılabilecek güncel Endüstri 4.0 teknolojileri (Smallwood ve Allen, 2023)							
Yalın yönetim yaklaşımları / Lean Management (Gao ve diğ., 2023)							
Çevik Yönetim Yaklaşımları / Agile Project Management (Stalhane ve diğ., 2016)							
Toplam Kalite Yönetimi / Total Quality Management (Tamimi ve diğ., 2017)							
Belirtmek istediğiniz diğer yenilikçi yaklaşımlar							

Şekil A.6 : Anket çalışmasının beşinci soru grubu (Literatürden elde edilen ana başlıklar& İPYD fazları) (EK A, 5)

6. Aşağıdaki ifadelere katılım derecenizi belirtebilir misiniz? (1 hiç katılmıyorum, 5 tamamen katılıyorum)

- Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre İSG problemlerine çözüm önerisi olarak düşünülmesi gereken (faaliyetlerin süresini ve sıklığını, iş akışlarını, temel iş türleri, iş süreçlerinin belirlenmesi, işçi sayısını vs. gibi) düzenleyen yönetmeliklerin ya da standartların eksikliğinin bulunduğunu düşünüyorum.
- Endüstri 4 teknolojileri ile İSG problemlerine yönelik yapılan çalışmalar, yalnızca belirli bir/birkaç teknolojiye belirli bir/birkaç konu için odaklanmış olup, hangi teknolojinin, proje yaşam döngüsünün hangi aşaması için kullanılabileceğine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- Proje yaşam döngüsü boyunca, İSG problemlerinin çözümüne yönelik olarak inşaat sektörü uzmanlarınca, proje paydalarınca vs. kullanılmasının faydalı olacağı öngörülen Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımına yönelik yeterliliklerin/yetkinlik kriterlerinin belirlenmesi önemlidir
- Kaza ve ramak kala raporlarının inşaat sektörünün genelinde etkin tutulamamasının önündeki sebeplere yeterince ilgi gösterilmemektedir.
- İnşaat sektöründe, kazaları ve ramak kala olayları önceden tahmin etme ve önleyebilmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinin adaptasyonuna ihtiyaç vardır.
- Kazaları ve ramak kala olayları azaltmak için Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmak isteyen her organizasyon, teknolojileri yeterince tanıyarak, amaca yönelik katkıda bulunabilen teknolojileri önerebilecek donanıma sahip olmalıdır.
- Her bir kaza tipinin nedenleri ve kök nedenleri analiz edilerek, çözüm sunabilecek Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilgili bilgilere ihtiyaç vardır.
- Kaza ve ramak kala olaylardan kaçabilmek için, kaza risklerini doğru algılayabilmek önemlidir.
- Kaza risklerini etkin algılayabilmek için duygusal zeka gibi çeşitli zeka tiplerinin ve psikolojik faktörlerin birey ölçeğinde analiz edilmesi gerekir.
- Endüstri 4.0 teknolojilerinin kazaları elimine etme ve minimize etmek için, bu teknolojilerin etkin kullanımına dair standartlara ve yenilikçi düzenlemelere ihtiyaç vardır.
- Kaza risklerini önlemek için belirlenen risk faktörlerinin birbirlerinden bağımsız olarak değil, faktörlerin birbirleriyle olan dinamik etkisini de ele alacak şekilde yapılması gerekir.
- Mimarlık ve inşaat mühendisliği lisans öğrenimine, tüm proje yaşam döngüsü boyunca Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre edilebilmiş İSG içeriklerinin dahil edilmesine ilişkin çalışmalar yapılmalıdır.
- İnşaat sektöründe İSG performansını geliştirmeye yönelik olan çalışmalar genellikle ölümcül kazalara odaklansa da, hiçbir problem göz ardı edilmemelidir.
- Tüm proje paydaşlarına, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve araçlarının etkin kullanımı için eğitim içerikleri oluşturularak, anında müdahale edilebilir ve interaktif şekilde verilebilir.
- İnşaat sektöründe acil durum problemlerinin çözümüne yönelik, Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre bir şekilde ve tüm proje yaşam döngüsünü içeren acil durum yönetim planları oluşturulmalıdır.
- Endüstri 4.0 teknolojilerinin inşaat sektörüne etkin adaptasyonu için gerekli kritik başarı faktörleri ve bu teknolojilerin benimsenmesini sınırlayan faktörler, tüm proje yaşam döngüsü boyunca araştırılmalıdır.
- İSG' yi geliştirmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinin her birini ayrı ayrı düşünmek yerine birbirlerine entegre olabilen teknolojiler bir arada düşünülmelidir.
- İnşaat ekipmanları için sistematize edilmiş, Endüstri 4.0 teknolojileriyle desteklenmiş ve tüm proje yaşam döngüsünü bir arada ele alan bütüncül çalışmalar gereklidir.
- Endüstri 4.0 teknolojilerinin İSG'nin tüm proje yaşam döngüsü boyunca adaptasyonuna yönelik çalışmalar daha sık yapılmalıdır.
- Endüstri 4.0 teknolojileri ile güncel yenilikçi yaklaşımların (yalın, çevik, toplam kalite yönetimi vs.) birbirleriyle entegre olduğu çalışmalar daha sık yapılmalıdır.
- Endüstri 4.0 teknolojileri ve güncel yenilikçi yaklaşımların (yalın, çevik, toplam kalite yönetimi vs.) birbirleriyle entegresyonunun etkin sağlanması İSG problemlerinin çözümüne yönelik katkı sağlayabilir.

Şekil A.7 : Anket çalışmasının altıncı soru grubu (İfadelere katılım derecesi) (EK A, 6)

7. **Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve güncel yenilikçi yaklaşımların inşaat sektörüne adaptasyonu ile iş sağlığı ve güvenliği problemlerinin çözüme yönelik olarak oluşturulacak olan modelin, olgunluk modelleri ile entegrasyonu konusunda düşünceleriniz nelerdir? Görüşlerinizi ve önerilerinizi paylaşabilir misiniz?**

8. **Aşağıdaki standartların endüstri 4.0 teknolojileriyle entegre olabilme potansiyelini değerlendirebilir misiniz? (1 entegre olabilme potansiyeli yok, 5 bütünüyle entegre olabilir)**

Top 10 Most Frequently Cited Standards
1. Düşmeye Karşı Koruma, inşaat /*Fall Protection, construction* (29 CFR 1926.501) [related OSHA Safety and Health Topics page]
2. Tehlike İletişim Standardı, Genel Endüstri /*Hazard Communication Standard, general industry* (29 CFR 1910.1200) [related OSHA Safety and Health Topics page]
3. Solunum koruması, genel endüstri/ *Respiratory Protection, general industry* (29 CFR 1910.134) [related OSHA Safety and Health Topics page]
4. İskele, genel gereksinimler, inşaat/ Scaffolding, general requirements, construction (29 CFR 1926.451) [related OSHA Safety and Health Topics page]
5. Merdivenler, inşaat/ Ladders, construction (29 CFR 1926.1053) [related OSHA Safety and Health Topics page]
6. Tehlikeli Enerji Kontrolü (kilitleme/etiketleme), genel endüstri / Control of Hazardous Energy (lockout/tagout), general industry (29 CFR 1910.147) [related OSHA Safety and Health Topics page]
7. Motorlu Endüstriyel Kamyonlar, genel endüstri / Powered Industrial Trucks, general industry (29 CFR 1910.178) [related OSHA Safety and Health Topics page]
8. Düşmeye Karşı Koruma – Eğitim Gereksinimleri /Fall Protection–Training Requirements (29 CFR 1926.503) [related OSHA Safety and Health Topics page]
9. Göz ve Yüz Koruması / Eye and Face Protection (29 CFR 1926.102) [related OSHA Safety and Health Topics page]
10. Mekanizmalar ve Makine Koruması, genel gereksinimler/ Machinery and Machine Guarding, general requirements (29 CFR 1910.212) [related OSHA Safety and Health Topics page]

Şekil A.8 : Anket çalışmasının yedinci ve sekizinci soru grubu (OSHA standartları) (EK A, 7 & EK A, 8)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nur Efşan ERUSTA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans :** 2014, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Adalet Bölümü
- **Lisans :** 2015, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Lisans :** 2016, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü
- **Yüksek lisans:** 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Proje ve Yapım Yönetimi Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ağustos 2017- (halen) yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Proje ve Yapım Yönetimi Doktora Programında Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2018 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Proje ve Yapım Yönetimi Yüksek Lisans programında Yüksek lisansını tamamladı.
- Nisan 2017-Temmuz 2017 arasında Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2015-2017 yılları arasında ETÜT Mimarlık'ta proje mimarı olarak çalıştı.
- 2014-2016 yılları arasında Yapı Konfor Mimarlık'ta proje mimarı olara çalıştı.
- 2016 yılında Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü'nden mezun oldu.
- 2015 yılında Mimar Sinan Güzel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu.
- 2014 yılında, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Adalet Bölümü'nden mezun oldu.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Erusta, N. E. & Sertyşilışık, B.** (yayına kabul edilmiş makale). Critical Success Factors and Barriers againist Occupational Health and Safety in the Construction Industry. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*.

- **Erusta, N. E. & Sertyşilışık, B.** (2022). Rethinking Occupational Health and Safety Standards: As a Key to the OHS 4.0 in the Construction Industry. *7th International project and construction management conference,* 1421-1430*,* 20-22 Ekim, Istanbul, Turkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Erusta, N. E. ve Sertyeşilışık, B.** (2019). An Investigation into Improving Occupational Health and Safety Performance of Construction Projects Through Usage of BIM for Lean Management. S. Ofluoglu et al. (Eds.): EBF 2019, *Communications in Computer and Information Science* 1188, 91-100, 2020.

- **Erusta, N. E. ve Sertyeşilışık, B.** (2019). Enhancing Occupational Health and Safety in the Construction Industry through Machine Learning. *Design and Engineering Sustainability, Innovation and Product.* Aslı Güneş Gölbey, A.G., Birol, G. Çavdar, U. (Eds), ss:123-132.

- **Sertyeşilışık, E., Erusta, N. E., Sertyeşilışık, B.** (2019). Sustainable Environment Policies for Reducing Environmental Footprint of the Construction Materials Industry. *Design and Engineering Sustainability, Innovation and Product.* Aslı Güneş Gölbey, A.G., Birol, G. Çavdar, U. (Eds).

- **Erusta, N. E. ve Sertyeşilışık, B.** (2020). An Investigation into the Smart Construction Site and Smart Construction Site Management as Tools for Reducing Accidents and Near-Misses Caused by Environmental Risks. *Architecture, Technology and Innovation 2020, Smart Buildings, Smart Cities.* 2s7-30.04.2020, İzmir, Türkiye.

- **Sertyeşilışık, E. & Erusta, N. E.** (2020). Investigation into the integration of smart water systems to the smart water policies. *Architecture, technology, inovation (ATI), international symposium. "smart buildings, smart cities"*, 26-27-28.08. 2020, Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye.

- **Erusta, N. E. & Sertyeşilışık, B.** (2020). Applicability of the six thinking hats technic to the eco-charette meetings. *7th International project and construction management conference,* 12-14 Kasım, İstanbul, Turkiye.