T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT İŞ GÜVENLİĞİNDE GERÇEK ZAMANLI İZLEME VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN** danışmanlığında hazırlanan **"İNŞAAT İŞ GÜVENLİĞİNDE GERÇEK ZAMANLI İZLEME VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **26/12/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Cemil AKÇAY İstanbul Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI

(İmza)

Değerli aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

İNŞAAT İŞ GÜVENLİĞİNDE GERÇEK ZAMANLI İZLEME VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren, tezin hazırlanmasında en umutsuz olduğum dönemlerde beni yüreklendiren, çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen, akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübeleriyle bana ışık tutan, kıymetli tez danışmanı hocam Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN'a, çalışma hayatında tecrübeleri ile bana destek olan, tezi hazırlamam konusunda değerli vakitlerini ayırarak bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Osman Hürol TÜRKAKIN'a, manevi desteklerini esirgemeyen, her anlamda yanımda olan Hatice TÜRKAKIN'a ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca bende emeği ve hakkı olan bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmama vesile olan, maddi ve manevi her türlü desteği ve fedakarlığı gösteren, tüm başarılarımın en büyük yardımcıları başta sevgili annem Derya ALTINKAYNAK ve sevgili babam Hasan Hüseyin ALTINKAYNAK olmak üzere bütün aileme en içten sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Akademik kariyerime devam etmemde maddi ve manevi moral ve yardımları ile bana en büyük desteği veren değerli eşim Yurdal Emre AKINCI'ya ve doğacak oğlum Kutay'a teşekkür ederim.

Aralık 2022 Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. TEZDE İZLENEN YOL 1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **3**
2.1. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ 3
2.1.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tanımı 3
2.1.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi 3
2.1.3. Günümüzde İş Güvenliği Kanunları ve Kuruluşları 12
2.1.4. İş Kazası Tanımı ve Nedenleri 14
2.1.5. İnşaat İş Sektörü ve İş Sağlığı Güvenliği İstatistikleri 16
2.1.6. İş Sağlığı ve Güvenliği Maliyeti 23
2.1.7. Covid-19 Pandemisinin İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine Etkisi 25
2.2. GERÇEK ZAMANLI İZLEME SİSTEMLERİ 26
2.2.1. Sistemin Yapısı 28
2.2.2. İzlenen Nesne Çeşitleri 31
2.2.3. İzleme Yöntemleri 34
2.3. ERKEN UYARI SİSTEMLERİ 39
2.3.1. Sistemin Yapısı 40
2.3.2. İnşaat İş Güvenliğinde Erken Uyarı Sistemleri 41

3. YÖNTEM **45**
3.1. META ANALİZİ 45
3.1.1. Meta Analizin Adımları 46
3.2. VOSVIEWER İLE BİBLİYOMETRİK ANALİZ 47
3.2.1. Bibliyometrik Analiz 47
3.2.2. Bibliyometrik Analiz Paketi: VosViewer 50
3.3. ARAŞTIRMA VERİLERİNİN TOPLANMASI 51
3.3.1. Verilerin Dâhil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri 52
3.4. VERİLERİN ANALİZ EDİLMESİ 52
4. BULGULAR **54**
4.1. YAYINLARIN GENEL BİLGİLERİNE AİT BULGULAR 55
4.1.1. Yayınların Sayfa Sayısı ve Yazar Sayısına Göre Dağılımı 64
4.1.2. Yayınların Yıllara Göre Dağılımı 65
4.1.3. Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı 66
4.1.4. Çalışmanın Bulunduğu Veritabanına Göre ve Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı 68
4.1.5. Çalışmaların İzleme Türüne ve Araştırma Yöntemine Göre Dağılımları 72
4.2. BİBLİYOMETRİK ANALİZE AİT BULGULAR 74
4.3. YAYINLARIN SONUÇLARINA AİT BULGULAR 76
4.3.1. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Avantajlarına Ait Bulgular 76
4.3.2. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Kısıtlarına Ait Bulgular 77
4.3.3. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Gelecekteki Çalışma Önerilerine Ait Bulgular 79
5. TARTIŞMA **81**
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **83**
KAYNAKLAR **85**
EKLER **93**
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI **94**
ETİK KURUL İZİN YAZISI **95**
KURUM İZNİ YAZILARI **96**
ÖZGEÇMİŞ **97**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1-1 Tez Çalışmasının Akış Şeması....2
Şekil 2-1 Dünyada İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi....4
Şekil 2-2 Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi....7
Şekil 2-3 İş Sağlığı ve Güvenliği Hakkındaki Diğer Yasalar....11
Şekil 2-4 ÇSGB'ye bağlı İSG Kurumları....13
Şekil 2-5 İş Kazasının Temel Nedenleri (Demir ve Öz, 2018)....15
Şekil 2-6 İş Kazası Maliyetleri (Tan, 2008)....16
Şekil 2-7 Son 10 Yılın İş Kazası İstatistikleri (*SGK*, 2022)....17
Şekil 2-8 Son 10 Yılda İş Kazası Sonucu Ölen Sayısı İstatistikleri (*SGK*, 2022)....18
Şekil 2-9 Son 10 Yıldaki Ölüm/İş Kazası Oranları....19
Şekil 2-10 Son 10 Yılda Meslek Hastalığına Tutulma İstatistikleri (*SGK*, 2022)....20
Şekil 2-11 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre İş Kazası İstatistikleri (*SGK*, 2022)....22
Şekil 2-12 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre İş Kazası Ölüm Sayıları (*SGK*, 2022)....22
Şekil 2-13 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre Ölüm/İş Kazası Oranları....23
Şekil 2-14 İş Sağlığı ve Güvenliği Maliyetleri (ÇSGB, 2010)....24
Şekil 2-15 İş Sağlığı ve Güvenliği Faydaları (ÇSGB, 2010)....25
Şekil 2-16 Tipik Bir IoT Sisteminin Genel Çerçevesi (Paudel ve Neupane, 2021)....29
Şekil 2-17 Bir IoT-tabanlı Gerçek İzleme Sisteminin Yapısı ve Katmanları (Paudel ve Neupane, 2021)....30
Şekil 2-18 İnşaat İş Güvenliğinde Gerçek Zamanlı İzleme İçin Kullanılan Sensör ve Teknolojiler (Awolusi vd., 2019)....32
Şekil 2-19 Gerçek Zamanlı İzleme Yöntemleri....34

Şekil 2-20 Ses Tabanlı Aktivite Tanımlama ve Sınıflandırma Sistemi Çerçevesi (Cheng *vd.*, 2016) 37

Şekil 2-21 Sensörlerin İnşaat İşçisi Vücudundaki Konumları (Valero *vd.*, 2017) 38

Şekil 2-22 Tipik Bir Erken Uyarı Sisteminin Mimarisi (Du ve Zhu, 2012; Yi *vd.*, 2016) 41

Şekil 2-23 IoT tabanlı Gerçek Zamanlı İş Güvenliği Erken Uyarı Sistemi (Ding *vd.*, 2013) 43

Şekil 2-24 Tehlikeli Enerji Salımını Önlemede Proaktif ve Reaktif Bariyerler (Zhou ve Ding, 2017) 44

Şekil 3-1 Tez Çalışmasında Uygulanan Yöntem Diyagramı 45

Şekil 3-2 Bibliyometrik Analizin Genel Akış Şeması (Qasim, 2017) 49

Şekil 3-3 Vosviewer Programı Ekran Görüntüsü 51

Şekil 3-4 Vosviewer Online Kullanıcı Arayüzü 51

Şekil 4-1 Çalışmaların Yazar Sayısına Göre Dağılımı 64

Şekil 4-2 Yayınların Sayfa Sayısına Göre Dağılımı 64

Şekil 4-3 Yayınların Yıllara Göre Dağılım Grafiği 66

Şekil 4-4 Konu ile İlgili Seçilen Çalışmaların Coğrafi Dağılımı 66

Şekil 4-5 Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı 68

Şekil 4-6 Seçilen Çalışmaların Veritabanına Göre Dağılımı 69

Şekil 4-7 Çalışmanın Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı 72

Şekil 4-8 Çalışmaların İzleme Türüne Göre Oranları 72

Şekil 4-9 Çalışmaların Araştırma Yöntemine Göre Oranları 73

Şekil 4-10 Analiz Edilen Çalışmaların Özet Kısmının Ağ Görselleştirmesi 75

Şekil 4-11 Analiz Edilen Çalışmaların Ortak Yazarlık Görselleştirmesi 75

Şekil 4-12 Analiz Edilen Çalışmaların Anahtar Kelime Yoğunluk Görselleştirmesi 76

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2-1 1475 Sayılı İş Kanunu'nda Yer Alan İSG Maddeleri 11
Tablo 2-2 Uluslararası İSG Enstitüleri, Kurumları ve Kuruluşları (ÇSGB, 2022) 14
Tablo 2-3 İnşaat Sektörü NACE Kodları ve Detayları (*SGK*, 2022)..... 20
Tablo 2-4 Kablosuz İletişim Protokolleri 31
Tablo 3-1 Başlıca Bibliyometrik Yazılımlar ve Özellikleri 48
Tablo 4-1 Meta Analiz Sınıflandırma Kategorileri 54
Tablo 4-2 2006-2010 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 55
Tablo 4-3 2011-2012 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 56
Tablo 4-4 2013-2014 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 56
Tablo 4-5 2015-2016 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 57
Tablo 4-6 2017 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 58
Tablo 4-7 2018 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 59
Tablo 4-8 2019 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 60
Tablo 4-9 2020 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 61
Tablo 4-10 2021 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 62
Tablo 4-11 2022-2023 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri 63
Tablo 4-12 Yayınların Yıllara Göre Dağılımı 65
Tablo 4-13 Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı 67
Tablo 4-14 Seçilen Çalışmaların Veritabanına Göre Dağılımı 68
Tablo 4-15 Seçilen Çalışmaların Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı 69
Tablo 4-16 Çalışmaların İzleme Türüne Göre Dağılımı 73
Tablo 4-17 Çalışmaların Araştırma Yöntemine Göre Dağılımı 74

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
AB	: Avrupa Birliği
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ÇSGB	: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GSMH	: Gayrisafi Millî Hasıla
İHA	: İnsansız Hava Aracı
ILO	: International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
IMU	: Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçü Birimi)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
M2M	: Machine to Machine (Makineler Arası)
NACE	:Nomenclature des Activités Économiques dans la Communauté Européenne (Avrupa Birliği'nde Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması)
SGK	: Sosyal Güvenlik Kurumu
STFT	: Short-time Fourier transform (Kısa zamanlı Fourier dönüşümü)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VR	: Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT İŞ GÜVENLİĞİNDE GERÇEK ZAMANLI İZLEME VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer GİRAN

İnşaat sektörü, uluslararası ve ulusal iş güvenliği istatistiklerine göre en yüksek kaza oranına sahip sektörlerden biridir. İnşaat güvenliği denetimi genellikle iş güvenliği uzmanları tarafından yapılır. İş güvenliği uzmanlarının görevleri; şantiye ortamını, ekipmanları, uygulamaları ilgili mevzuattaki standartlara uygun olup olmadığını incelenmesi, şantiyedeki iş kazası oluşturabilecek tehlikelerin belirlenmesi, iş kazası sebeplerinin tespit edilmesi, tehlikeli durumlara karşı alınabilecek önlemlerin belirlenmesi, çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği eğitiminin verilmesidir. İş güvenliği uzmanları tüm bu gözlem ve denetimleri manuel olarak gerçekleştirirler. Potansiyel sağlık ve güvenlik riski taşıyan tüm olayları sürekli olarak izlemek ve belirlemek çok zordur. Şantiye ortamının ve işçilerin otomatik olarak izlenmesi iş güvenliği uzmanından kaynaklanabilecek dalgınlık, yanlış karar verme gibi olumsuz etkileri ortadan kaldırır.

Gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Özellikle deprem, toprak kayması, sel, gibi ani gelişen doğal afetlerde riskli bölgelerin gerçek

zamanlı olarak izlenip ani değişimlerde çevreye o anda uyarı vermesi gerekmektedir. Literatürde inşaat sektöründe iş güvenliğinin sağlanması amacıyla farklı gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri ile ilgili çalışmalar mevcuttur. İzleme ve erken uyarı sistemleri, çeşitli cihazlar ve yöntemler içerebilir, farklı türde ortamlara ve faaliyetlere uygulanabilir ve iş güvenliği denetiminin ihtiyaçlarını karşılar.

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusunda literatür taraması yapılmıştır. Anlamlı sonuçlar elde edebilmek için araştırmaya dahil edilen çalışmaların meta analizi yapılmış ve bibliyometrik analiz programı VosViewer ile ilişkiler haritayla gösterilmiştir. Sonuçlarda bu sistemin katkıları ve uygulama kısıtları verilmiştir. İnşaat iş güvenliğinde izleme ve uyarı sistemi için seçilen cihazların sayısı ve türü, iletişim protokollerinin seçimi, uyarı sinyallerinin çeşidi gibi birçok etken proje başında seçilip planlanmalıdır. Saha koşullarına uygun, önceden planlanmış bir gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemi inşaat iş güvenliği açısından manuel denetimlere göre daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Aralık 2022 , 113 sayfa.

Anahtar kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, Gerçek zamanlı izleme, Erken uyarı, Literatür taraması

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

REAL-TIME MONITORING AND EARLY WARNING SYSTEMS IN CONSTRUCTION SAFETY

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI

Istanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Programme

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ömer GİRAN

The construction sector is one of the sectors with the highest accident rate according to international and national occupational safety statistics. Construction safety inspection is usually done by occupational safety specialists. Duties of occupational safety specialists; examining the construction site environment, equipment and practices whether they comply with the standards in the relevant legislation, determining the hazards that may cause work accidents at the construction site, determining the causes of work accidents, determining the measures that can be taken against dangerous situations, and providing occupational health and safety training to the construction workers. Occupational safety experts perform all these observations and inspections manually. It is very difficult to constantly monitor and identify all events that pose a potential health and safety risk. Automatic monitoring of the construction site environment and workers eliminates negative effects such as absent-mindedness and wrong decision-making that may arise from the occupational safety specialist.

Real-time monitoring and early warning systems are used in many different sectors. Especially in case of sudden natural disasters such as earthquakes, landslides, floods, risky areas should be monitored in real time and immediately alerted to the environment in case of sudden changes. In the literature, there are studies on different real-time monitoring and early warning systems in order to ensure occupational safety in the construction industry. Monitoring and early warning systems can include a variety of devices and methods, can be applied to different types of environments and activities, and meet the needs of occupational safety supervision.

Within the scope of the thesis study, a literature review was conducted on real-time monitoring and early warning systems in construction occupational safety. In order to obtain meaningful results, a meta-analysis of the studies included in the research was made and the relationships were mapped with the bibliometric analysis program VosViewer. In the results, the contributions and application limitations of this system are given. Many factors such as the number and type of devices selected for the monitoring and warning system in construction occupational safety, the selection of communication protocols, the type of warning signals should be selected and planned at the beginning of the project. It was concluded that a pre-planned real-time monitoring and early warning system suitable for site conditions is stronger than manual inspections in terms of construction work safety.

December 2022, 113 pages.

Keywords: Occupational health and safety, Real-time monitoring, Early warning, Literature review

1. GİRİŞ

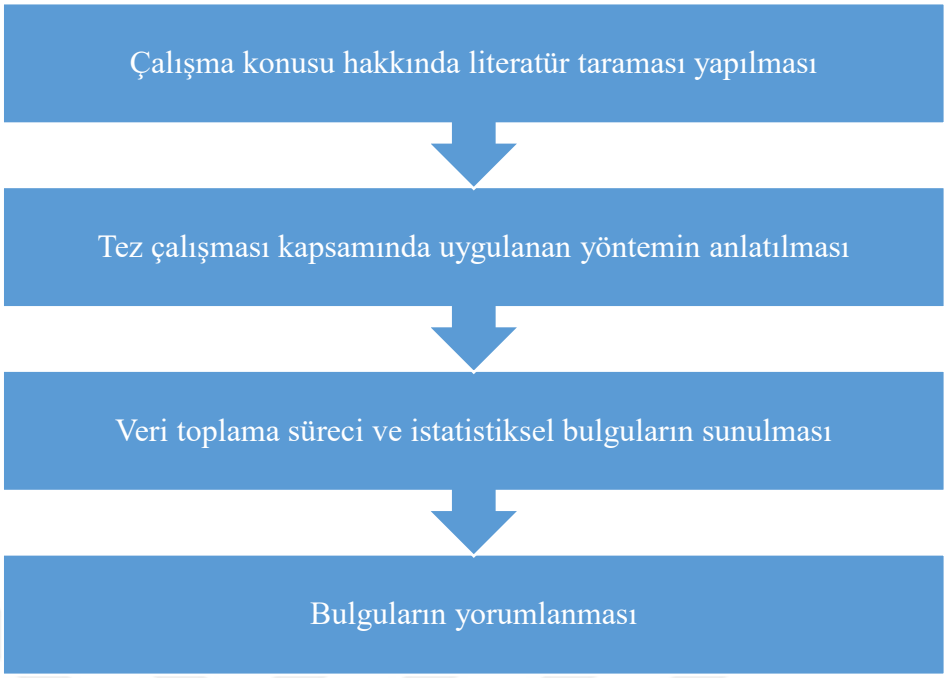
İnşaat sektörü, uluslararası ve ulusal iş güvenliği istatistiklerine göre en yüksek kaza oranına sahip sektörlerden biridir. İş sağlığı ve güvenliği, inşaatın her alanında her zaman dikkate alınması gereken ilk konulardan biri olmalıdır. Şantiyeler yüksek riskli çalışma ortamları olduğu için ölümle sonuçlanan kazalarda oldukça fazladır. Bu yüzden bu sektörde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir. Şantiyedeki tehlikelerin ve risklerin belirlenmesi ve bunlara karşı önlem alınması kazaları azaltır. Ancak pratikte bunlarında denetlenmesi gerekmektedir. Çünkü yoğun iş temposu, hava durumu gibi etkenlerden işçiler kişisel koruyucu ekipmanlarını düzgün bir şekilde takmamaktadırlar. Bazen yöneticiler şantiye mahalinde gerekli koruyucu önlemleri almamaktadırlar. Bunları iş güvenliği uzmanları manuel olarak denetler. Büyük ölçekli projelerde tüm alanı sürekli olarak denetlemenin iş güvenliği uzmanı için çok zor olduğu için gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri bu konuda yardımcı olurlar.

İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri, işyerlerinde faaliyet gösteren kişilerin sağlığını, güvenliğini ve refahını korumaya çalışmak için alınır. Türkiye'de her yıl 1000'in üzerinde işçi iş kazaları nedeniyle hayatını kaybetmekte, 2000'e yakın işçi ağır yaralanmaktadır. İş kazalarının bu sonuçları ekonomik kayıplar ve toplumsal sorunlar da doğurmaktadır. Ekonomik kayıplar arasında iş günü kayıpları, hastane maliyetleri, sağlık hizmetleri, evde tıbbi bakım, sigorta, malzeme ve ekipman hasarları sayılabilir.

Bu tez çalışmasında literatürde inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada, inşaat işlerinin yürütülmesi sırasında işçilerin güvenliğinin ve sağlığının gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri ile nasıl iyileştirebileceğine cevap aranmaktadır.

1.1. TEZDE İZLENEN YOL

Tez çalışması dört bölümü kapsamaktadır ve bu bölümler Şekil 1-1'de gösterilmiştir.



Şekil 1-1 Tez Çalışmasının Akış Şeması

Bu çalışma kapsamında ilk olarak inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri uygulamalarını içeren bir literatür taraması yapılmıştır. İkinci aşamada araştırma metodu olan meta sentez yöntemi ve bibliyometrik analiz anlatılmıştır. Üçüncü aşamada veri toplama süreci ve elde edilen verilere göre istatistiksel bulgular sunulmuştur. Son aşamada ise elde edilen bulgular yorumlanarak sonuç raporuna yer verilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

Günümüzde yürürlükte olan iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili düzenlemeler ve yasalar anlatılmıştır. İş kazasının tanımı, nedenleri ve maliyeti konusunda bilgi verilmiştir. İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği verileri incelenip sonuçlar yorumlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği maliyetini etkileyen faktörler ve iş sağlığı ve güvenliği konusunda yapılan masrafların projenin ilerleyen döneminde işletmelere kazandırdığı faydalar çok önemlidir. Son yıllarda tüm dünyayı etkilen covid-19 pandemisinin inşaat endüstrisinde iş sağlığı ve güvenliğine etkisinin değerlendirilmesi daha sonraki olası yaşanacak pandemiler için hazırlıklı olmaya yardımcı olacaktır.

2.1.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tanımı

İş sağlığı ve güvenliği tanımı çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından yapılmıştır. 1950 tarihinde Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kurulan ortak bir komisyon ile işçi sağlığı ve güvenliği tanımını yayınlayıp ILO'ya üye ülkelere 112 sayılı tavsiye kararı ile bildirilmiştir. Bu komisyona göre işçi sağlığı ve güvenliği "çalışanların sağlık düzeylerini en üst seviyeye çıkarmak ve bu seviyede korumak, işçi sağlığının çalışma şartları yüzünden bozulmasını engellemek, her çalışanı fiziksel ve zihinsel yeteneklerine uygun işlerde istihdam etmek, iş ve işçi arasındaki uyumu sağlayarak minimum yorgunlukla optimum verim elde etmek" olarak tanımlanmıştır (Karaman, Çivici ve Kale, 2011).

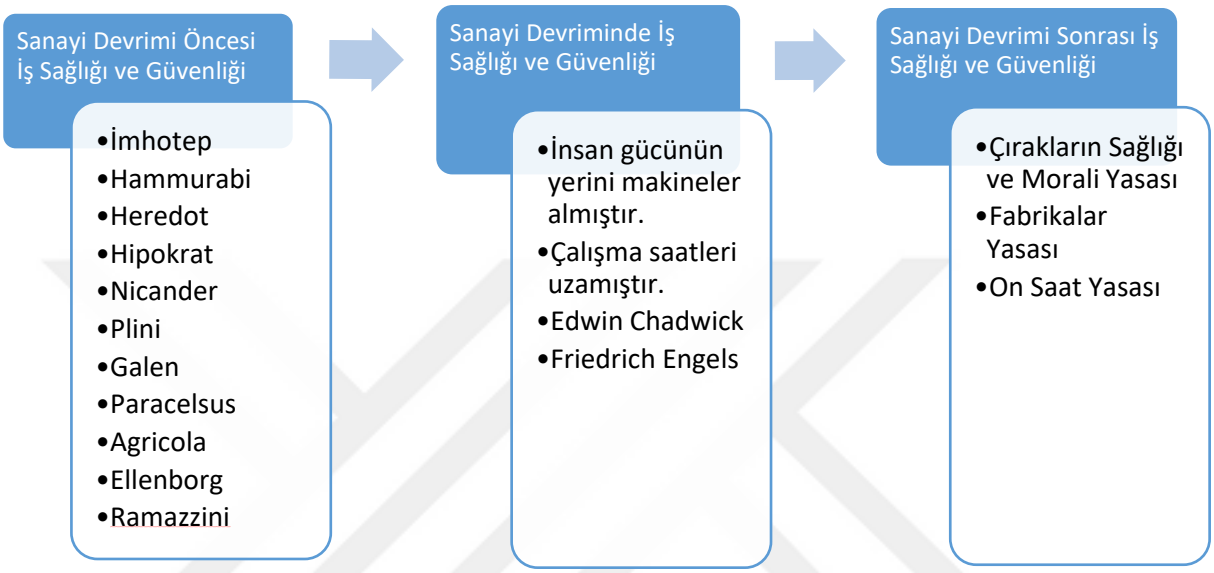
İSG, "iş sağlığı" ve "güvenlik" olmak üzere iki ayrı unsuru kapsayan bir kavramdır. İş sağlığı boyutunda, çalışanların işyerinde ruh ve beden sağlıklarını etkileyen mevcut veya potansiyel risk faktörlerine karşı korunmasını ifade eder. Güvenlik boyutu, işyerinde işçiler çalışırken makine ve ekipmanların mevcudiyetinden veya kullanımı sırasında oluşan risk ve tehlikelere karşı alınması gereken önlemleri kapsar (Gökçe, 2020).

2.1.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi

İş sağlığı ve güvenliği sorunları yeni bir konu gibi görünse de milattan önceye dayanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin tarihsel gelişimini dünyadaki ve Türkiye'deki tarihsel gelişimi olarak ikiye ayırmamız mümkündür.

2.1.2.1. Dünyada İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi

Dünyadaki İSG'nin tarihsel gelişimi milattan önce başlamıştır. Sanayi devrimi İSG için dönüm noktası olmuştur. Bu yüzden sanayi devrimi öncesi, sanayi devrimi dönemi ve sanayi devrimi sonrası olarak üç alt başlıkta iş sağlığı ve güvenliğinin tarihsel gelişimi ve Şekil 2-1'de detayları verilmiştir.



Şekil 2-1 Dünyada İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi

Günümüzdeki birçok sağlık ve güvenlik sorunları ilk olarak tarım devrimi ile yerleşik hayata geçen insanlarda M.Ö. 2000'lerde gözlenmiştir. Bu sorunları ilk saptayan kişi olan İmhotep, Mısır piramitlerinin inşası sırasındaki kazalarda ölenleri ve çalışanların sağlık sorunlarını tespit etmiştir. Milattan Önce 2100 yılına dayanan Hammurabi Yasalarında kişisel yaralanmaları ve ölümleri ele alan hükümlerde sorumlular için tazminat ve ceza programı yer almaktadır (Çiçek ve Öçal, 2016; Friend ve Kohn, 2018).

İlk defa Herodot, işçilerin yeterli miktarda ve yüksek enerji veren yiyecek alması gerektiğini belirtmiştir. M.Ö. 400 ve M.S. 300 yılları arasında Antik Yunan ve Romalılar, bu dönemde kullanılan metallere maruz kalan kişilerin sağlığı için endişelerini dile getirmişlerdir. Hipokrat kurşun metalinin zararlı etkilerinden bahseden ilk kişidir. Kurşuna maruz kalan bireylerde felç ve görme bozukluklarını saptamıştır. Nicander ise; kurşun zehirlenmesinin belirtilerini bulmuş ve metalin zararlı etkilerine karşı önlem alınması gerektiğini önemle belirtmiştir. Çalışma ortamındaki tehlikeli tozlara maruz kalanların, tozların zararlarına karşı kendilerini koruyabilmeleri için başlarına torba (maske) geçirmelerini Plini önermiştir. Bergamalı tıp

doktoru Galen, meslek hastalıkları ve bakır madencileri için asidik duman tehlikesi hakkında yazdı. Madencilik, bakır tabaklama ve kimyasal işlerde çalışan bireylerin sahip olduğu çeşitli hastalıklara değindi. Ayrıca Galen, gladyatörlerin başhekimliğini yaparken gladyatör ve seyircilerin vücut yapılarını kıyaslayarak sağlıklı yaşam için beden hareketlerinin önemini vurgulamıştır (Çiçek ve Öçal, 2016; Akbulut, 2018; Friend ve Kohn, 2018).

Agricola, maden işçilerinin hastalıklarını incelemiş ve korunma yöntemlerini aramıştır. Yeraltında havalandırma yapılmasını ve işçilerin maske kullanmasını tavsiye etmiştir. Paracelsus, madende işyeri hekimi olarak çalıştığı sürede maden işçilerinin meslek hastalıkları ve bu hastalıklardan korunma yolları ile ilgili ilk iş hekimliği kitabını yazmıştır (Akbulut, 2018).

Rönesans öncesi dönemde Avrupa'daki yaralanma, kaza, mesleki hastalık ve bunları önleyici faaliyetler hakkında çok bilgi bulunmamaktadır. Ancak Avrupa'daki Rönesans ve Sanayi Devrimi ile mesleki faaliyetler ile işçi sağlığı ve güvenliği arasındaki bağ fark edilmiştir. Ellenborg, kurşun, cıva gibi tehlikeli metallerin zehirli dumanlarını belirledi ve raporladı (Friend ve Kohn, 2018). Ayrıca 1700'lerde Ramazzini adlı İtalyan hekim bilimsel ilkelere uygun olarak yazdığı meslek hastalıkları kitabı ile iş sağlığı kavramının kurucusu olarak kabul edilmektedir. Kitapta mevcut sağlık riskleri arasında kimyasallar, tozlu ortamlar, ağır metaller, yinelenen ve zorlayıcı hareketler, hatalı duruşlar ve hastalığa neden olan diğer ortam faktörleri ele alınmış ve bunların önlenebilmesi için işyerlerinde koruyucu güvenlik önlemlerinin alınması tavsiye edilmiştir. Bu sayede işten daha iyi verim alınabileceğini belirtir. Ramazzini, bugün ergonomi olarak ifade edilen işçinin çalışma şeklinin, iş ve işçi uyumunun, çalışanın sağlığı ve iş verimi üzerinde etkileri olduğu düşüncesini ilk kez 17.yüzyılda ifade etmiştir (Gerek, 2008; Altın ve Taşdemir, 2018).

Sanayi Devrimi ile fabrikalar kurulmuş, makineler ve kimyasal maddeler üretimde kullanılmaya başlanmıştır. Önlem alınmadığı için bu kimyasalların zehirli gaz ve dumanları işçilerin çalışma ortamına yayılmıştır. Kurulan fabrikalarla işçilerin çalışma şekilleri değişmiş insan gücünün yerini makineler almıştır. Ancak kötü koşullar altında çalışan işçiler hiçbir koruma önlemleri de olmadığından kimyasallardan çıkan zehirli gaz ve dumanların olduğu ortamda uzun süre çalıştıkları için meslek hastalıklarına yakalanmıştır. Yeni açılan fabrikalardan dolayı işçi gereksinimi artmıştır ve kırsal kesimden şehirlere göç başlamıştır. Yeterli barınak ve altyapı olmadığı için insanlar yeterince beslenememiş ve salgın hastalıklar

artmıştır. Fabrikalarda uzun süre çalıştırılan işçiler aşırı yorgunluk ile birlikte kullandıkları alet ve makinelere de uyum sağlayamadıkları için iş kazaları da kaçınılmaz olmuştur. Gerçekleşen iş kazalarında çok sayıda işçi hayatını kaybetmiştir. Teknolojinin daha da gelişmesiyle koruyucu araçlarda geliştirilmiş ancak yeni olası risklerde oluşmuştur (Çiçek ve Öçal, 2016).

Edwin Chadwick yazdığı raporda çalışan nüfusun sağlık durumunu belirlemek için araştırma yaptı. Bu çalışmada barınma ve yaşam koşullarının insanların sağlığını nasıl etkilediğini raporunda anlattı. Buna karşılık, Friedrich Engles, 1844'te işçilerin yaşama ve çalışma durumlarına ilişkin gözlemlerinden ve Edwin Chadwick'in raporundan yararlanarak İngiltere'de emekçi sınıfların durumunu anlattığı bir kitap yazdı (Akbulut, 2018).

Sanayi devrimi sonrası uzun süreli çalışma, düşük ücret, kötü çalışma koşulları gibi çalışma yaşamında problemlerin artmasıyla toplumsal huzursuzluk büyümeye başladı. Sanayi devriminin getirdiği sorunlara karşı kanunların ve güvenlik önlemlerinin oluşturulmasını öneren ilk kişi İngiliz milletvekili Antony Ashly Cooper'dı. Ayrıca o dönemde fabrikalarda sadece erkek işçi çalıştırılmıyordu. Kadın ve çocuk işçilerde bu kötü çalışma koşullarına maruz kalıyorlardı. Genç işçiler için çalışma saatleri ve koşullarına ilişkin raporlar doktor Thomas Percival tarafından yazılmıştır (Yılmaz, 2012). Parlamenter Sir Robert Peel, Cooper ve Percival'in girişimlerinden etkilenerek İngiliz parlamentosunda 1802 yılında "Çırakların Sağlığı ve Morali" yasasını çıkarmıştır. İşçilerin çalışma saatlerini günde 12 saatle sınırlayan, iş sağlığı ve güvenliği konusunda İngiltere'de çıkarılan ilk yasa olmuştur. Ayrıca çocuk işçilerin gündelik ve haftalık saatlerini de sınırlamıştır ancak uzun bir süre uygulanamamıştır (Kurt, 2020).

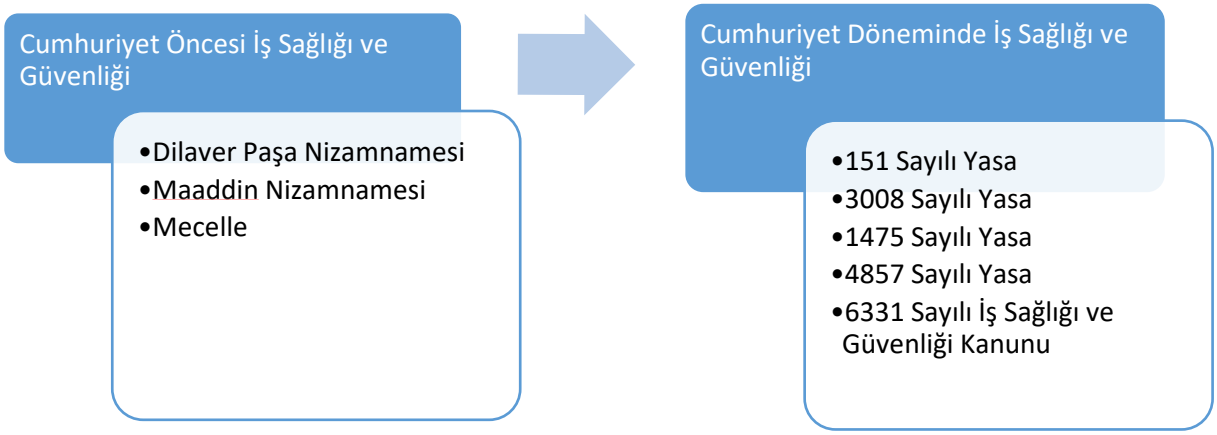
Daha önceki çalışmalardan etkilenen, Michael Sadler 1832'de İngiliz parlamentosuna yeni bir yasa tasarısı sunmuştur ve önemli bir mevzuat parçası olan "Fabrikalar Yasası" ertesi yıl yürürlüğe girmiştir. Bu yeni çıkarılan kanun ile birlikte dokuz yaşından küçük çocuk işçilerin çalıştırılması, on sekiz yaşından küçük çocuk işçilerin gece çalıştırılması ve günde on iki saatten fazla çalıştırılması yasaklanmıştır. 1847'de On Saat Kanunu'nun çıkarılmasından sonra çalışma saatleri on saatle sınırlandırılmıştır. İşe ilk girişte doktor onayı ilk defa bu dönemde istenmiştir. Yasa ile birlikte istatistiki bilgiler toplanmaya başlanmış, fabrikaların denetlenmesi için iş müfettişleri görevlendirilmiş, mesleki hastalıkların bildirimi zorunlu hale getirilmiş ve hastanelerde bu meslek hastalıklarının tedavi edilebilmesi için ayrı bölümlerin oluşturulması istenmiştir (Akbulut, 2018; Kurt, 2020).

Birleşik Krallık'ta iş sağlığı ve güvenliği konusundaki bu ilerlemeler görülürken, diğer Avrupa ülkelerinde yeni gelişmeler oldu. 1840'ta İsviçre'de, 1841'de Fransa'da ve 1849'da Almanya'da yeni iş güvenliği yasaları çıkarıldı. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 1836 yılında çıkan çocuk işçiler yasası ilk iş sağlığı ve güvenliği yasası olarak bilinmektedir. 1867 yılında denetim yasası çıkarılmış ve bu yasa ile birlikte ABD iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi bilgilerin istatiksel verilerini toplamaya ve denetim mekanizması oluşturmaya başlamıştır (Çilengiroğlu, 2006; Kurt, 2020).

Bu yasaların amacı; işçilerin çalışma koşullarının iş güvenliği açısından iyileştirilmesi, çalışma sürelerini yaşa bağlı olarak sınırlandırarak işçi hayatını tehlikeye atmamak, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemektir. Her ülke bu konuda çalışmalar ve yasalar çıkarmıştır. Bu bağlamda, 1919 yılında Birleşmiş Milletlere bağlı olarak ILO kurulmuştur. Daha sonra bağımsız bir kuruluş olmuştur. 1932 yılında ILO'ya Türkiye'de katılmıştır (Kurt, 2020).

2.1.2.2. Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi

Sanayi devrimi yaşanan ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği konusunda gelişmeler olurken Osmanlı İmparatorluğunda şartların oluşmaması sebebiyle sanayi devrimi ve iş sağlığı ve güvenliği konusundaki gelişmeler yaşanmamıştır. Endüstriyel devrim koşullarının geç sağlanması ile birlikte Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili düzenlemeler Cumhuriyet öncesi dönemde başlamıştır (Çiçek ve Öçal, 2016). Şekil 2-2'de gösterildiği üzere Türkiye'deki iş sağlığı ve güvenliğinin tarihsel gelişimini Cumhuriyet öncesi ve Cumhuriyet dönemi olarak ele alınabilir.



Şekil 2-2 Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi

Tanzimattan önce Osmanlı İmparatorluğu'nda el sanatları, çinicilik, dokumacılık gibi çalışmalar yapılmaktaydı. O dönemde üretim şekli fabrikasyon değil zanaatkârlığa dayalı olduğu için çalışma koşullarına dair sıkıntılar görülmemiştir. Sanayileşmeyle Batı Avrupa'da görülen iş riskleri; bu dönemde Anadolu topraklarında el işçiliği kullanılması, dükkân azlığı gibi nedenlerden dolayı düşüktür ve bu yüzden iş kazaları çok sık görülmemiştir. Osmanlıda esnaf ve zanaatkârların kurduğu lonca teşkilatları ve esnaf kuruluşları çalışma hayatındaki ilk örgütlenmelerdir. Bu örgütlenmelerde yaşanılan sorunlar çözüme kavuşturulmuş ve kararlar alınmıştır. Lonca teşkilatları; işveren ile usta, kalfa, çırak gibi çalışanlar arasındaki ilişkileri ve çalışma şartlarını kural ve gelenekler ile belirlemişlerdir (Çiçek ve Öçal, 2016; Akbulut, 2018; Kurt, 2020). Loncaların bünyesinde bulunan teavün sandığı adı verilen yardım sandıkları aracılığıyla hasta lonca üyelerine, yaşlılık nedeniyle işini bırakanlara, meslek hastalığı tedavisi olması gerekenlere ve sakatlık sebebiyle çalışamaz duruma gelen işçilere yardımda bulunulmuştur (Gerek, 2008).

Tanzimat döneminde başlayan ve sonrasında da devam eden ilk sanayileşme çabaları sonucunda çalışma koşullarında büyük değişimler görülmeye başlanmıştır. Sonuç olarak, işçilerin korunması için artık belirli önlemleri içeren düzenlemelerin oluşturulması gerekmektedir. 1850 yılında İSG ile ilgili ilk çalışmalara başlanmıştır. Osmanlı İmparatorluğu'nda sanayileşme ile demiryolu yapımı, madencilik, kömür ocağı gibi iş alanları açılmıştır. Bu ağır koşullu iş sahalarında kadın ve çocuk işçi çalıştırma ve on altı saatten fazla çalışma gibi çalışma şartlarının zorlaştığı görülmüştür. Ereğli Havzası'nda kömür madenlerinde çalışan işçiler meslek hastalıklarına yakalanmış ve çok sayıda iş kazasında hayatını kaybetmiştir. İşçi yoğunluğunun en yüksek olduğu kömür madenleri, iş sağlığı ve güvenliği kurallarının ilk uygulandığı yer olmuştur. Ereğli Kömür Havzasına uygulanan "Dilaver Paşa Nizamnamesi" olarak bilinen iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili ilk yasal düzenleme 1865 yılında kabul edilmiştir. Bu nizamnamede işçiler için dinlenme ve tatil vakitleri, yatacak yerleri, çalışma saatleri ve işçi ücretlerinin öncelikli ödenmesine yer verilmişti. Dilaver Paşa Nizamnamesi, madende çalışacak işgücünün devamlılığını garanti altına almak için ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi için koyduğu kurallara ek olarak madende hekim bulundurulmasını zorunlu kılmıştır. Ancak mevzuatta iş kazalarını önlemeye yönelik herhangi bir önlem bulunmamaktadır (Çilengiroğlu, 2006)

1869 yılında çıkarılan "Maadin Nizamnamesi" Dilaver Paşa Nizamnamesine göre iş güvenliği önlemleri konusunda maddelere yer vermesi ve sadece Ereğli Kömür Havzasında değil tüm

madenlerde geçerli olmasından dolayı daha kapsamlı ve etkin bir yasal düzenlemedir. Madenlerde hekim ve eczane bulundurulması, iş kazalarını önlemede etkili olacak ihtiyaç duyulan ekipmanları mühendislerin isteme hakkının bulunması, iş kazalarının bildirilmesi, iş kazası sonucunda tazminat ödenmesi ve önlem almayan kusurlu kuruma para cezası gibi hükümler Maadin Nizamnamesi'nde yer almaktadır (Kurt, 2020).

İş sağlığı ve güvenliği konusunda ilk medeni kanun olan Mecelle'nin çalışmasına 1869 yılında başlanılmış ve 1876 yılında düzenlemeler bitmiştir. Mecelle'nin hükümlerinde işverenin işçinin ödemesini herhangi bir mal ile değil para ile yapılmasını zorunlu kılmıştır. Ayrıca Mecelle hükümlerine göre işçi işveren yüzünden bir zarara uğrarsa bunu işveren karşılamak zorundadır (Kurt, 2020).

Türkiye'de sanayileşmenin başlangıcı Cumhuriyet döneminde olduğu için iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yasal düzenlemelere bu dönemde daha çok yoğunlaşılmıştır. Büyük Millet Meclisi kurulduktan sonra kömür ocağı işçileri için haklarını ve çalışma şartlarını düzenleyen iş sağlığı ve güvenliği yasası çıkarılmıştır. 1921 yılı Eylül ayında çıkarılan 151 sayılı Ereğli Havza-i Fahmiyesi Maden Amelesinin Hukukuna Müteallik kanunda 50 ve 56. Madde doğrudan iş sağlığı ve güvenliği ile ilgilidir (Yasul, 2019). Bu kanuna göre günlük çalışma süresi sekiz saat ile sınırlandırılmıştır. Ancak işveren ve işçinin ortak kararı ile sekiz saatlik süre ek ücret ödenmesi karşılığında uzatılabilmektedir. Angarya yasağı getirilmiştir. On sekiz yaşın altındaki işçilerin kömür madeninde çalıştırılması kesinlikle yasaklanmıştır. Meslek hastalığına yakalanan ve iş kazası geçiren işçilerin tedavisi işveren tarafından yapılması kanunda belirtilmiştir. İş kazası sonucu ölen işçinin mirasçıları işverenden tazminat talep edebilir ve ayrıca işveren güvenli çalışma koşulları sağlamadığı için para cezasına çarptırılabilir. Bu yasa ile kömür havzasında bulunan yabancı sermayeye sahip işletmelere verilen ayrıcalıklar kaldırılmıştır. İş sağlığı ve güvenliği açısından uygun olmayan işlemelerin ruhsatlarının iptal edilmesi kararı alınmıştır (Çiçek ve Öçal, 2016).

İşçilerin korunmasına ilişkin kararlar 1923 yılında İzmir'de gerçekleştirilen I. İktisat Kongresi'nde alınmıştır. Sırasıyla bir sonraki yıl 394 sayılı kanun olan Hafta Tatili Yasası ve ondan sonraki yılda 1925'te ise 2739 sayılı yasa olan Ulusal Bayram ve Genel Tatiller Hakkında Kanun yayımlanarak yürürlüğe konmuştur. 1926 yılında çıkarılan Borçlar Kanunu'na göre işverenin meslek hastalığı ve gerçekleşen iş kazasına karşı hukuki sorumluluğu vardır. İşveren

çalışanların iş sağlığı ve güvenliği için önlem alması gerekmektedir ve önlem almaması durumunda çalışan zarar görürse bunu işveren karşılamak zorundadır (Çiçek ve Öçal, 2016).

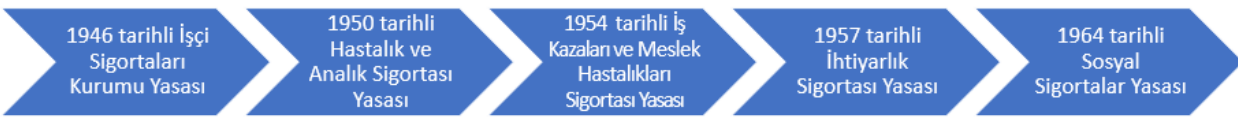
1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu 1930 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanun ile çocuk işçilerin yaşlarına göre çalışma saatleri ve çalışabilecekleri işyerleri sınırlandırılmıştır. Elliden fazla çalışanın olduğu yerlerde işyeri hekimi zorunlu tutulmuştur. İşyeri büyüklüğüne göre revir veya hastane bulundurma yükümlülükleri getirilmiştir. Ayrıca kanun maddelerinde hamile kadın çalışanlar için doğum öncesi ve doğum sonrası hak ve ayrıcalıklar tanınmıştır (Yasul, 2019).

Türkiye'de çalışma hayatını düzenleyen en önemli kanunlardan biri, 1936 yılında çıkarılan 3008 sayılı İş Kanunu'dur. Bu kanunun yerine daha sonra iptal edilen 1967 tarihli 931 sayılı İş Yasası çıkarılmıştır. İptal edilen yasanın ardından 1971 yılında 1475 sayılı İş Kanunu yürürlüğe girmiştir. Önceki iş kanunlarına göre 1475 sayılı kanunda İSG ile ilgili ayrıntılı maddelere yer verilmiştir. Bu kanunun beşinci bölümünde yer alan İSG maddeleri ve konuları Tablo 2-1'de verilmiştir (Çiçek ve Öçal, 2016; Yasul, 2019).

Tablo 2-1 1475 Sayılı İş Kanunu'nda Yer Alan İSG Maddeleri

1475 sayılı yasanın İSG konularını içeren maddeleri	**Maddelerin bahsettiği konular**
73. Madde	İş yerlerindeki sağlık ve güvenlik şartları
74. Madde	Sağlık ve güvenlik tüzükleri
75. Madde	İşin durdurulması ve iş yerinin kapatılması
76. Madde	İşçi sağlığı ve iş güvenliği kurulları
77. Madde	İçki yasağı
78. Madde ve 79. Madde	Ağır ve tehlikeli işler ve bu işlerde çalıştırılacak işçilerin işe girişlerinde ve işin devamında işe elverişli olduklarına dair raporlar
80. Madde	18 yaşına kadar olan çocukların işe alınmadan önce sağlık muayenesinden geçirilerek işin niteliğine uygun olup olmadıkları gösteren raporlar
81. Madde	Gebe ve emzikli kadınların çalışma şartlarından
82. Madde	Çeşitli tüzükler

Yıllar geçtikçe iş sağlığı ve güvenliği konusunda çeşitli sosyal sigorta yasaları yürürlüğe girmiştir. Şekil 2-3'te gösterilen 1946-1957 tarihleri arasında yayımlanan sosyal sigorta yasaları 1964 yılında birleştirilerek tek bir yasa olması açısından 506 sayılı Sosyal Sigortalar Yasası yürürlüğe girmiştir.



Şekil 2-3 İş Sağlığı ve Güvenliği Hakkındaki Diğer Yasalar

1971 yılından beri yürürlükte olan 1475 sayılı İş Kanunu'nu 2003 tarihinde yürürlükten kaldırılıp çalışma hayatında gerekli değişiklikleri barındıran 4857 sayılı İş Kanunu yürürlüğe getirilmiştir. Yeni Kanun, önceki İş Kanunu'nun uygulamasında ortaya çıkan sorunları gidermek üzere AB ve ILO standartları dikkate alınarak oluşturulmuştur (Çilengiroğlu, 2006).

4857 sayılı İş Kanunu, AB standartlarından doğrudan çevrildiği için iş sağlığı ve güvenliği alanındaki bu düzenlemeler sıklıkla eleştirilmektedir. Ülkemizin iç koşullarına uygun, daha kapsamlı, uyulması gereken kurallar ve teknik iş güvenliği önlemlerinin ayrıntılı olarak ifade edildiği yönetmeliklerin çıkarılması gerekmektedir (Süzek, 2011). Bu bağlamda 4857 sayılı İş Kanunu'na göre daha kapsamlı değişiklikler içerecek olan yasa için çalışmalara başlanmıştır. 2006-2008 yılları arasındaki ulusal iş sağlığı ve güvenliği politikası belgelerinde, bağımsız ülkenin iç koşullarına uygun bir İSG yasasının kabul edilmesi amaçlanmıştır. O yıllardan itibaren üzerinde çalışılmaya başlanan bu yasa uzun zaman sonra hem ülkemizin iç koşullarına uygun hem de AB'ye aday ülke olmamızdan dolayı 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çıkarılmıştır. Avrupa Birliği iş sağlığı ve güvenliği konusunda proaktif bir yaklaşım sergilediği için Türkiye'de AB'ye aday üye konumunda olmasından dolayı yeni çıkan yasa da proaktif bir yaklaşıma sahiptir. Bu kanun ile birlikte devlet kurumları ve özel sektör dahil olmak üzere tüm sektörlerde iş sağlığı ve güvenliği açısından önlemlerin alınması ve ilgili çalışmaların yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Günümüzde hala 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu geçerlidir (Akbulut, 2018).

2.1.3. Günümüzde İş Güvenliği Kanunları ve Kuruluşları

Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili yürürlükteki kanun 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'dur. Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği kültürünü oluşturmak amacı ile birçok kurum ve kuruluş vardır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kuruluşları da bünyesinde barındıran bir kamu kurumudur. Şekil 2-4'te ÇSGB'ye bağlı olan İSG kurumları verilmiştir. 1945 yılında kurulan İSGGM, ulusal iş sağlığı ve güvenliği politika belgelerini ve eylem planlarını hazırlar ve yayınlar. İSG hizmetleri ile ilgili dokümanlar paylaşır, sınav ve belgelendirme işlemlerini yapar. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliğine uymayan işletmelerin idari para cezalarını bu kurum belirler. 1969 yılında kurulan İSGÜM'ün misyonu; çalışanların her açıdan iyi seviyede olmaları için eğitim, seminer, toplantı düzenlemek, yayın çalışmaları yapmak, araştırmalar yapmaktır. İSGÜM'ün vizyonu ise İSG alanında tüm dünyada tanınır, örnek olmak ve meslek hastalığı ve iş kazalarını önlemektir.

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) Türkiye'de çalışan işçilerin istatistiki verilerini hazırlar ve sunar. SGK belgelerinden meslek hastalıkları ve iş kazalarının ayrıntılı verileri bulunabilir.



Şekil 2-4 ÇSGB'ye bağlı İSG Kurumları

Türkiye'de İSG konusunda kamu kurumları dışında da kurumlar bulunmaktadır. Türk Tabipler Birliği, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) gibi mesleki örgütler, üniversiteler ve Türkiye İşçi Sendikaları Konfederasyonu (TÜRK-İŞ), Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu (TİSK) gibi işçi ve işveren sendikaları Türkiye'de bulunan İSG ile ilgili kuruluşlardır.

Ulusal kuruluşlar yukarıda belirtilmiştir. İSG ile ilgili en önemli uluslararası kuruluşlar ise ILO, WHO ve İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (OSHA) olarak sıralanabilir.

AB'nin kilit organları olan Avrupa Konseyi, Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Komisyonu birçok konuda temel konumdadırlar. Her konuda olduğu gibi İSG konusunda da Avrupa Birliği'nde bu kurumlar temel bir role sahiptirler. Ancak özel olarak iş sağlığı ve güvenliği konusunda ilgilenmesi için Avrupa İSG Ajansı görevlendirilmiştir. Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat), Avrupa Komisyonuna dâhildir ve Avrupa'daki ülkelerde çalışmalar yaparak Avrupa Birliği'ne istatistik verileri hazırlamaktadır (Koçak ve Koray, 2018).

Çalışma ve sosyal güvenlik bakanlığının iş sağlığı ve güvenliği genel müdürlüğü web sitesinde yayınlanan uluslararası İSG enstitüleri, kurum ve kuruluşlarından bazıları Tablo 2-2'de gösterilmiştir (ÇSGB, 2022).

Tablo 2-2 Uluslararası İSG Enstitüleri, Kurumları ve Kuruluşları (ÇSGB, 2022)

Ülkeler	Uluslararası İSG Enstitüleri	Uluslararası Kurum ve Kuruluşlar
ABD	Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, NIOSH	İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi, OSHA Ulusal Güvenlik Konseyi, NSC
Almanya	Federal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, IFA	İş Sağlığı ve Güvenliği ve Standardizasyon Komisyonu, KAN Yasal Kaza Sigortaları ve Önleme Kurumları Birliği, DGUV
İngiltere		Sağlık ve Güvenlik Kurulu, HSE
İspanya	Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, INSHT	
İtalya	İş Kazaları Ulusal Sigorta Enstitüsü, INAIL Ulusal İş Güvenliği ve Önleme Enstitüsü, ISPESL	
Japonya	Ulusal İş Güvenliği Enstitüsü, NIIS	İş Güvenliği ve Sağlığı Kurumu, JISHA
Kanada	İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma Enstitüsü, IRSST	Belediyeler için İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu, APSAM Kanada İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi, CCOHS
Yunanistan	İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü, ELINYAE	

2.1.4. İş Kazası Tanımı ve Nedenleri

ILO, (2015) tanımına göre iş kazası: "İşten kaynaklanan veya çalışma sırasında ortaya çıkan ölümcül veya ölümcül olmayan bir yaralanmayla sonuçlanabilen kazalardır.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası'nın üçüncü maddesine göre iş kazası; "işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olay" olarak tanımlanmıştır (İSG Kanunu, 2012).

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunun on üçüncü maddesinde iş kazasının tanımı, bildirilmesi ve soruşturulması konusundaki hükümlere yer verilmiştir. 5510 sayılı yasaya göre iş kazası (Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu, 2006):

- Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada
- İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle
- Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda

- Emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda

- Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş gelişi sırasında

Yukarıdaki maddelerden herhangi birisinde meydana gelen, işçiyi o anda veya daha sonra ruhen veya bedenen özre uğratan olaydır.

Şekil 2-5'te gösterildiği üzere iş kazalarının dört farklı nedeni vardır. İş kazasını etkileyen faktörler "4M" olarak bilinir. Bunlar; çalışan, işçi, insan (man), makine, araç, ekipman (machine), iş ortamı, şantiye, çevre (media) ve yönetim (management) olarak belirtilmiştir. Yani; işçinin yaptığı bir hatadan/dikkatsizliğinden, makine, araç ve ekipmanların bakım ve onarımının düzenli yapılmamasından veya arızasından, şantiye ve çevresinde gelişen tehlikeli durumlardan, işletme yönetiminin iş sağlığı ve güvenliği konusunda gerekli tedbirleri almamasından iş kazası meydana gelir (Demir ve Öz, 2018).



Şekil 2-5 İş Kazasının Temel Nedenleri (Demir ve Öz, 2018)

Direkt maliyetler ve endirekt maliyetler olmak üzere iş kazalarından kaynaklanan maliyetler iki ana grupta toplanmaktadır. Direkt maliyet yerine farklı kaynaklarda görünür, hesaplanan maliyet; endirekt maliyet yerine ise görünmez, gizli maliyet terimleri kullanılmaktadır. Direkt maliyetler buzdağının görünen kısmıdır. İş kazası maliyetlerinin yalnızca üçte birini direkt maliyetler oluştururken üçte ikisini endirekt maliyetler oluşturmaktadır. Bir iş kazası

oluştuğunda direkt maliyetler belli ve hesaplanabilirken endirekt maliyetler bu iş kazası sonucu oluşan dolaylı etkilerden kaynaklanan maliyetler olduğu için hesaplanması zordur. Şekil 2-6'da iş kazası maliyetleri gösterilmiştir. Direkt maliyetler; açılan tazminat davalarının ücretleri, iş kazası geçiren işçinin tedavi masrafları, kazada hasara uğrayan malzemelerin ücretleri gibi maliyetlerdir. Endirekt maliyetler ise iş kazası nedeniyle üretimin kesintiye uğraması kaynaklı maliyetler, işçilerin motivasyon düşüklüğü/iş kazası geçirme korkusu sebepli verim kaybı maliyetleri, iş kazası sonucu ekipmanda oluşan hasar kaynaklı zaman kaybı maliyeti gibi maliyetlerdir (Tan, 2008).



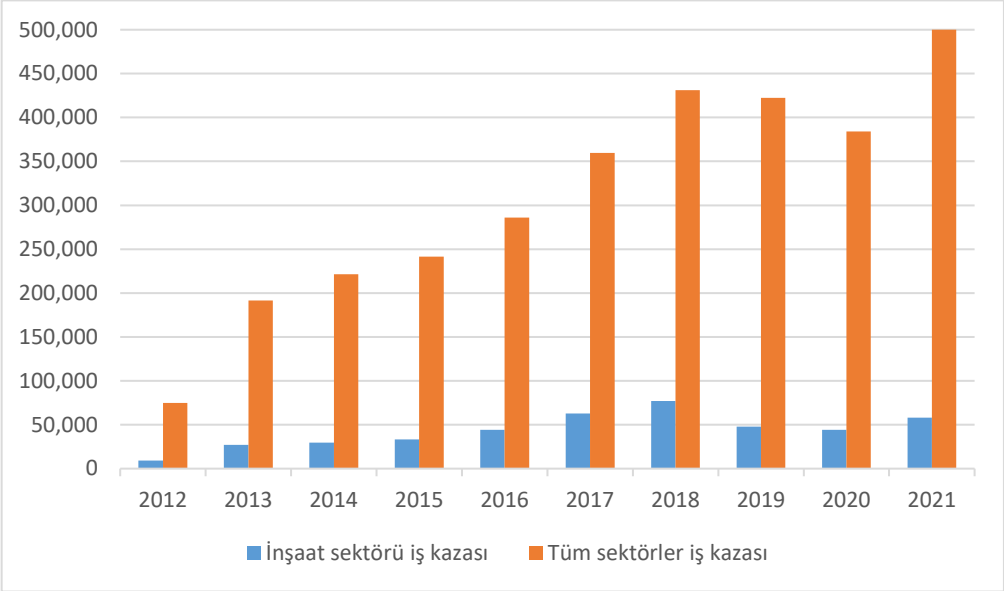
Şekil 2-6 İş Kazası Maliyetleri (Tan, 2008)

2.1.5. İnşaat İş Sektörü ve İş Sağlığı Güvenliği İstatistikleri

Önemli ekonomik sektörlerden biri olan inşaat endüstrisi lokomotif sektör olarak kabul edilmektedir. Sektörler arası etkileşimlerin gücüne bakıldığında, inşaat sektörü yirmi ekonomik sektör arasında en güçlü dört sektör arasında yer almaktadır. Sektörün nihai çıktısı olan yapılar, diğer sektörlerin bir bileşeni olarak işlev görmekte ve girdi olarak diğer birçok sektör tarafından üretilen mal ve hizmetlere inşaat sektöründe ihtiyaç duymaktadır. Diğer sektörlerle olan etkileşimleri nedeniyle inşaat sektöründeki büyümenin diğer ekonomik sektörlerde de büyümeyi teşvik edeceği ve böylece ülkenin genel ekonomik büyümesini destekleyeceği anlaşılmaktadır. Ayrıca inşaat sektörünün işsizliği azalttığı ve büyüme dönemlerinde önemli

bir istihdam kaynağı olduğu kabul edilmektedir (Balaban, 2011). Gayri safi milli hasılanın (GSMH) sektörel paylarının yıllara göre değişimi Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine bakarak incelenmiştir. 2018 yılında inşaat sektörü GSMH'nın %7,1'ini oluşturmaktadır. Covid-19 pandemisi ile inşaat sektörü sırasıyla 2019, 2020 ve 2021 yıllarında GSMH'nın %5,4, %5,2 ve %5,1'ine katkıda bulunmuştur. 2021 yılı TÜİK işgücü istatistiklerine göre istihdam edilenlerin %6,2'si inşaat sektöründe yer almıştır (*TÜİK*). İncelenen veriler göz önünde bulundurulduğunda inşaat sektörü ekonomik payda ve istihdamda önemli yere sahiptir. 6331 sayılı İş sağlığı ve Güvenliği kanununca "çok tehlikeli işler" sınıfında bulunan yapı sektöründe diğer sektörlere göre fazla çalışanında olmasıyla iş güvenliği önemli bir sorun haline gelmiştir.

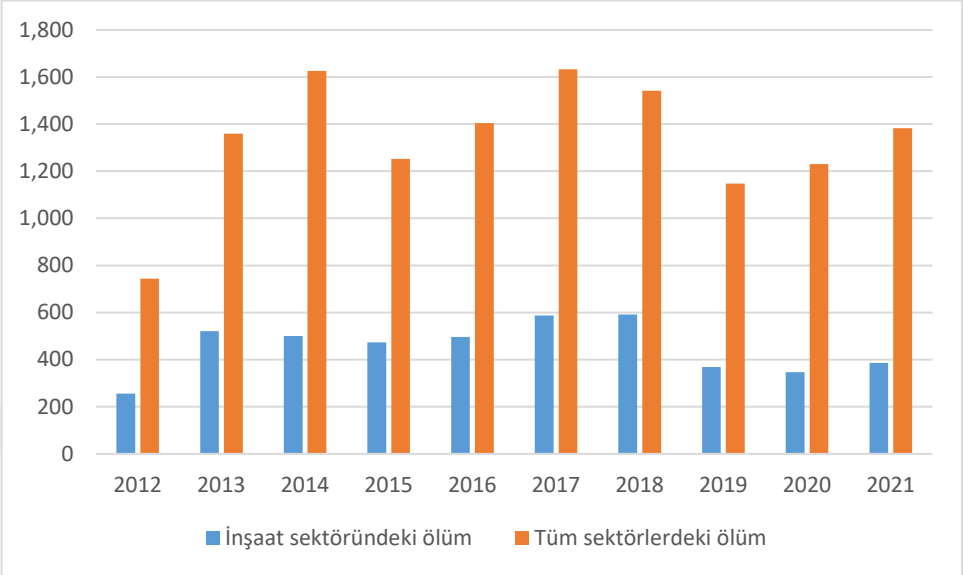
SGK tarafından her yılın istatistik verisi yayınlanmaktadır. İstatistik verileri; sektör bazlı o yılda meslek hastalığına tutulan işçi sayısı, gerçekleşen iş kazası sayısı, meslek hastalığı sonucu ölen işçi sayısı ve gerçekleşen iş kazası sonucu ölen işçi sayısını içermektedir. 2012-2021 yılları arasında gerçekleşen tüm sektörlerdeki toplam iş kazası sayıları ve inşaat sektöründe gerçekleşen iş kazası sayıları Şekil 2-7'de gösterilmiştir. Son 10 yılın verilerinin ortalamasına bakıldığında tüm sektörlerde gerçekleşen iş kazalarının yaklaşık %14'ü inşaat sektöründe gerçekleşmiştir.



Şekil 2-7 Son 10 Yılın İş Kazası İstatistikleri (*SGK*, 2022)

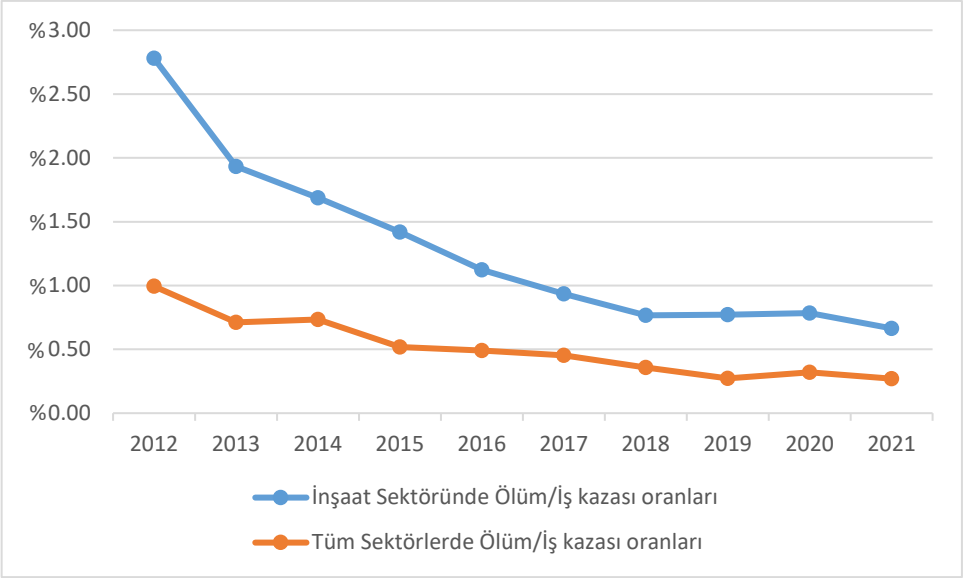
Tüm sektörlerdeki ve inşaat sektöründeki iş kazası sonucu ölen işçi sayıları aşağıdaki şekilde verilmiştir. 2012-2021 yılları arasındaki ölüm istatistiklerinin ortalamasına bakıldığında tüm sektörlerdeki toplam ölüm sayısının yaklaşık olarak %34'ü inşaat sektöründe gerçekleşmiştir.

Bu durumda inşaat sektöründe iş kazası sonucu gerçekleşen ölüm oranı (%14), iş kazası oranından (%34) yüksektir. Bu da inşaat sektörünün çok tehlikeli olduğunu ve ölümlü kazaların azaltılması için daha çok önlem alınması gerektiğini gösterir.



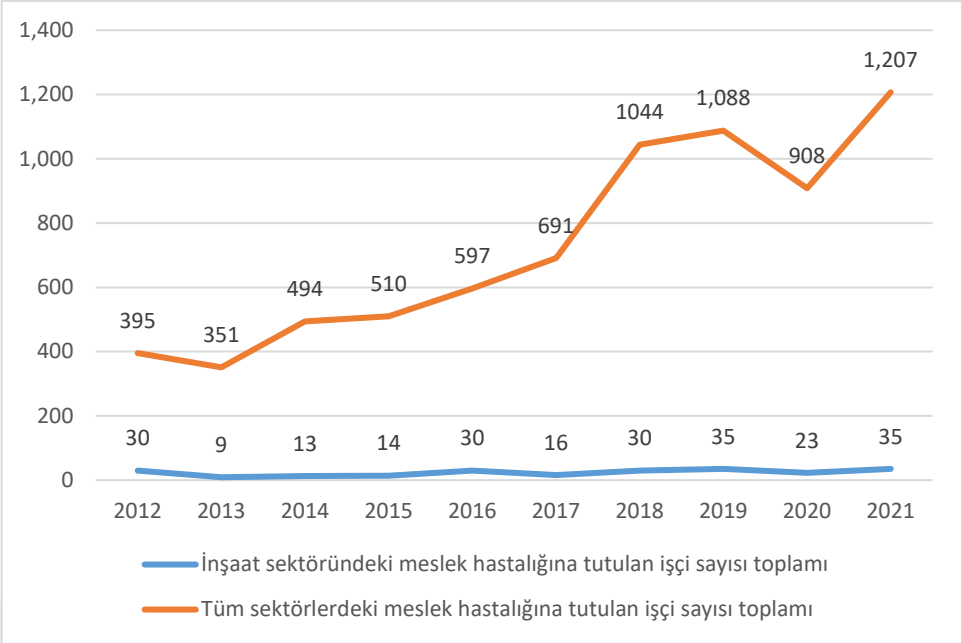
Şekil 2-8 Son 10 Yılda İş Kazası Sonucu Ölen Sayısı İstatistikleri (*SGK*, 2022)

Son yıllarında gerçekleşen iş kazası sonucu ölüm/ iş kazası oranları hesaplanıp Şekil 2-8'de gösterilmiştir. Şekil 2-8'de görüldüğü üzere her yıl inşaat sektöründeki ölüm/iş kazası oranları tüm sektörlerdeki toplam ölüm/iş kazası oranlarından yüksektir. Ancak iş kazası sayısı yıllar geçtikçe artmasına rağmen ölüm oranlarının hem tüm sektörlerde hem de inşaat sektöründe düştüğü Şekil 2-9'dan görülmektedir. 2012 yılında tüm sektörlerde %0,99 olan oran 2021 yılında %0,27 olmuştur. Tüm sektörlerde görülen bu orandaki düşüş inşaat sektöründe de etkili olmuştur. İnşaat sektöründe ölüm/iş kazası oranı 2012 yılında %2,78 iken 2021 yılında %0,66'ya düşmüştür. Bu orandaki düşüş son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan önlemlerin ve denetimlerin sağladığı faydayı göstermektedir.



Şekil 2-9 Son 10 Yıldaki Ölüm/İş Kazası Oranları

SGK, (2022) yıllık olarak yayınladığı istatistiklerde bulunan meslek hastalığına yakalanan işçi sayıları ve meslek hastalığı sonucu ölen işçi sayıları incelenmiştir. Şekil 2-10'da tüm sektörlerde ve inşaat sektöründe görülen toplam meslek hastalığına tutulan işçi sayıları gösterilmiştir. Son on yıldaki inşaat sektöründe meslek hastalığına yakalanma oranı tüm sektörlerin toplamının sadece %3,23'ünü kapsamaktadır. İnşaat sektöründe meslek hastalığına tutulma oranı diğer sektörlere göre daha azdır. Tüm sektörler toplamında 2012 yılında meslek hastalığı sonucu 1 işçi, 2020 yılında ise 5 işçi ve 2021 yılında 35 işçi ölmüştür. 2012-2021 yılları arasında sadece 2021 yılında 1 inşaat işçisi ölmüştür. Bu veriler ışığında tüm sektörlerde meslek hastalıkları genellikle ölüme yol açmamaktadır.



Şekil 2-10 Son 10 Yılda Meslek Hastalığına Tutulma İstatistikleri (*SGK*, 2022)

Şekil 2-10'da inşaat sektörü toplam olarak verilmişti. Ancak SGK verilerinde inşaat sektörü üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Bu veriler NACE ekonomik kodlarına göre ayrılırlar. NACE kısaltması, 1970'ten beri Avrupa Birliği'nde oluşturulan ekonomik faaliyetlerin çeşitli istatistiksel sınıflandırmalarına atıfta bulunmak için kullanılır. NACE kodu, işyerlerinin faaliyet gösterdiği ortama göre tehlike sınıflandırmasını yapan altı haneli kod sistemidir. Bu koda bakarak bir firmanın tehlike derecesi öğrenilebilir (Eurostat, 2008).

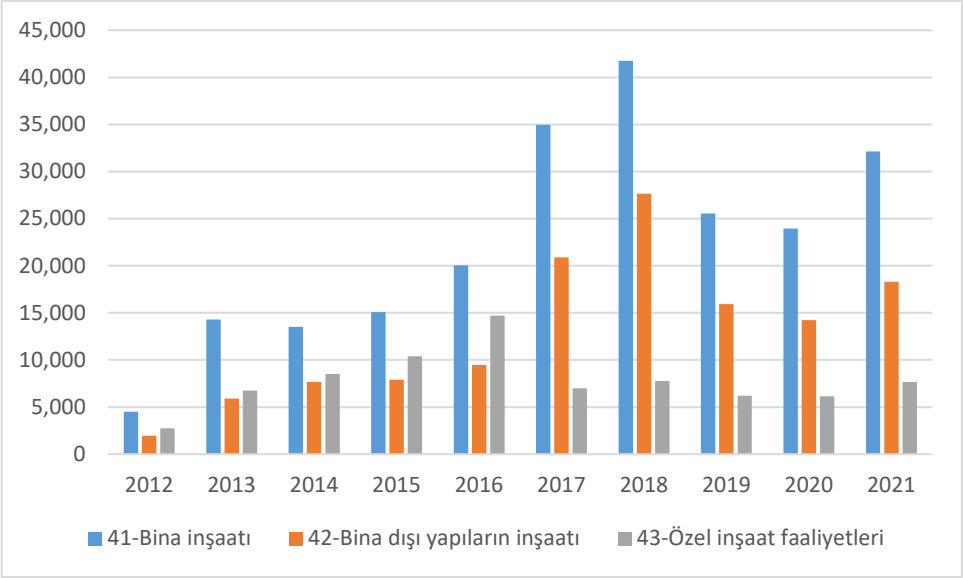
SGK tarafından yayınlanan istatistiksel veriler NACE ekonomik faaliyet sınıflandırmasına göre oluşturulmuştur. İnşaat sektörü; NACE41-bina inşaatları, NACE42-bina dışı yapıların inşaatı ve NACE43-özel inşaat faaliyetleri olmak üzere üç ayrı ana bölümden oluşmaktadır. İnşaat sektöründeki NACE ekonomik sınıflandırma kodları ve onların detayları Tablo 2-3'te verilmiştir.

Tablo 2-3 İnşaat Sektörü NACE Kodları ve Detayları (*SGK*, 2022)

41-Bina inşaatı	1-İnşaat projelerinin geliştirilmesi	0-İnşaat projelerinin geliştirilmesi
	2-İkamet veya ikamet amaçlı olmayan binaların inşaatı	0-İkamet veya ikamet amaçlı olmayan binaların inşaatı
42-Bina dışı yapıların inşaatı	1-Kara ve demir yollarının inşaatı	1-Kara yolları ve otoyolların inşaatı
		2-Demir yolları ve metroların inşaatı (demiryolu tünel ve yer altı inşaatı)
		3-Köprüler ve tünellerin inşaatı

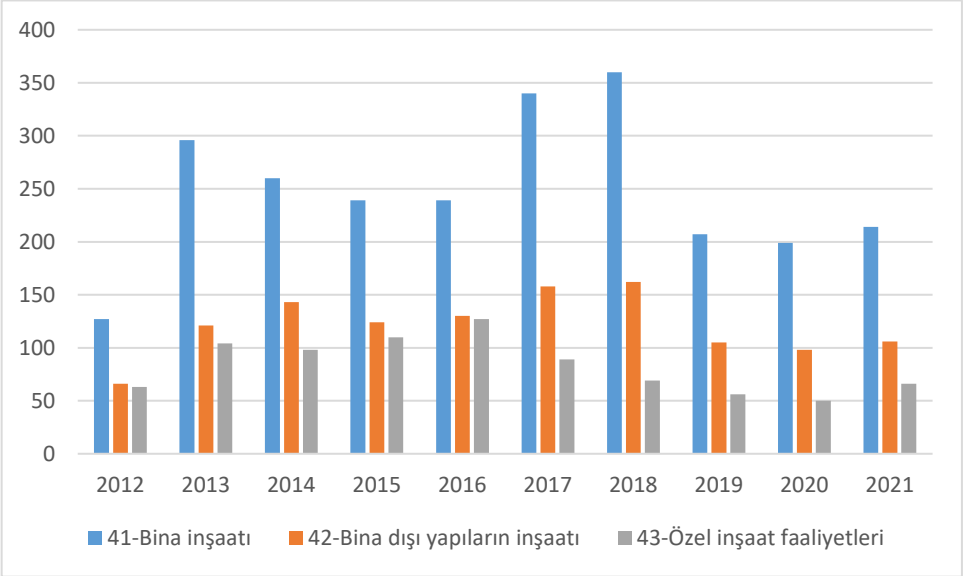
		4-Demir yolu. tünel ve yer altı tamiratı
	2-Hizmet projelerinin inşaatı	1-Sıvılar için hizmet projelerinin inşaatı
		2-Elektrik ve telekomünikasyon için hizmet projelerinin inşaatı
		3-Dekovil ve tranvay yolu inşaat ve tamiratı
	9-Bina dışı diğer yapılara ait projelerin inşaatı	1-Su projeleri inşaatı
		2-İskele. liman.mendirek inşaat ve tamiratı
		9-Başka yerde sınıflandırılmamış bina dışı diğer yapılara ait projelerin inşaatı
43-Özel inşaat faaliyetleri	1-Yıkım ve şantiyenin hazırlanması	1-Yıkım
		2-Şantiyenin hazırlanması
		3-Test sondajı ve delme
	2-Elektrik tesisatı. sıhhi tesisat ve diğer inşaat tesisatı faaliyetleri	1-Elektrik tesisatı
		2-Sıhhi tesisat. ısıtma ve iklimlendirme tesisatı
		3-Bina dışı elektrik. gaz. telgraf. telefon tesisatı ve havai hat payplan inşaat. tamirat ve bakım işleri
		9-Diğer inşaat tesisatı
	3-Binanın tamamlanması ve bitirilmesi	1-Sıva işleri
		2-Doğrama tesisatı
		3-Yer ve duvar kaplama
		4-Boya ve cam işleri
		9-İnşaatlardaki diğer bütünleyici ve tamamlayıcı işler
	9-Diğer özel inşaat faaliyetleri	1-Çatı işleri
		9-Başka yerde sınıflandırılmamış diğer özel inşaat faaliyetleri

2012-2021 yılları arasında inşaat sektöründeki gerçekleşen iş kazası sayıları üç ayrı NACE kodu için Şekil 2-11'de gösterilmiştir. Şekil 2-11'deki grafik incelendiğinde en fazla iş kazasının gerçekleştiği ekonomik sınıf, bina inşaatı olmuştur. İnşaat sektöründe son on yılda NACE koduna göre gerçekleşen iş kazası sayılarının ortalamasına bakıldığında %52'si bina inşaatı, %30'u bina dışı yapıların inşaatı ve %18'i özel inşaat faaliyetleri olarak bulunmuştur. Bina inşaatı ve bina dışı yapıların inşaatı iş kazaları sayılarında son yıllarda artış olurken özel inşaat faaliyetlerindeki iş kazaları sayılarında çok değişiklik olmamıştır.



Şekil 2-11 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre İş Kazası İstatistikleri (*SGK*, 2022)

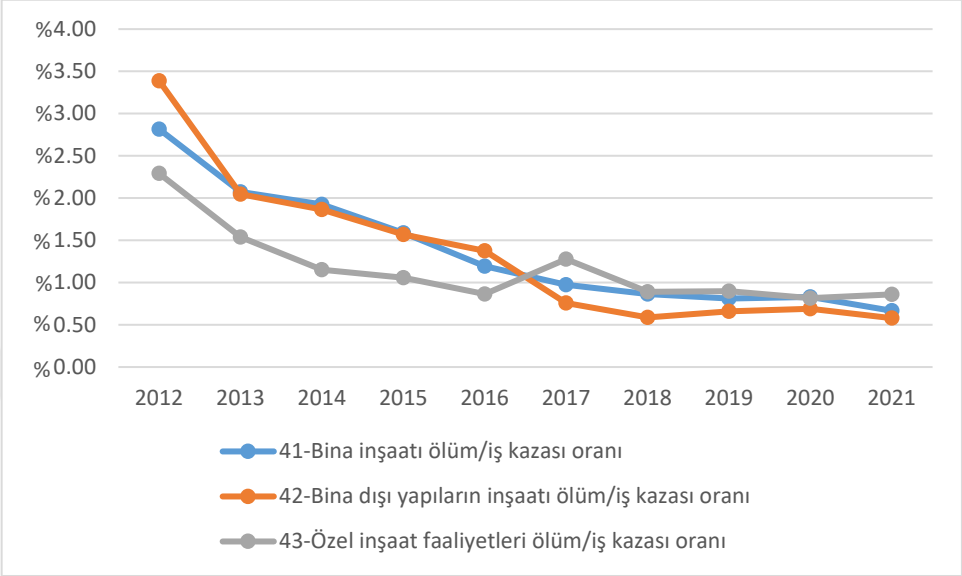
Son 10 yılda inşaat sektöründeki iş kazası sonucu ölen işçi sayıları üç ayrı NACE kodu için Şekil 2-12'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en fazla iş kazası sonucu ölen işçi bulunan ekonomik sınıf, bina inşaatı olmuştur. İnşaat sektöründe son on yılda NACE koduna göre iş kazası sonucu ölen işçi sayılarının ortalamasına bakıldığında %54,8'i bina inşaatı, %26,8'i bina dışı yapıların inşaatı ve %18,4'ü özel inşaat faaliyetleri olarak bulunmuştur.



Şekil 2-12 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre İş Kazası Ölüm Sayıları (*SGK*, 2022)

Son 10 yılın verileri doğrultusunda iş kazası sonucu ölüm/ iş kazası oranları inşaat sektöründe üç ayrı NACE kodu için hesaplanıp Şekil 2-13'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi son

yıllarda her NACE kodu için ölüm/iş kazası oranı düşmektedir. 2012 yılında ölüm/ iş kazası oranı NACE 41 kodu için %2,82, NACE 42 kodu için %3,39 ve NACE 43 kodu için %2,29 iken 2021 yılında NACE 41 kodu %0,67, NACE 42 kodu %0,58 ve NACE 43 kodu %0,86'ya düşmüştür.



Şekil 2-13 İnşaat Sektöründe NACE Koduna Göre Ölüm/İş Kazası Oranları

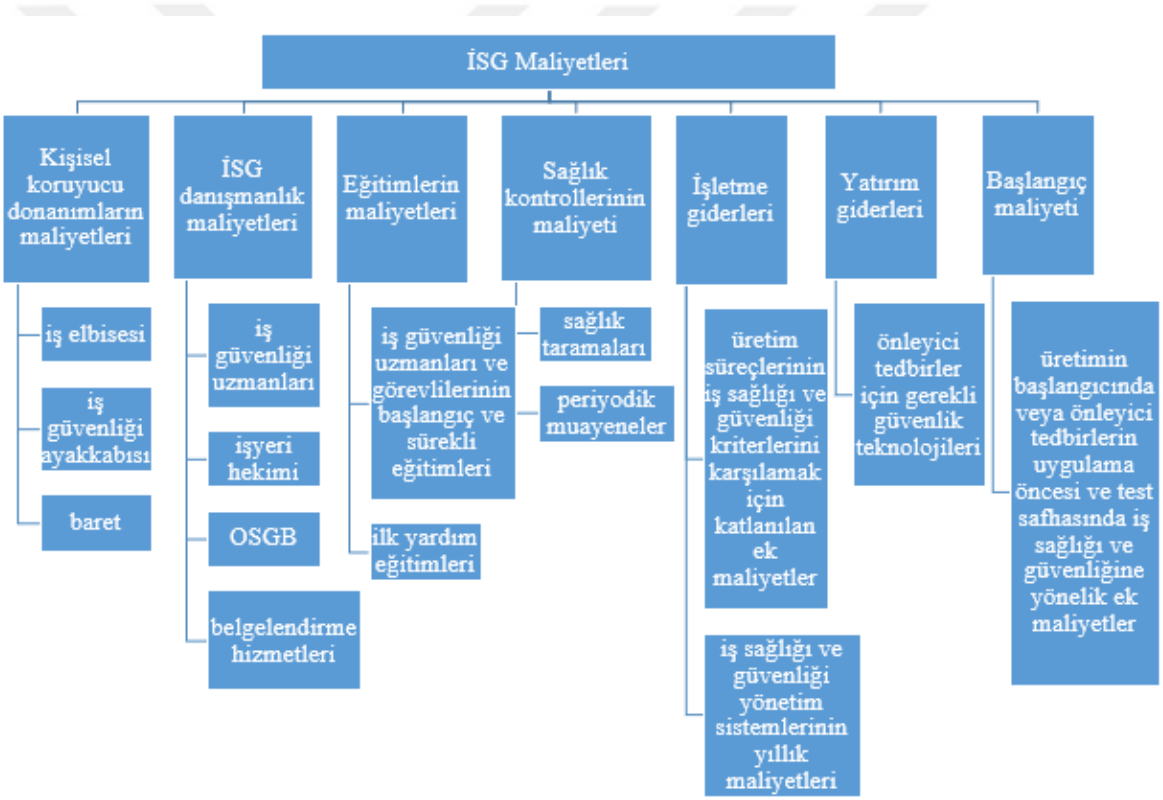
İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği istatistikleri incelenmiş, grafikler üzerinden yorumlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin yıllar içinde daha da artmasıyla iş kazası sonucu ölüm oranları son yıllarda düşmüştür. Ancak son yıllarda inşaat sektöründe artan iş kazası sayıları, her ne kadar ölümcül olmasa da alınan önlemlerin yetersiz kaldığını göstermektedir.

2.1.6. İş Sağlığı ve Güvenliği Maliyeti

İş sağlığı ve güvenliği kanununa göre işveren, önleyici iş sağlığı ve güvenliği faaliyetleri için yapılan harcamaları ödemekle yükümlüdür. İşveren için İSG maliyetleri fazla görünse de daha sonra oluşacak iş kazalarından kaynaklanan maliyetler, ölümlü iş kazası sonucu ödenen tazminatlar gibi ödemeler düşünüldüğünde işveren için maliyeti daha azdır.

İşletmelerin işyeri kazaları ve meslek hastalıklarını önleme tedbirleri için yaptıkları harcamalar ve yatırımlar, kâr ve değer açısından belirli kazanımlarla sonuçlanmaktadır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen anket çalışmasının bulgularına göre firmalar iş sağlığı ve güvenliğine yaptıkları yatırımlardan önemli bir kazanç ve fayda görüyorlar (ÇSGB, 2010). Şekil 2-14'te gösterildiği üzere bu çalışmada önleme amaçlı yapılan maliyetler yedi

grupta sınıflandırılmıştır. Koruyucu ekipman maliyetleri, şantiyede işçilerin olası risklerden korunmak için giydikleri ve kullandıkları kişisel ekipmanların maliyetleridir. Bunlar yaptığı işe ve riskine göre değişmekle birlikte baret, yelek iş güvenliği ayakkabısı, koruyucu eldivenler, emniyet kemeri, gözlük gibi ekipmanlar kişisel koruyucu donanımlardır. Danışmanlık maliyetleri; iş güvenliği uzmanları, işyeri hekimi, belgelendirme hizmetleri gibi İSG maliyetlerinden oluşur. İlk yardım eğitimleri, yüksekte çalışmada iş güvenliği eğitimi gibi faaliyetler eğitim maliyetlerini oluşturur. İşçilerin sağlık taramaları, tahlilleri, röntgenleri, periyodik muayeneleri gibi giderler sağlık kontrolleri maliyetinde yer alır. Başlangıç ve işletme maliyetleri iş sağlığına yönelik tedbirler ve yönetim sistemlerinin maliyetleridir. Yatırım giderleri ise önleyici tedbirler için gerekli güvenlik teknolojileridir.



Şekil 2-14 İş Sağlığı ve Güvenliği Maliyetleri (ÇSGB, 2010)

İş sağlığı ve güvenliğinde önleme amaçlı yapılan harcamaların işletmeye getirdiği kazanç ve faydalar şekilde gösterilmiştir. Şekil 2-15'e göre üretimde kesintilerin önlenmesi, hurda ve firelerin önlenmesi, çalışan motivasyonuna kattığı değer, ürün kalitesinde artış, yenilik katma değeri ve işletme imajının artması iş sağlığı ve güvenliğinin faydalarındandır. İSG konusunda yapılan yatırımlarla birlikte iş kazaları azaldığı için çalışanların motivasyonu artar. Bu sayede üretim aksamaz, ürün kalitesi artar. Bu durum işletme imajına da pozitif katkı sağlar. Çalışma

ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen projenin bulgularına göre, ulusal iş sağlığı ve güvenliği faydalarının maliyetin yaklaşık olarak iki katına eşit olduğunu göstermiştir ve İSG yatırımlarının artması ile bu artış oranının yükseleceği ön görülmüştür (ÇSGB, 2010).



Şekil 2-15 İş Sağlığı ve Güvenliği Faydaları (ÇSGB, 2010)

İş güvenliğini sağlamak için atılacak adımların bedeli, projenin başında maliyet hesabına dâhil edilmez. İş güvenliği maliyetleri, birim fiyatların dörtte birini oluşturan yüklenici kârı ve genel giderlerin içinde düşünülür. İş güvenliği uzmanları proje ilerledikçe şantiyeyi gezerek gerekli önlemlerin alınmasını sağlar. Yani iş güvenliği maliyetleri proje başında göz önüne alınmayan maliyetlerdir. Ancak yapı bilgi modellemesi ile tasarım aşamasında tüm disiplinler için 3B tasarım yapılmaktadır. Modelden bakarak mühendis ve iş güvenliği uzmanları gerekli önlemleri tespit edebilir ve modelden gerekli önlemlerin metrajını otomatik olarak alınabilir. Bu sayede inşaat faaliyetlerine başlanmadan İSG maliyetleri hesaplanabilir. Yaklaşık maliyet hesaplanırken ve ihale teklifi verilirken göz önüne alınmayan İSG maliyetleri yapı bilgi modellemesi sayesinde görünür olur (Akçay ve Giran, 2021).

2.1.7. Covid-19 Pandemisinin İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine Etkisi

2019 yılı Kasım ayında Çin'in Hubei eyaletinin Wuhan şehrinde ilk vakası görülen SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu bulaşıcı hastalık, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından Covid-19 olarak adlandırılmıştır. Bulaşıcı olan bu hastalık Wuhan şehrinden tüm dünyaya kısa sürede yayılmış ve pandemiye sebep olmuştur. Covid-19, ağız veya burundan çıkan damlacıkların solunması ile insandan insana geçtiği için uzmanlar önlem olarak kişiler arasında en az bir metre olacak şekilde sosyal mesafenin korunmasını, maske takılmasını ve temizliğe önem verilmesini önermişlerdir. Bir virüsün bu denli yayılarak tüm dünyada etkisini kısa zamanda göstermesi tüm ülkelerde alınan önlemleri arttırmıştır. Hatta ülkeler sokağa çıkma yasağı ilan etmişlerdir. Enfekte olan kişiler için karantina uygulaması yapılmıştır. Pandemi ile birlikte alınan önlemler ile tüm dünyada insanların gündelik yaşam alışkanlıkları değişmiştir. Yaşam alışkanlıklarının

dışında okullarda eğitim şekilleri ve iş yaşamında da değişimler görülmüştür (Arslan ve Karagül, 2020).

Bu dönemde birçok insan evden çalışmaya başladı, okullar kapatıldığı için öğrenciler uzaktan eğitim aldılar, internet üzerinden alışverişler çoğaldı. Bu değişimler sayesinde sosyal mesafe korundu ve virüsün daha çok yayılması önlendi ama insanların alışkanlıkları da değişti. Günlük hayattaki ve iş yaşamındaki bu değişimlerle covid-19 pandemisi endüstri 4.0'a geçişi hızlandırmıştır. Endüstri 4.0, kurumsal faaliyetlerin veriye dayalı bilimsel yaklaşımlarla ele alındığı Nesnelerin İnterneti (IoT), Büyük Veri ve Makineler Arası İletişim (M2M) teknolojilerinin birlikte kullanıldığı dördüncü sanayi devrimini ifade eder (Wikipedia, 2022).

Abdüsselamoğlu (2021) yaptığı yüksek lisans tezinde inşaat sektöründe covid-19 pandemisinin getirdiği olumlu ve olumsuz etkiler verilmiştir. Tezde yapılan anket çalışmasının sonuçlarına göre pandemide birçok inşaat şirketi daha önce böyle riski düşünmedikleri için çalışmaları olumsuz etkilenmiştir. Hatta inşaat sektöründeki birçok şirket çalışmaları durdurmuştur. Bu olumsuz durumdan etkilenmemek adına uzaktan çalışma, vardiyalı çalışma, çalışma saatlerinin azaltılması ve az çalışanın bir arada çalışması gibi öneriler sunulmuştur. Şantiyelerde çalışan sayısının azaltılması ile birlikte az işçi olduğu için iş kazası sayıları da düşmüştür. Ayrıca hükümetlerin aldığı iş durdurma ve sokağa çıkma yasakları şantiyelerdeki hırsızlık olaylarını arttırdığı için sigorta ve güvenlik şirketleriyle yapılan anlaşmalarda izleme teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir.

Şantiyede çalışan işçiler arasındaki sosyal mesafeyi korumak adına işçiler sensörle izlenebilir. Mesafe azaldığında uyarı sistemi devreye girebilir. Pandemide iş sağlığı ve güvenliği konusunda gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri ile covid-19 önlemleri uygulanabilir bu sayede virüs yayılması önlenerek işçi sağlığı korunur ve inşaat projelerindeki gecikmeler yaşanmaz.

2.2. GERÇEK ZAMANLI İZLEME SİSTEMLERİ

Gerçek zamanlı, bir olayın gerçekleşme anından sonra en kısa zamanda olaya cevap verebilme yeteneğine atıfta bulunan bir terimdir. Kullanılan cihazlar ve bilgisayar programları sayesinde izlenen ortam modellenebilir ve olay gerçekleştiği anda yanıt üretilebilir. İzleme, belirli bir maddenin ortamda var olma durumunun saptanmasını, maddenin miktarının ölçülmesini ve izlenen ortamdaki değişimlerin belirlenmesini sağlar. Gerçek zamanlı izleme sisteminde

kullanılan uzun süre bakım gerektirmeyen bağımsız cihazlar ile insanların ulaşamayacağı veya çok tehlikeli ortamlardan veri toplanabilir.

Çevresel koşulların gerçek zamanlı izlenmesi ve raporlanması 1830'lardaki telgrafın icadına dayanır. Telgraf bulunmadan önce elle yapılan hava durumu tahmin ve raporları tren ile gönderilmesi gereken yere iletiliyordu. Telgraf ile rapor ve uyarılar aynı anda ulaşılması gereken yere gönderilebildi. Gerçek zamanlı ölçümlerin çoğu sensörler tarafından yapılır. İlk sensör 1934 yılında icat edilen pH ölçerdir. Daha sonra çevresel izleme için kullanılan sensörler farklı parametrelerin ölçümlerini yapabilecek şekilde geliştirilmişlerdir. Uzunluk, pozisyon, ses, basınç vb. özellikleri algılayan mekanik sensörler, ısı akışı ve sıcaklığı ölçen termal sensörler, manyetik sensörler, kimyasal sensörler, elektriksel sensörler ve ışıma sensörleri olarak algılama özelliklerine göre sensörler altı çeşide ayrılırlar. Çeşitli sensörler sayesinde erişilmesi zor ortamlardaki değişimler ölçülebilir. Telgrafın bulunması ve çeşitli sensörlerin icat edilmesiyle gerçek zamanlı izleme teknolojisi gelişmiştir (Encyclopedia.com, 2019).

Gerçek zamanlı izleme teknolojisi ilk olarak hava durumu tahminlerinde kullanılmıştır. Hava durumu tahminleri ile birlikte olası afetlere ve kazalara karşı önlem almak istenmiştir. Afetler, insanlar için yaralanma ve can kaybına neden olan, normal yaşantıyı etkileyen, maddi zarara neden olan, çok sayıda savunmasız insanın maruz kaldığı büyük olaylardır. Şiddetli soğuklar, kuraklık gibi yavaş gelişen doğal afetlerde verilerin toplanıp analiz edilmesi ve önlem alınabilmesi için yeterli süre vardır. Ancak deprem, toprak kayması, sel, su taşkını, volkan, hortum gibi ani gelişen doğal afetlerde riskli bölgelerin gerçek zamanlı olarak izlenip ani değişimlerde çevreye o anda uyarı vermesi gerekmektedir (AFAD, 2020b).

Orman yangınları, volkanik dumanlar, seller vb. doğal afetler yerleşik algılama sistemine ve hızlı raporlamaya gerek duyarlar. Çünkü bu afetler hızlı yayılırlar ve zaman geçtikçe afetlere müdahale edilip kontrol altına almak zorlaşır. Örneğin yangınlar geometrik olarak büyür. Bu nedenle olay yerinde bulunanlar ve yangına müdahale edecek ekipler çok hızlı hareket etmek zorundadır. Yangın başlangıç noktasının tespiti ve yangın özelliklerinin (konumu, yönü ve yoğunluğu) izlenmesi sonucunda elde edilen veriler hızla değişir. Bu verilerin faydalı olabilmesi için hızlı geri dönüş süresine sahip olması gerekir. Ancak mevcut uzaktan algılama uyduları kullanılan izleme sistemlerinde veri akışı yavaş olur. Orman yangınlarının yönetimi için akıllı uyduyla gerçek zamanlı yangın izleme sistemi gereklidir. Teknolojik olarak daha gelişmiş olan akıllı uydular daha az yer istasyonu desteği gerektirir ve gerekli bilgileri yer

istasyonlarına hızlı ve kolay bir şekilde iletebilir. Gerçek zamanlı olarak alınan bu bilgiler ile yangın kısa sürede kontrol altına alınabilir (Visser ve Dawood, 2004).

Heyelan; eğim, toprak özellikleri, yükseklik, arazi örtüsü ve kayaç özellikleri gibi pek çok faktörün karmaşık etkileşimine bağlı olduğu için ne zaman, nerede oluşacağını tahmin etmek zordur (Eyo *vd.,* 2015). Gerçek zamanlı heyelan izleme, zaman içinde nasıl deforme olduklarını kontrol etmek, tahmin etmek ve felaketleri önlemek için yapılır. Geleneksel heyelan izlemesi için izlenen yaklaşım şu şekildedir: Heyelan olabilecek bölgede belirli sayıda izleme noktası belirlemek, izleme ekipmanı kurmak, rutin gözlemler yapmak, verileri işleyip analiz etmek, sonuçlarla birlikte bir rapor hazırlamak ve karar vermesi için yönetime raporun teslim edilmesi. Dezavantajları arasında çok fazla işçilik ve malzeme gereksinimi, sınırlı üretkenlik, önemli insan hatası ve gecikmeli reaksiyon süreleri ve uzun gözlem süreleri yer alır. Bu nedenle, heyelan deformasyon sürecini sürekli takip edecek gerçek zamanlı bir izleme sisteminin kurulması ve ön uyarının yapılabilmesi pratik açıdan büyük önem taşımaktadır (Wang *vd.,* 2012).

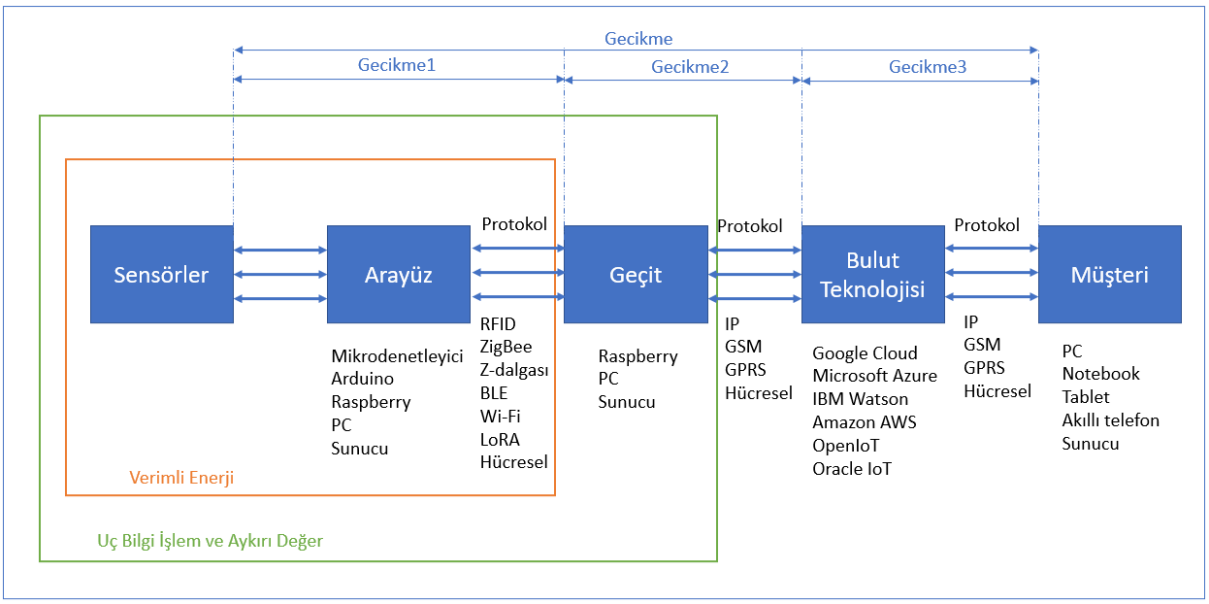
Gerçek zamanlı izleme, en çok afetler için kullanılmaktadır. Ancak birçok farklı sektörde de kullanılmaktadır. Su kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesi (Katole ve Bhute, 2017), kronik hastaların değerlerinin gün içinde sürekli ölçülmesini sağlayan gerçek zamanlı izleme sistemleri (Ajinkya ve Bandegiri, 2015) farklı sektörlere örnek olarak verilebilir.

İnşaat sektöründe ise gerçek zamanlı izleme sistemleri projedeki ilerlemeyi izlemek için, yapılan işlerin otomasyonun yapılması için, verimliliği arttırmak için ve iş güvenliğini sağlamak için kullanılır. Özellikle iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ve iş kazalarını önlemek için şantiyelerde kurulan gerçek zamanlı izleme sistemleri önemlidir. Kör noktalar gibi operatör görüş sorunlarına ek olarak şantiyede çeşitli dinamik engellerin bulunmasından dolayı inşaat sahalarındaki ekipmanların çalıştırılmasındaki hatalar, çarpışmalar şantiyelerdeki iş kazalarının önemli nedenlerindendir (Kim *vd.,* 2006). Kör noktaları görünür kılmanın en kolay yolu gerçek zamanlı izleme sisteminin kurulması ve tehlike anında uyarı sinyalleri ile operatörün uyarılmasıdır.

2.2.1. Sistemin Yapısı

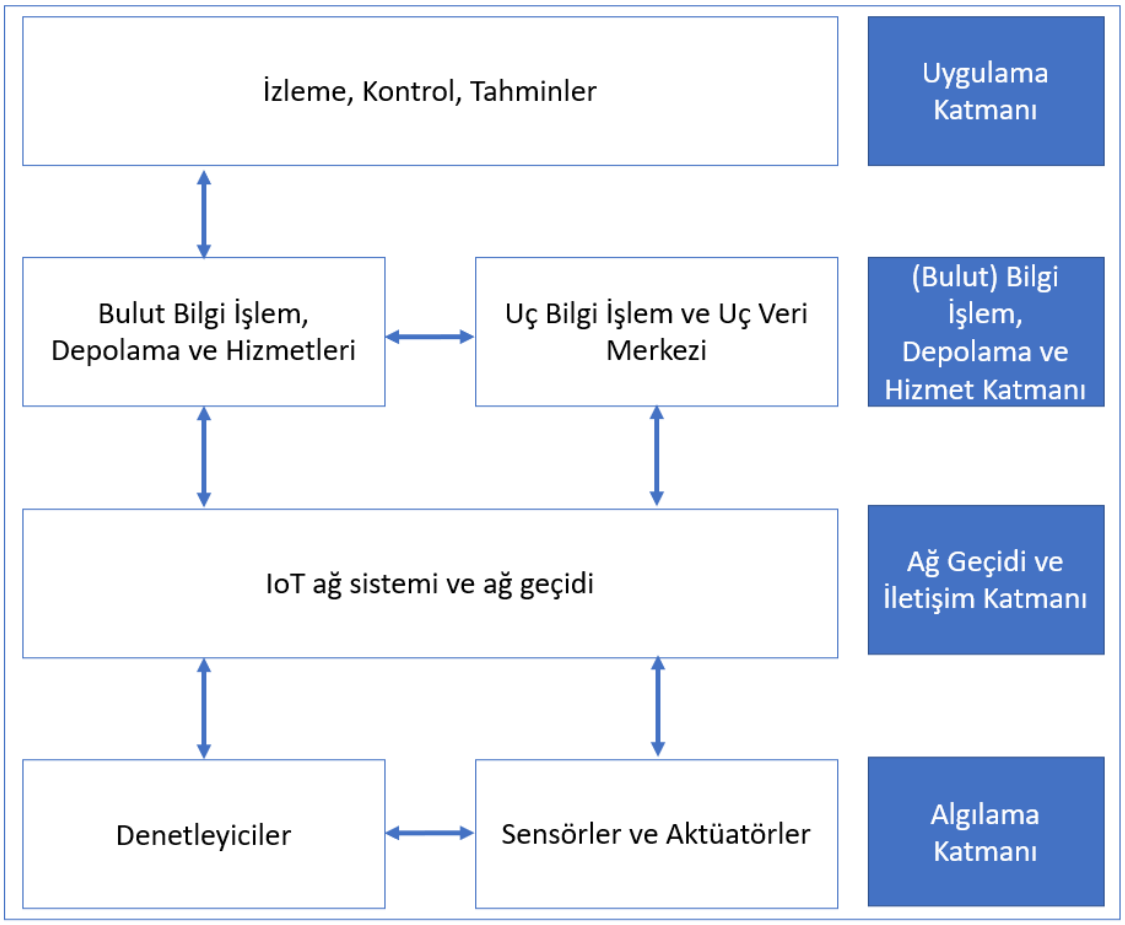
Gerçek zamanlı izleme sistemleri genelde IoT teknolojisini kullanır. IoT, mevcut ve gelişen birlikte çalışabilir bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı gelişen hizmetleri mümkün kılmak için (fiziksel ve sanal) nesneleri birbirine bağlayan dünya çapında bir altyapıdır. Fiziksel cihazların,

araçların (bağlı cihazlar, akıllı cihazlar), sensörler, elektronikler, aktüatörler, yazılımlar ve ağ ile gömülü diğer öğelerin birbirine bağlanmasını sağlar ve bu bağlantı, nesnelerin veri toplamasına ve birbirine göndermesine izin verir (Bhardwaj *vd.*, 2020). Şekil 2-16'da tipik bir IoT sisteminin genel çerçevesi sunulmuştur. Farklı gerçek zamanlı izleme sistemleri incelendiğinde hepsi ihtiyaca göre farklı eklentilere sahip olduğu görülmüştür. Bu sisteme özel eklentiler çıkarıldığında tipik bir IoT sisteminin genel çerçevesinde; sensörler, arayüz, geçit, bulut teknolojisi ve son olarak müşteri olduğu görülmüştür. Sensörlerin sürekli güç kaynağına ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaç arayüzden veya batarya/pil ile karşılanabilir. IoT sistemi kurulurken sürekli güç ihtiyacı nedeniyle sensörlerin ve arayüzlerin enerji açısından verimli olanları tercih edilmelidir. Çünkü her ortamda elektrik olmayabilir ve piller uzun süre etkili değildirler. Sensörler verileri ağ geçidine arayüz yardımı ile gönderirler. Arayüz sensörlerden gelen ham verilerin kodunu çözerek okunabilir bir formda ağ geçidine aktarır. Arayüzler ayrıca IoT ağ geçidinden komutlar alabilir ve fiziksel ortamı kontrol etmek için aktüatörler aracılığıyla işlemleri gerçekleştirebilir. Bu çift taraflı etkileşimde, iletişim için protokoller kullanılır. Tablo 2-4'te bazı iletişim protokolleri hakkında bilgi verilmiştir. Sistemin gereksinimine göre protokol seçilebilir. Sensör ve bulut arasında bulunan IoT ağ geçidi, sensörlerle iletişim kurmak için kısa menzilli kablosuz bir iletişim kanalına ve bulut ile iletişim kurmak için uzun menzilli bir iletişim kanalına (kablolu, kablosuz veya melez) sahiptir. Bulut teknolojisinde toplanan veriler işlenir ve müşteriye iletilir (Paudel ve Neupane, 2021).



Şekil 2-16 Tipik Bir IoT Sisteminin Genel Çerçevesi (Paudel ve Neupane, 2021)

Şekil 2-17'de tipik bir gerçek zamanlı izleme sisteminin genel mimarisi ve katmanları gösterilmiştir. Tipik bir gerçek zamanlı izleme sistemi; algılama katmanı, ağ geçidi ve iletişim katmanı, bulut hesaplama ve hizmet katmanı ve son olarak uygulama katmanından oluşur. Algılama katmanında bulunan sensörler ile gerçek zamanlı veriler alınır ve aktüatörler ile ortam istenilen duruma getirilir. Denetleyiciler yani arayüzler ile iletişim sağlandığı için sensör ve aktüatörler ile aynı katmanda yer alırlar. IoT ağ geçidinde, arayüzleri aracılığıyla tüm sensörlerden veri toplamak için IoT ağ sistemi bulunur. Veriler birincil düzey işleme için uç bilgi işlem merkezine aktarılır ve ardından bulut platformuna iletilir. Fiziksel ortamı kontrol etmek için ağ geçidi, IoT bulut platformundan bir komut alır ve bunu gerekli aktüatörün arayüzüne gönderir. IoT bulut platformu; ham veri işleme, bulut tabanlı dağıtım, veri depolama, raporlama için veri analizi araçları kullanır. Uygulama katmanında ise izlenen ortam hakkında otomatik veya manuel olarak izleme, kontrol ve tahmin bilgileri alınabilir. (Paudel ve Neupane, 2021).



Şekil 2-17 Bir IoT-tabanlı Gerçek İzleme Sisteminin Yapısı ve Katmanları (Paudel ve Neupane, 2021)

Tablo 2-4'te bazı kablosuz iletişim protokolleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler; protokol standartları, frekansı, menzili, maksimum veri hızı ve güç kullanımıdır. Bu tabloya bakarak gerçek zamanlı izleme sisteminde izlenecek ortamın ihtiyaçlarına göre hangi protokolün kullanılması gerektiği bulunabilir. ZigBee 10-100 metrelik bir alanı kapsarken hücresel bağlantı ile 35 kilometrelik bir alanda cihazlar arası iletişim kurulabilir.

Tablo 2-4 Kablosuz İletişim Protokolleri

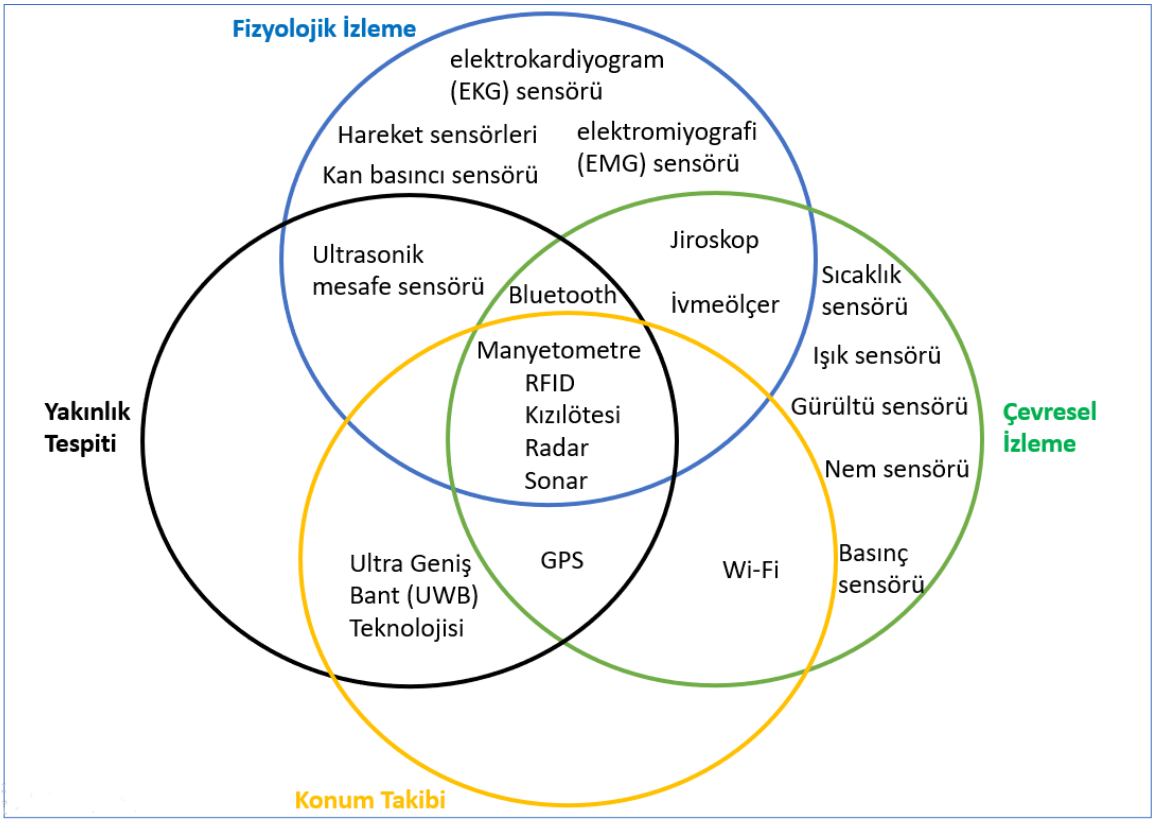
Kablosuz İletişim Protokolleri	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi	Hücresel Bağlantı	Z-dalgası
Standart	Bluetooth 4.2 core specification	Zigbee 3.0 IEEE802.15.4	802.11n	GSM/ GPRS/ 2G/ 3G/ 4G	Z-Wave Alliance ZAD12837/ ITU-T G.9959
Frekans	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz / 5GHz	900/ 1800/ 1900/ 2100 MHz	900 MHz
Menzil	50-150m	10-100m	50m	35km	30-100m
Max. Veri Hızı	1 Mbps	250 Kbps	600 Mbps	10 Mbps	100 Kbps
Güç Kullanımı	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük

2.2.2. İzlenen Nesne Çeşitleri

İşçi sağlığı ve işyeri güvenliğinin uygulanmasında, düzenlenmesinde ve meslek hastalıkları risklerini araştırmada görevli olan Birleşik Krallık'taki Sağlık ve Güvenlik Yönetimi (HSE) adlı kuruma göre iş sağlığı ve güvenliğini etkileyen iki ana faktör işyeri ve işgücüdür. İşyerinin büyüklüğü, şantiyelerin konumu, yapılan işler ve tehlikenin derecesi gibi etkiler işyeri faktörleri arasındadır. İşgücünün boyutu, işgücü çeşitliliği, taşeron, firma işçisi gibi istihdam çeşitleri, vardiyalı çalışma gibi çalışma biçimleri ise işgücü faktörleri arasındadır (HSE, 2021). Bu faktörler izleme sistemini ve izlenecek şeylerin belirlenmesinde yardımcı olur.

Farklı sensörler ve teknolojiler kullanılarak gerçek zamanlı izleme yapılabilir. İş kazaları; insan kaynaklı, çevre kaynaklı ve makine/ekipman kaynaklı olabilir. Şantiyelerde iş kazasını önlemek amacıyla gerçek zamanlı izleme sistemi kurulurken öncelikle hangi bölgelerin ne amaçla izlenmesi gerektiği tespit edilmelidir.

Zhang, Shi ve Yang, 2020 yılında yaptıkları literatür taramasında şantiyede işçilerin iş sağlığı ve güvenliğinin izlenmesinde farklı nesnelere göre uygulama şekilleri iki kategoriye ayrılmıştır: 1- işçilerin izlenmesi (işçilerin davranışlarını izleme, kişisel koruyucu ekipman kullanımının denetlenmesi) ve 2- işçiler ve şantiye ortamındaki etkileşimlerin izlenmesi (kaynak izleme ve konumlandırma, kör noktalar).



Şekil 2-18 İnşaat İş Güvenliğinde Gerçek Zamanlı İzleme İçin Kullanılan Sensör ve Teknolojiler (Awolusi vd., 2019)

Şekil 2-18'da inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme sistemi için kullanılan sensör ve teknolojiler ve izleme amaçları gösterilmektedir. Awolusi *vd.*, 2019 yılında yaptıkları çalışmada inşaat iş güvenliğinde izleme uygulamalarını dört kısma ayırmıştır. Bunlar; işçinin fizyolojik olarak izlenmesi, yakınlık tespiti, çevresel izleme ve konum takibidir. Bu dört farklı izleme

amacında kullanılan sensör ve teknolojiler ihtiyaca göre birleştirilerek daha iyi bir gerçek zamanlı izleme sistemi kurulabilir.

- *İşçilerin fizyolojik olarak izlenmesi:* Şantiyede inşaat işçilerinin sağlığını ve güvenliğini etkileyecek birçok risk vardır. İnşaat işçilerinin ve iş makinesi operatörlerinin kalp atış hızı, solunum hızı, işçinin duruşu gibi fizyolojik verileri çeşitli sensör ve teknolojiler ile otomatik olarak toplanıp analiz edilebilir. EKG sensörleri, EMG sensörleri, cilt sıcaklığı sensörleri, kan basıncı sensörleri, eğim sensörleri, solunum sensörleri ve hareket sensörleri, düzenli olarak kullanılan fizyolojik sensörlere örnektir. Bu sensörler tarafından toplanan çok sayıda ölçüm, bir inşaat işçisinin stres seviyesini ve sağlık durumunu gösterir; bunlar, işçilerin güvenlik performansının belirteçleridir. Jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre içeren aygıtlar, denge kontrolünü iyileştirmek ve düşmeleri önlemek için kullanılır.

- *Yakınlık tespiti:* Ultrasonik mesafe sensörü, GPS, RFID teknolojisi, radar, UWB teknolojisi, manyetometre gibi sensör ve teknolojiler ile işçiler arası, işçi makine arası tehlikeli yakınlık algılanır. Yakınlıktan kaynaklanan çarpma, düşme gibi iş kazaları belli bir mesafeden sonra uyarı sinyali veren sistemler ile önlenir. Bu uyarı sinyalleri görsel, titreşimli veya sesli uyarı sinyalleri olabilir. Uyarı sinyalinin seçimi, şantiyede yürütülen görevin tipine de bağlıdır. Çünkü gürültülü çalışan bir iş makinesinin yanında sesli uyarı sinyali işe yaramayacaktır.

- *Çevresel izleme:* İnşaat endüstrisinde işçi sağlığı ve güvenliği, yalnızca sürekli olarak hava koşullarına maruz kalması nedeniyle değil, aynı zamanda inşaat işçileri için tehlikeli olabilecek belirli çevresel faktörler nedeniyle de tehlike altındadır. İnşaat işçilerine erken uyarı sinyalleri sağlamak için, bu tehlikeli bileşiklerin ve kötü hava koşullarının otomatik olarak algılanması gerekir. Çevresel sensörler; sıcaklık, hava kalitesi, nem, barometrik basınç, gaz sızıntıları, ışık yoğunluğu, radyasyon, zararlı gazlar, zararlı kimyasalların dökülmesi gibi tehlikeleri tespit etmek için kullanılır. İşçiler, rutin görevlerini yaparken bu tehlikeler gerçek zamanlı olarak sensörler ile gözlemlenebilir.

- *Konum takibi:* İnşaatta güvenlik performansını izlemek için manyetometre, radar, sonar, UWB, GPS ve RFID gibi farklı teknolojiler önerilmiştir. Konum belirleme ve izleme

teknolojisi, kör noktalarda tespit edilemeyen engelleri keşfetmek için ve ayrıca tehlike tespiti gibi insan hatasıyla ilgili hususları yönetmek için işçi takibinde kullanılmıştır. IoT sistemi ile çalışan, düşük maliyetli ve küçük boyutlu giyilebilir sensörlerin kayda değer gelişimiyle, konum verileri toplanabilir ve daha sonra bu verilere dayalı olarak gerçek zamanlı konum takibi yapılabilir. Konum takibi sadece işçilerde değil aynı zamanda ekipman, malzeme ve iş makinelerinde de yapılabilecek bir uygulamadır. Bu sayede kule vinç çarpışmaları, işçi iş makinesi çarpışmaları gibi iş kazaları da önlenmiş olur.

2.2.3. İzleme Yöntemleri

Şekil 2-19'da gösterildiği üzere farklı sistemleri denetleyebilmek için görüntü tabanlı izleme, ses tabanlı izleme ve sensör tabanlı izleme gibi izleme teknikleri geliştirilmiştir. Denetlenen sistemin veya ortamın büyüklüğü, karmaşıklığı ve içerdiği parametrelere göre sensörlerin çeşidi, sayısı ve konumlarının belirlenmesi önem arz etmektedir (Dyskin *vd.*, 2018). Şantiye koşulları, şantiye türüne göre değişmekle birlikte kısıtlamalar da değişmektedir. Bu yüzden farklı projelerde farklı gerçek zamanlı izleme sistemleri uygulanmıştır.



Şekil 2-19 Gerçek Zamanlı İzleme Yöntemleri

2.2.3.1. Görüntü Tabanlı İzleme

Şantiyede herhangi bir işin başlamasından önce güvenli çalışma prensipleri ve ortam tehlikeleri gibi iş güvenliği ile ilgili ayaküstü toplantılar olan "toolbox talk", işyerinin tehlike sınıfına göre belirli aralıkla çalışanlara verilen iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri, ödüller ve cezalar gibi geleneksel iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının pratikte yeterli olmadığı açıktır. Her şantiyenin kendine özgü özellikleri ve karmaşık yapısı olduğu için geleneksel yöntemler güvenlik denetimlerinde ve önlem almada etkili olamamaktadır. İş güvenliği uzmanlarına destek olması amacıyla akıllı öğrenme algoritması ve gelişmiş iletişim teknolojileriyle otomatik

iş güvenliği kontrol sistemleri geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Tasarım aşamasında yapılan İSG planı, şantiyedeki hızlı ilerleyen işlerden dolayı çalışma planı ile aynı anda ilerlemez çünkü iş ilerledikçe yapılan denetimler ile İSG planı gecikmeli olarak güncellenir. İş planından geride kaldığı için olası yeni riskler için İSG planı geçersiz olmaktadır. Anında müdahale için sahada sürekli yeterli sayıda denetçiler olmalıdır ancak maliyet açısından uygun değildir. Bu yüzden problemin çözümü olarak otomatik kontrol ve iletişim teknolojileri benimsenmelidir. İSG uzmanlarının sahada olmadığı zamanlarda gerçek-zamanlı izleme modülü ile denetlenen ortamda riskli bir durum söz konusu olduğunda "yetkisiz müdahale" ile otomatik olarak çalışanlar uyarılır (Naticchia, Vaccarini ve Carbonari, 2013).

Kameralar, temel bir endişe olan güvenliğe yardımcı olabilir. İş sahası tehlikelerinin uzaktan tespiti, görev başındaki güvenlik profesyonellerinin bilgilendirilmesini ve tehlikenin ortadan kaldırılmasını sağlar. Şantiyede kullanılan uygun olmayan yöntemleri, kameralar keşfedilebilir ve durdurulması sağlanabilir. Güvenlik kamerası, saha ekipmanına ve mallarına yönelik hırsızlığı ve vandalizmi azaltabilir. Kameralar hırsızları iş başında yakalayabilir. Sadece kameraların varlığı bile hırsızları caydırır. İş sağlığı ve güvenliği amacı ile de şantiyeye kameralar yerleştirilebilir. Ancak sabit olarak yerleştirilen kameralar, şantiyedeki işlerinde ilerlemesiyle görüş hattında engeller olması durumunda etkinliğini kaybedebilir. Bu yüzden kameraların konumları ve bu konumların ne zaman değişeceği önceden planlanmalıdır (Bohn ve Teizer, 2010).

Görüntü tabanlı izleme sistemlerinde çeşitli kameralar (derinlik kamerası, RGBD kamera, kızılötesi kamera vb.), güvenlik kameraları, insansız hava aracı (İHA), akıllı telefon gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlardan alınan veriler bilgisayarla görme teknikleri (computer vision techniques) olan algoritmalarla işlenir. Bilgisayarla görme tekniklerinin geliştirilmesi, şantiye bilgilerinin hızlı bir şekilde çıkarılması, şantiye koşullarının ve işçi davranışının belirlenmesi ve şantiye çalışanlarının güvenlik ve sağlık izlemesinin gerçekleştirilmesi için güçlü teknik destek sağlar. Son yıllarda, bilgisayarla görme araştırmaları, özellikle nesne tanımlama, nesne izleme, etkinlik tanıma ve sahne anlama alanlarında hızla ilerlemiştir (Zhang, Shi ve Yang, 2020).

Şantiyelerdeki vinç operasyonları, özellikle kör kaldırmalar sırasında, vinç operatörünün azalan görüş alanı nedeniyle vinç ve yük hareketinin etkilenmesi durumunda çevreleri için bir güvenlik tehlikesi oluşturabilirler. İHA'lara takılan yüksek çözünürlüklü kameraların artmasıyla vincin

ve vincin çevresindeki kaynakların (işçiler ve onların faaliyetleri gibi) gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve nesne detektörü ile konum ve durum belirlenmesi bu sorunun çözülmesine katkıda bulunur. Kamera donanımlı İHA'lar ile izlenen şantiyelerde nesne detektörünün vinç konumlarını gerçek zamanlı olarak belirlemede etkili olduğu ve yük takibi, üç boyutlu olarak vinç durumunun tahmin edilmesinde başarılı olduğu görülmüştür (Roberts, Bretl ve Golparvar-Fard, 2017).

2.2.3.2. Ses Tabanlı İzleme

Altyapı projelerinde kullanılan ağır ekipmanlar ile ilgili maliyetler genel giderin büyük bir kısmını oluşturur. Bu yüzden şantiyelerde çeşitli işlerde kullanılan bu makinelerin sürekli izlenmesi ve takibi çok önemlidir. Akselerometre ve jiroskop gibi sensörlerle alınan verilerin veya çeşitli kameralarla alınan görüntü ve videoların bilgisayar algoritmalarıyla işlenerek bilgi elde edilmesi mevcut makine izleme yöntemleridir. Makinelerin her hareketinin izlenebilmesi için takılan sensörleri içeren mevcut teknolojiler operatörler tarafından müdahaleci olarak görülür. Ayrıca inşaat sektöründe ağır ekipmanlar genellikle kiralanır. Algılama birimlerinin kiralık iş makinesinden tekrar tekrar takılıp çıkarılması çabası, maliyeti ve sonuç olarak izleme yazılımı veri tabanını sürekli güncelleme ihtiyacı nedeniyle kiralık ekipman için daha da sorunlu hale gelmektedir (Rezazadeh Azar, Dickinson ve McCabe, 2013). Bilgisayar görüntü teknikleri ve algoritmaları; blokaj, yetersiz aydınlatma, toz, sis gibi çevresel faktörlere karşı hassastır ve bunlardan olumsuz etkilenir. İnşaat işlerinde ekiplerin ve makinelerin sürekli hareket halinde olduğu dinamik şantiyelerde görüntü blokajları olması çok doğaldır. Ayrıca, yüksek kalitede görüntü kaydı alabilmek için uygun açıdan yeterli miktarda aydınlatma gereklidir. Tutarlı görüntü analizi yapmak ve blokajların önüne geçebilmek için çoklu kamera kullanımı önerilmiştir ama bu çözüm hem daha maliyetlidir hem de elverişsiz aydınlatma koşulları vb. diğer çevresel faktörlerin üstesinden gelemez (Golparvar-Fard *vd.*, 2011).

Cheng *vd.*, (2017) yayınladıkları makalede görüntü tabanlı izleme sistemlerindeki kısıtlardan (aydınlatma sorunları, kamera önündeki engeller vb.) dolayı ağır ekipmanların takibi ve faaliyet analizi için yenilikçi ses tabanlı sistem önermişlerdir. Belirli görevleri yaparken ekipmanlar farklı ses modelleri oluşturur. Bu ses modelleri filtrelenir ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak faaliyetler sınıflandırılabilir. Önerilen ses-tabanlı izleme sistemi, olağan işlemler sırasında inşaat ekipmanlarının çıkardığı sesleri kaydetmek için piyasada bulunan mikrofonları kullanır. İstenmeyen arka plan gürültüsünü ortadan kaldırmak için, kaydedilen ses dosyası bir sinyal güçlendirme ve özellik çıkarma algoritmasından geçer. Çıktı, zaman-frekans

özelliklerinin belirli makinelerin/aktivitelerin özelliği olarak sınıflandırılması amacıyla bir destek vektör makinesi gibi bir makine öğrenme algoritmasına beslenebilen bir zaman-frekans ayrıştırması biçimindedir.



Şekil 2-20 Ses Tabanlı Aktivite Tanımlama ve Sınıflandırma Sistemi Çerçevesi (Cheng *vd.*, 2016)

Şekil 2-20'de ses tabanlı aktivite tanımlama ve sınıflandırma sisteminin çerçevesi sunulmuştur. Şantiye ortamında iş makinesi çalışırken mikrofonlar ile alınan ses kaydından öncelikle arka plan gürültüleri çıkarılır. Daha sonra ses, kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT) kullanılarak bir zaman-frekans gösterimine dönüştürülür. Ardından, farklı ses kalıplarını tanımlamak için her seferinde STFT özelliklerini sınıflandırmak üzere bir destek vektör makinesi kullanılır. Bu sınıflandırıcının çıktısı daha sonra, farklı faaliyetlere karşılık gelen zaman pencerelerini belirlemek için bir pencere filtreleme yaklaşımı kullanılarak işlenir (Cheng *vd.*, 2016).

2.2.3.3. Sensör Tabanlı İzleme

Literatürde kinematik tabanlı izleme olarak da geçen sensör tabanlı izleme sistemleri görüntü tabanlı izleme ve ses tabanlı izleme sistemlerinin uygun olmadığı şantiye ortamlarında kullanılır. Toz, ışıklandırma, görüş açısı gibi görüntü tabanlı izleme kısıtları ve gürültü, dış sesler gibi ses tabanlı izleme kısıtları inşaat iş güvenliğinde sensör tabanlı izleme sistemlerinin tercih edilmesine neden olmuştur.

Ultra geniş bant ve fizyolojik durum izleme teknolojisi gibi hızlı teknolojik gelişmeler, inşaat personelinin pozisyonunun ve fizyolojik durumunun izlenmesini kolaylaştırmıştır. Cheng *vd.*, (2013) güvenli olmayan davranışlardan kaçınmalarına yardımcı olmak amacıyla işçilerin konumunu ve fizyolojik durumunu belirlemek için bir geniş bant kablosuz konum sensörü ve bir biyometrik sensör kullanmıştır. Daha sonra görüntü tabanlı izleme sistemi ile sonuçlar karşılaştırıldığında sensör tabanlı izlemenin daha etkin olduğu görülmüştür.

Valero *vd.*, (2017) işçilerin yanlış duruşlarını tespit etmek ve kas-iskelet sistemi bozuklukları riskini azaltmak için atalet ölçüm birimi (IMU) cihazlarını geliştirdi. Yapılan deneyde giyilebilir sensörleri olan işçiler duvar örme işi yaptılar ve duruş bozuklukları tespit edildi. Şekil 2-21'de sensörlerin vücuttaki konumları gösterilmiştir.



Şekil 2-21 Sensörlerin İnşaat İşçisi Vücudundaki Konumları (Valero *vd.*, 2017)

İnşaat sektöründe iş kazalarının birçoğu düşme kaynaklıdır. Düşmelerin önlenmesi için inşaatta bulunan şaft gibi boşluklara yerleştirilen sensörler sayesinde bir işçi oraya yaklaştığı zaman işçi sinyal ile uyarılır. Umer *vd.*, (2018) çevresel tehlikelerin dışında işçilerin yanlış duruşları ve denge kayıpları ile düşme risklerinin olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada giyilebilir atalet ölçüm birimi (WIMU) ve akıllı telefon kullanarak inşaat işçilerinin proaktif takibi için bir statik denge izleme aracı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Statik denge izlemesi yaparken görev veya yorgunluk kaynaklı denge kayıpları saptanmıştır. İnşaat işçilerinin günün farklı saatlerinde denge takibi ve ilgili denge performans profillerinin oluşturulması için yöneticiler ve ustabaşılar için cep telefonu uygulaması geliştirilmiştir. Bu, düşmeye yatkın işçilerin erkenden tespit edilmesine, bir düşme kazası meydana gelmeden önce hafifletme planlarının planlanmasına ve nihayetinde inşaat sektöründe düşmelerin azaltılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2.3. ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğünde (AFAD, 2020a) erken uyarı, gelen tehlike veya tehdidin kaynağı, yeri, zamanı, şiddeti veya büyüklüğü, olasılığı ve olası etkileri belirlenerek resmi kurum ve kuruluşlar tarafından yapılan duyurular olarak tanımlanmıştır. Erken uyarılar ile can ve mal kaybı gibi ekonomik kayıpların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Belirlenen bir tehlike veya tehdidin ortaya çıkması muhtemel yerin izlenmesi, bu tehlike veya tehdidin algılanması, şiddetinin yorumlanması ve tehlikeden zarar görebilecek kişilere vaktinde bilgi veya uyarı verilmesi amacıyla oluşturulan sisteme erken uyarı sistemi denir (AFAD, 2020a).

Afetlerin ekonomik ve maddi etkilerinin olduğu gibi bunlarla birlikte can kayıplarına da yol açmaktadır. Afetlerin verdiği can ve mal kaybını azaltmak, riski önceden tespit edip önlem almakla mümkün olabilir. Erken uyarı sistemleri bu konuda kullanabileceğimiz bir yapıdır.

Erken uyarı sistemlerinin etkili olarak çalışabilmesi için sistem elemanları arasındaki ilişkiler güçlü olmalıdır. Bir erken uyarı sistemi "risk bilgisi", "izleme ve uyarı servisi", "bilginin yayılması ve iletişim" ve "yanıt verme kapasitesi" olarak isimlendirilen birbiriyle bağlantılı dört temel unsurdan oluşur (*Developing Early Warning Systems: A Checklist EWC III Third International Conference on Early Warning*, 2006):

- *Risk bilgisi:* Tehlikenin meydana gelme ihtimali ve neden olduğu sonuçların birleşimine risk denir. Risk değerlendirmeleri sistematik olarak verilerin toplanması ve risk analizini gerektirir. Toplanan veriler, erken uyarı sisteminin ne şekilde olacağı ve ne tür sistem elemanı kullanılacağı konusunda karar vermede yardımcı olur.

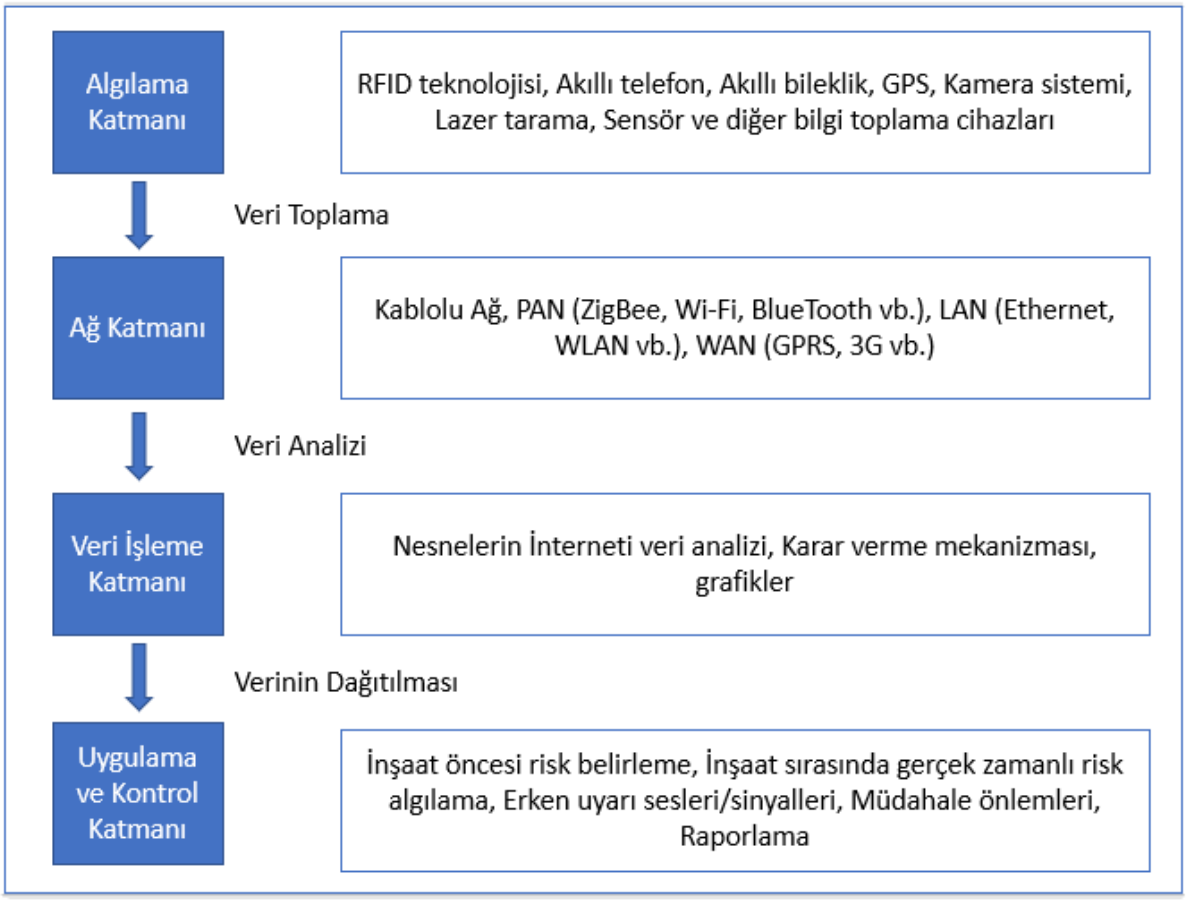
- *İzleme ve uyarı servisi:* Sistemin tehlikeleri tahmin edip önceden haber vermesi çok önemlidir. Riskli bölgenin devamlı izlenmesi ve tehlike parametrelerinin belirlenmesi; karar mekanizmasının riskin şiddetine göre doğru tahminde bulunup sistemin zamanında uyarı vermesine olanak sağlar.

- *Bilginin yayılması ve iletişim:* Uyarıların risk altındaki herkese ulaşabilmesi için basit ve açık mesajlar kullanılmalıdır. Her ortamın özelliğine göre farklı iletişim kanalı, uyarı servisi kullanılmalıdır. Çoklu iletişim kanalları ile yayılım güçlendirilmelidir.

- *Yanıt verme kapasitesi:* Erken uyarı sistemlerinin amacına ulaşabilmesi için risk altındaki kişilerin uyarıları anlamaları ve doğru tepki vermeleri gerekir. Bu yüzden güvenli davranış, mevcut kaçış yolları, zararı önleme, bireyler için uyarıların ne anlama geldiği ve nasıl tepki verilmesi gerektiği konusunda eğitimler, bilgilendirilmeler yapılmalıdır.

2.3.1. Sistemin Yapısı

Şekil 2-22'de ana hatları ile bir erken uyarı sisteminin mimarisi gösterilmiştir. Erken uyarı sistemi algılama (sensing) katmanı, ağ katmanı, veri işleme katmanı, uygulama ve kontrol katmanı olmak üzere dört katmandan oluşur. Algılama katmanı, şantiyelerin çevresel parametrelerini ölçen, işçilerin fizyolojik durumlarını izleyen, işçilerin yeri ve çalışma sürelerini belirleyen erken uyarı sisteminin temelini oluşturur. Aynı zamanda bu katman; iletim, görüntüleme, yorumlama, tanımlama ve tarama dahil olmak üzere veri ve bilgilerin toplanmasından da sorumludur. Toplanan bu veriler, kısa mesafeli veri iletimi ile ağ katmanına gönderilir. İletim katmanı (ağ katmanı) kablolu ya da kablosuz olarak algılama katmanından aldığı verileri veri işleme katmanına gönderir. Bilgisayar işleme algoritmalarından oluşan veri işleme katmanında veri analizleri, istatistiksel hesaplamalar yapılır ve sonuçlar görselleştirilir. Bu sonuçlar ilgili yerlere dağıtılır. Uygulama katmanında, acil durum karar verme, geri bildirim, hiyerarşik komut ve karar verme, risk algılama, erken uyarı sinyalleri ve değerlendirme gibi işlevlere sahiptir. Erken uyarıyı derecelendirmek, hızlı bir şekilde talimat vermek ve dinamik acil durum karar verme görevleri arasındadır (Du ve Zhu, 2012; Yi *vd.*, 2016).



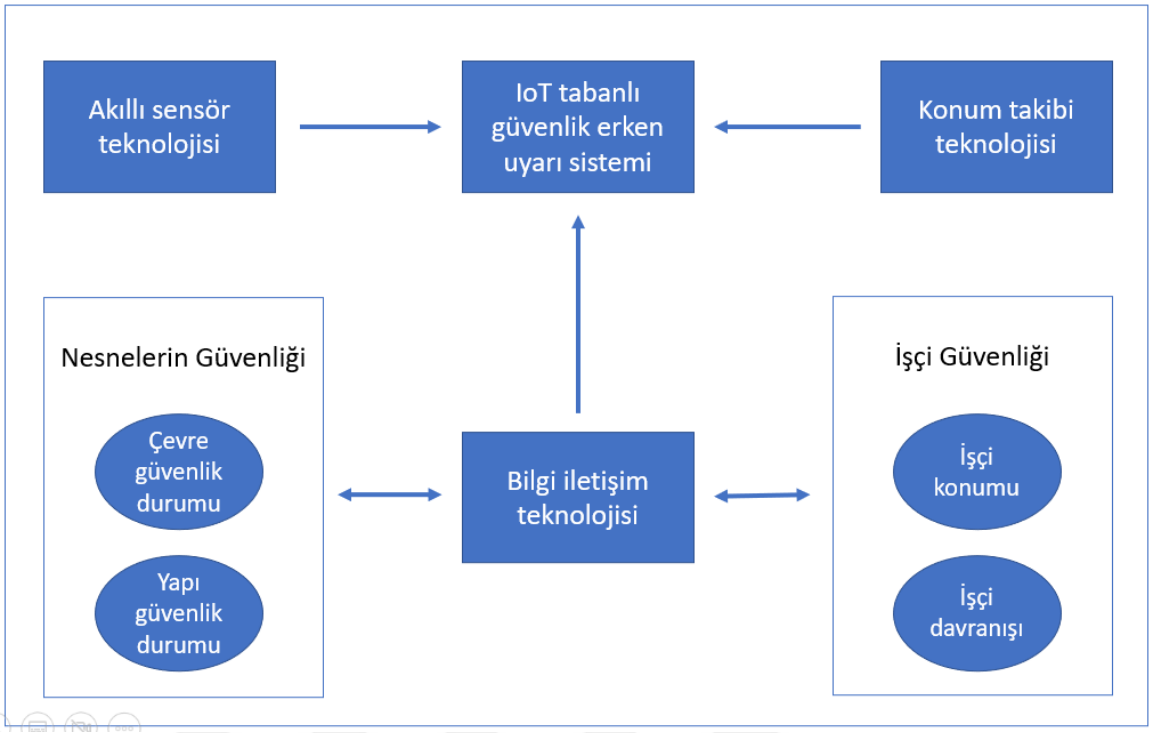
Şekil 2-22 Tipik Bir Erken Uyarı Sisteminin Mimarisi (Du ve Zhu, 2012; Yi *vd.*, 2016)

2.3.2. İnşaat İş Güvenliğinde Erken Uyarı Sistemleri

Metro inşaatları; öngörülemeyen koşullar, karmaşık inşaat ekipmanları ve yöntemleri sebebiyle son derece risklidir. Metro projelerinde sınırlı aydınlatma, tahliyenin zorluğu, ortamın yangın ve patlamaya uygun olması gibi zorluklar iş güvenliği denetimini kısıtlar. Bu yüzden sadece insanlar tarafından yapılan görsel denetimler yeterli olmamaktadır. Farklı kaynaklardan da güvenlik riski verisi toplanmalıdır. Yararlı bilgi içeriğini yükseltmek, güvenilirliği arttırmak ve ölçüm belirsizliğini azalmak amacıyla farklı kaynaklardan gelen veri ve bilgileri birleştirmek gerekir. Bu sürece veri tümleştirme (data fusion) denir. Erken uyarı sistemleri; müşteriler, tasarımcılar, yükleniciler, taşeronlar gibi tüm katılımcıların sorumluluk ve iş akışını kapsayan bir karar destek sistemidir. Tüm kullanıcıların farklı konumlardan sisteme hızlı ve rahat bir şekilde erişebilmeleri için web tabanlı erken uyarı sistemi önerilmiştir. Web tabanlı erken uyarı sistemi, bir arayüz katmanı, mantık katmanı ve veri depolama katmanından oluşan üç katmanlı bir mimariye dayanır. Matematiksel modellerle hesaplanan ölçüm tahminleri, izleme ölçümleri ve insanlar tarafından yapılan görsel denetimler; güvenlik risk durumu değerleri açısından veri

depolama katmanında bulunan harici veri tabanlarında gerçek zamanlı veri olarak yüklenir. Mantık katmanı ise erken uyarıları otomatikleştirmek için hibrit veri tümleştirme modelini (hibrid data fusion model) ve uyarılara yanıt vermeye yarayan iletişim kartını bulundurur. Veri depolama katmanında bulunan veriler mantık katmanında işlenir ve arayüz katmanı ise kullanıcıların bilgi edinmesini sağlar. Erken uyarı sistemi uygulamada verimliliği ve doğruluğu arttırarak iş güvenliği yönetiminin tamamlayıcısı olmuştur (Ding ve Zhou, 2013).

Ding *vd.*, (2013) yaptıkları çalışmada; yeraltı yapılarının inşaatında erken uyarı sistemini geliştirmek için yapısal sağlık izleme sistemi ve RFID tabanlı işçi takip sistemi olmak üzere nesnelerin interneti teknolojisini kullanmışlardır. Şekil 2-23'te gösterildiği üzere; IoT tabanlı güvenlik erken uyarı sisteminde çevrenin ve yapıların güvenlik durumu akıllı sensörler kullanılarak işçilerin konumu ve davranışına göre güvenlik durumları ise konum takip sistemi kullanılarak bulunur. IoT tabanlı güvenlik erken uyarı sistemi algılama(sensing), iletme, algılama (perceiving) ve kontrol etme olmak üzere dört katmanlı bir mimariye sahiptir. Sensörle algılama katmanında; yapı ve çevre sağlık izlemesi için sıcaklık, yer değiştirme ve gerilme sensörleri kullanılırken işçi takip ve konumlandırılması için RFID etiketleri, telefonlar ve cep bilgisayarları kullanılarak veriler kaydedilmiştir. İletme tabakasında ise toplanan verile kablosuz erişim noktası ile bilgisayarlara, veri tabanı ve uygulama sunucularına gönderilir. Çeşitli bilgisayar işletme algoritmalarından(bilgi tabanlı, veri tabanlı ve model tabanlı yaklaşımlar) oluşan üçüncü katmanda toplanan verileri analiz edilerek iş güvenliği riskleri tahmin edilir. Kontrol katmanında ise nesnelerin yerinin, işçilerin davranışının ve yerinin tehlikeli düzeye ulaşıp ulaşmayacağını tahmin edilerek erken uyarılar üretilir. Oluşturulan gerçek zamanlı erken uyarı sistemi ile proaktif olarak önlemler alınmış olup uygulamada kaza sayısı azalmıştır. Veri depolama alanını azaltacak ve daha fazla nesnenin izlenmesini sağlayacak olan veri işleme yeteneğinin arttırılması ve sistemin farklı tip inşaatlarda da kullanılarak güvenlik bilgilerinin biriktirilmesi erken uyarı sistemlerinin gelişmesini sağlar.

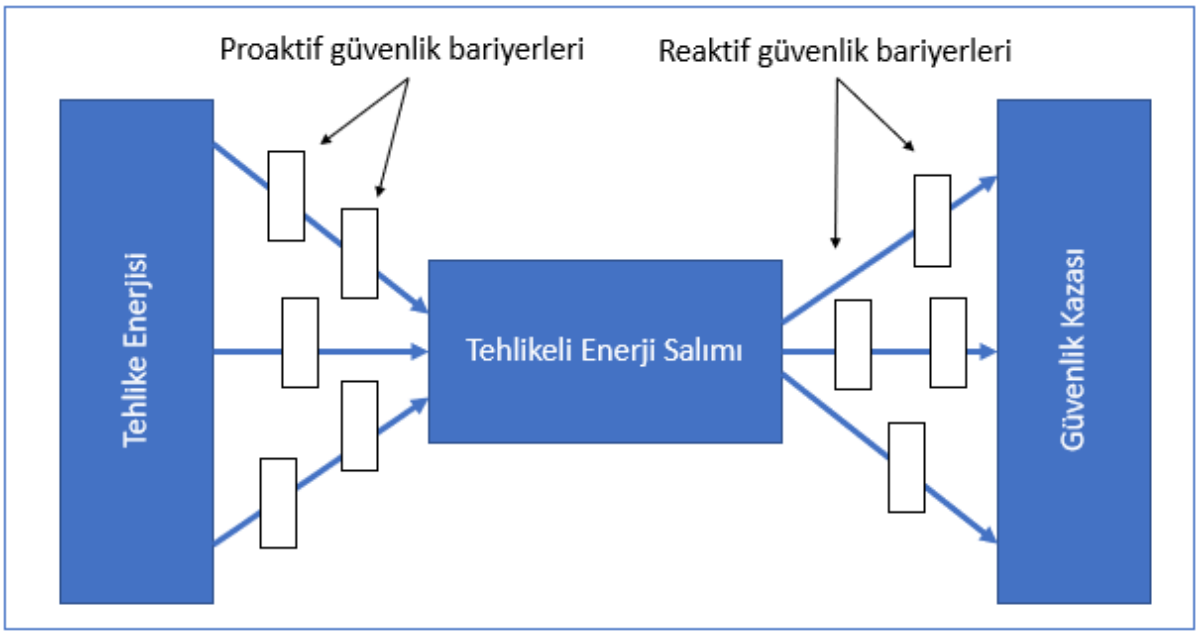


Şekil 2-23 IoT tabanlı Gerçek Zamanlı İş Güvenliği Erken Uyarı Sistemi (Ding *vd.*, 2013)

Güvenlik analiz tekniklerinden biri olan enerji tabanlı analiz yaklaşımı, tehlike enerjilerini kazanın başlama noktası olarak tanımlar ve bu yüzden tehlike enerjilerinin izlenerek kazaların önlenmesi için erken uyarı ile güvenlik bariyeri oluşturmayı amaçlamaktadır. Güvenlik bariyeri, tehlikeli durumu azaltmak, kontrol etmek ve önlemek için düzenlenen araçtır. Nükleer, kimya gibi endüstrilerde enerji tabanlı analiz yaklaşımı kullanılmaktadır. Ancak inşaat sektöründe, özellikle yeraltı yapıları inşaatlarında, karmaşık inşaat süreçleri, farklı kaynaklardaki tehlike enerjisinin aynı ortamda olma ihtimalinin yüksekliği ve işçilerin birlikte çalışması gereken çok görevlerinin olması sebebiyle güvenlik bariyerini oluşturmak şantiyede çok zordur. Tehlike enerjilerinin (patlayıcı enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji vb.) belirlenmesi, izlenmesi ve gereken durumlarda erken uyarı sinyallerinin verilmesi için nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi kullanılarak iş güvenliği yönetimi inşaat sektöründe de iyileştirilebilir. Zhou ve Ding, (2017) yaptıkları çalışmada sistem dört aşamadan oluşur. Bunlar; tehlike enerjisinin tanımlanması, veri toplanması, güvenlik bariyer analizi ve son olarak erken uyarı üretimidir. Öncelikle iş güvenliği yönetmeliği, eski güvenlik kazaları ve saha denetimleri ile tehlike enerjileri belirlenir. Enerjilerin sahada yerinin tespiti için izleme ve konumlandırma sistemi kullanılır ve veriler veri tabanında toplanır. Toplanan veriler ile tehlike enerjisinin zaman ve mekânsal olarak hesaplanıp erken uyarı sinyali üretebilmek için güvenlik bariyer analizi yapılır. Oluşturulan güvenlik bariyerleri işçilerin risk enerjisine olan yakınlığına göre

farklı seviyelerdeki erken uyarılardır. Hareketli ve sabit olarak iki çeşit IoT etiketli erken uyarı cihazı kullanılmıştır. Uygulamada işçilerde ve iş makinelerinde bulunan hareketli etiketlerden üretilen uyarılar sabitlerdekinden daha fazla gelmiştir. Zaman geçtikçe uyarıların miktarının azalması işçilerin tehlike enerjileri konusunda farkındalıklarının artmasının kanıtıdır.

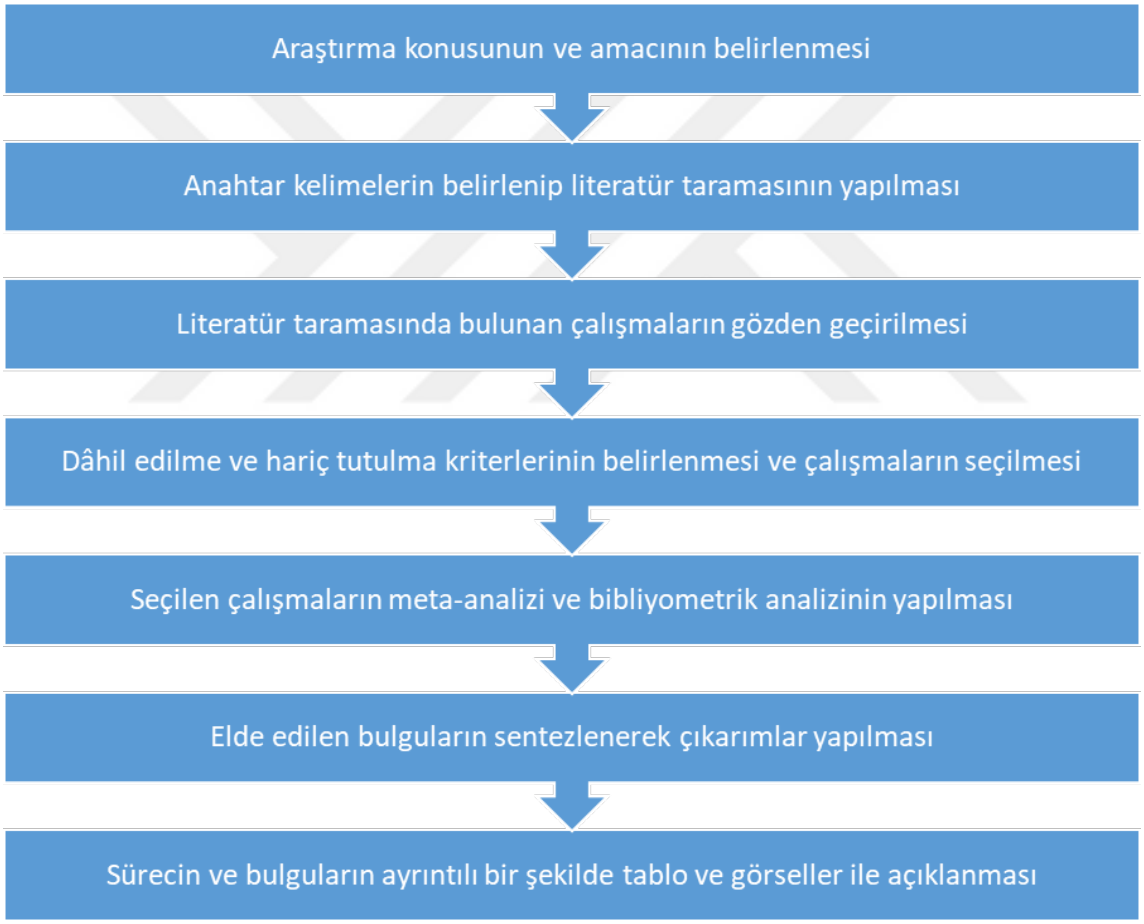
Şekil 2-24'te proaktif ve reaktif güvenlik bariyerlerinin tehlikeli enerji salınımı hangi aşamada önledikleri gösterilmektedir. Reaktif güvenlik bariyerleri önceden alınmış güvenlik önlemleridir. İşçilerin baret, gözlük gibi kişisel koruyucu ekipman takmaları, yüksekten malzeme ve işçi düşmesini önlemek için merdiven korkuluklarının, bariyerlerin ve güvenlik ağlarının şantiyede gerekli yerlere konulması gibi önlemler reaktif güvenlik bariyerleridir. Tehlikeli enerji salınımı olduğu anda eğer reaktif güvenlik bariyerler doğru bir şekilde yerleştirilmemiş veya kullanılmamışsa iş kazası kaçınılmazdır. Proaktif güvenlik bariyerleri ise reaktiften farklı olarak tehlike enerjisi salınımı tam olarak gerçekleşmeden olası tehlike enerjisinin tespiti ile eyleme geçen bariyerlerdir. Proaktif güvenlik bariyerine erken uyarı sistemleri örnek verilebilir. Erken uyarı sistemleri sayesinde tehlike enerjisi tam olarak açığa çıkmadan önlem alınabilir. İşçiler şantiyedeki boşluklara, iş makinelerine yaklaştığında sistemin uyarı vermesi proaktif bir davranıştır (Zhou ve Ding, 2017).



Şekil 2-24 Tehlikeli Enerji Salımını Önlemede Proaktif ve Reaktif Bariyerler (Zhou ve Ding, 2017)

3. YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, ilk aşamada, inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusuyla ilgili verileri toplama amacıyla dünya genelinde yapılmış çalışmalara ait literatür taraması yapılmıştır. İkinci aşamada ise bulunan birbirinden farklı yayınlardan anlamlı sonuçlar çıkarabilmek için meta analiz yöntemi ile istatistiksel analizi yapılmıştır. Şekil 3-1'de tez çalışmasında izlenen yöntem diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3-1 Tez Çalışmasında Uygulanan Yöntem Diyagramı

3.1. META ANALİZİ

Meta analiz, ilk defa 1976 yılında Glass tarafından analizlerin analizi olarak tanımlanmıştır. Literatürdeki ilk meta analiz uygulaması yine Glass tarafından gerçekleştirilmiştir. Glass, meta

analizi "sayıca fazla bağımsız araştırmadan kayda değer bir sonuç elde etmek için yapılan istatistiksel analiz" olarak tanımlar (Glass, 1976).

Meta analiz meta verileri kullanarak ve kantitatif ve istatistiksel araçlarla Meta analizi birçok araştırmanın sonuçlarını tek çatı altında derleyen bir analiz çeşididir. Meta analiz aynı soruya cevap arayan birden fazla çalışmada elde edilen sonuçların belli bir düzeyde hata bulundurmasıyla birlikte istatistiksel yöntemler kullanılarak bu hataların nasıl çözümleneceği araştırılmaktadır. Meta analiz sıklıkla kanıta dayalı tıpta kullanılmaktadır.

Meta analiz birçok deney ya da araştırmaların etki büyüklüklerini tespit etmesinin yanında birçok araştırmada çelişkili etmenleri de ortaya çıkartmaya yardımcı olabilmektedir. Bunun yanında birçok araştırmalar arasındaki ilginç ilişkiler gün yüzüne çıkabilmektedir. Fakat meta-analiz disiplini içerisinde metodolojik problemler çıkabilmektedir. Deneylerin ve araştırmaların sonuçları önyargı (biased) sebebiyle sorgulanabilir sonuçlar ortaya çıkarması bu çalışmaların meta analizinde problemler doğurabilir.

Meta analizin tarihçesi 17. Yüzyıldaki astronomi çalışmalarına kadar gidebilmektedir (Plackett, 1958). Bunun yanında tifo aşılaması için klinik çalışmaları derleyen ilk çalışma Karl Pearson tarafından yapılmıştır (“Report on Certain Enteric Fever Inoculation Statistics”, 1904). Birçok özdeş deneylerin derlemesini barındıran ilk meta-analiz çalışması bir heyet tarafından 1940 yılında gerçekleştirilmiştir (Pratt *vd.*, 1940). Bu çalışma 1882 ile 1939 yılları arasında hazırlanmış olan 145 adet raporun derlemesini içinde barındırmaktadır ve bunun yanında yayınlanmamış yayınların etkilerinin tahminlerini de kapsamaktadır. Meta analizi terim olarak ilk defa Glass tarafından öne sürülmüştür ve analizlerin analizi olarak da tanımlanmaktadır.

3.1.1. Meta Analizin Adımları

1. Araştırma sorusunun formülasyonu
2. Literatür araştırması
3. Araştırmaların seçimi
    a. Araştırmanın kalitesine göre seçim
    b. Araştırma konusuna göre seçim

4. Çalışmalardaki sonuç parametrelerin seçimi

a. Farklar (Ayrık değerler için)

b. Ortalamalar (sürekli değerler için)

c. Hedges g parametresi sürekli değerler için popüler bir özetleme ölçüsüdür.

5. Meta-analiz modelinin seçilmesi

6. Rastsal olmayan etkenlerin kaynaklarının tespit edilmesi

3.2. VOSVIEWER İLE BİBLİYOMETRİK ANALİZ

3.2.1. Bibliyometrik Analiz

Bibliyometri saymaya dayalı bir araştırma alanı olarak tanımlanır. Bibliyometri terimi, kitaplar, dergiler ve yayınlar gibi akademik bilgi paylaşım araçlarının istatistiksel ve matematiksel olarak değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bibliyometrik analiz ise, yayınların yazar sayısı, yayınlandıkları dergi, konu ve yayın bilgileri gibi özelliklerinin nicelik bakımından incelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bibliyometrik araştırma, yayınların belirli özelliklerini incelemeye ve çeşitli bilimsel iletişim sonuçları üretmeye odaklanır (Gökhan Yılmaz, 2017).

Citespace yazılımı Chen (2006) yaptığı çalışmadaki algoritmalara dayanır. Bibliyometrik metotlar ilk olarak 1960'lı yıllarda bilimsel çalışmaların etkilerin hesaplamak için öne sürülmüştür. Bir bilimsel çalışmayı kategorize etmek ve çalışma hakkında bilgi toplamak için referans listeleri yardımcı olmaktadır. Vosviewer yazılımında olduğu gibi Citespace yazılımda her nodül yayın, yazar ya da ülke olabilmektedir. Ve ortak yayınları atıf yapan yayınlar birbirlerine bibliyometrik olarak yakın olabilmektedirler. Ve bu yakınlık ilişkisi iki yayın arasında bağlantı oluşturulmasında sebebiyet vermektedir. Ve bu bağlantıları kullanarak, yayınlar arasında bir network diyagramı oluşabilmektedir. Ve bu network diyagramında yüksek atıf alan makaleler nodül boyutları daha büyük olmaktadır. Nodül merkezliliği ise bir nodülün grup içinde katkısı ile doğru orantılıdır ve nodül merkezliliği yüksek nodüller grupta merkezlerinde yer alır. Yayınları kategorize etmek için iki adet parametre vardır, bu parametreler araştırma cephesi "research front" ve entelektüel taban "intellectual base" bir yayını adlandırmak/kategorize etmek için kullanılan parametrelerdir. Araştırma cephesi bir yayının öne çıkan hususiyetleri ile ilgilidir. Anahtar kelimeler, araştırma konusu gibi konuları

modelleyebilir. Entelektüel taban ise yayının atıf yaptığı yayınların içerikleri ile alakalıdır (Persson, 1994).

Yüksek atıf alanlar yayın veritabanlarında daha çok öne çıkmaktadırlar. Ve araştırmacılar referans verirken ilk olarak öne çıkan yayınları incelemektedirler. Bu durum "zengin olanın daha çok zenginleşmesi" olan Matthew etkisi ile açıklanabilmektedir (Merton, 1968). En çok atıf alan yayınların yanında araştırmacılar en yeni yayınları incelemeye eğilimlidirler. Güncel yayınlar güncel bilimsel sorular barındırmaktadır. Ve güncel yayınlardan ortaya çıkan sorulara cevap bulan yayınların yayınlanma şansı daha yüksektir. Bu durumda yayınların büyük bir kısmının atıf alabilmesi ancak belli bir periyot için mümkündür. Bu periyottan sonra yayının atıf istatistikleri düşüşe geçer ve sona erer. Bu durumu tanımlamak için Price (1965) yakınlık faktörü "immediacy factor" terimini öne sürmüştür. Burton ve Kebler (1960) ise bu yayının güncelliğin yaşlanması sürecine atıf yarı ömrü "citation half-life" adını vermiştir.

Bibliyometrik analizler yüksek düzeyde hesaplama işlemi gerektirmektedir. Bibliyometrik analizleri için birçok yazılım geliştirilmiştir. Ve bu yazılım paketleri WoS (Web of Science) ve Scopus veritabanlarından bibliyometrik veri setlerine ihtiyaç duymaktadır. Tablo 3-1'de şimdiye kadar geliştirilen öne çıkan yazılımları listelemektedir. Bizim bu yazılımlardan temel beklentimiz literatürdeki metinlerden araştırmalar arası şebekeler oluşturabilmesidir.

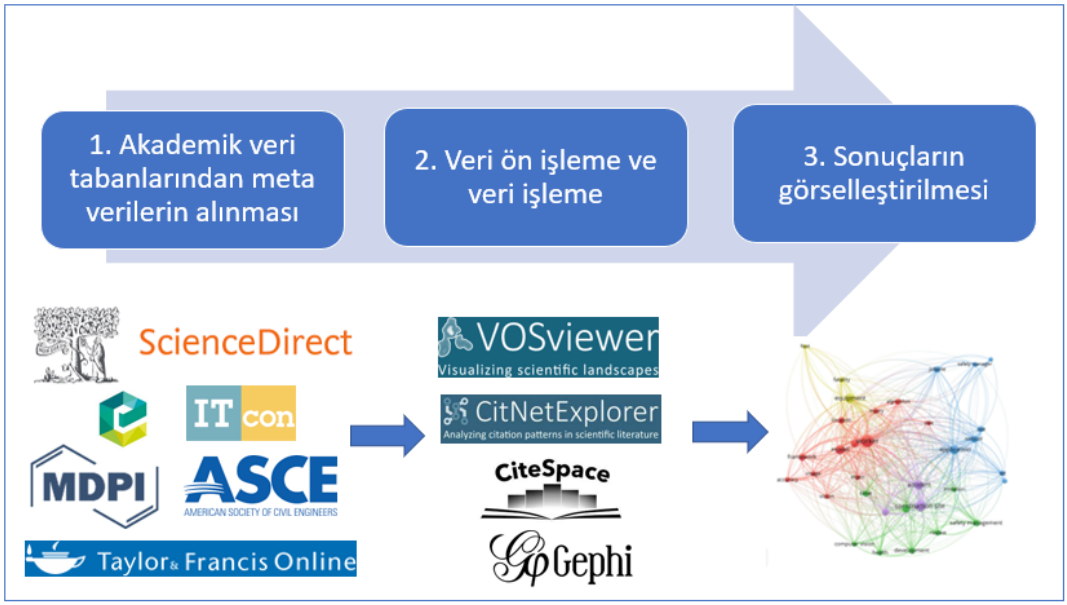
Tablo 3-1 Başlıca Bibliyometrik Yazılımlar ve Özellikleri

YAZILIM	ÖZELLİĞİ
VOSviewer	Literatürü analiz eder ve görsel şebekeler oluşturur (Jan van Eck ve Waltman, 2022).
CiteSpace	Java tabanlı bir yazılım olup yayınları anahtar kelimeleri yada ortak referans listelerine göre gruplandırabilir (Chen, 2006).
Bibexcel	Bibliyometrik verileri işlemek için tasarlanmıştır ve yayınlar arasında haritalama yapabilir. Excel gibi diğer yazılımlarla ortak çalışabilir (Persson, Danell ve Schneider, 2009).
Gephi	Java tabanlı yayınlar arası şebeke oluşturabilen bir yazılımdır (Bastian, Heymann ve Jacomy, 2009).

Esneklik, tekrar uygulanabilirlik ve geleneksel yöntemlerde olmayan geniş literatürün daha iyi anlaşılması bibliyometrik analizin önemli avantajlarındandır. Geleneksel analizlerin aksine; daha önce yapılan bir bibliyometrik analiz, daha sonra başka araştırmacı bilgisayar sistemlerinde bu sonuçları yeniden üretebilir ve araştırmayı buradan ilerletebilir (Qasim, 2017).

Çeşitli disiplinlerdeki gelişmelerin vurgulanması, yayınları verimliliğine göre sıralamak, verimliliğe göre çeşitli disiplinlerdeki konuları ve yazarları sıralamak, çeşitli disiplinlerdeki temel yayınların ortaya konması, çeşitli disiplinlerin ve bilgi kaynaklarının karşılaştırılması bibliyometrik analizin amaçlarındandır.

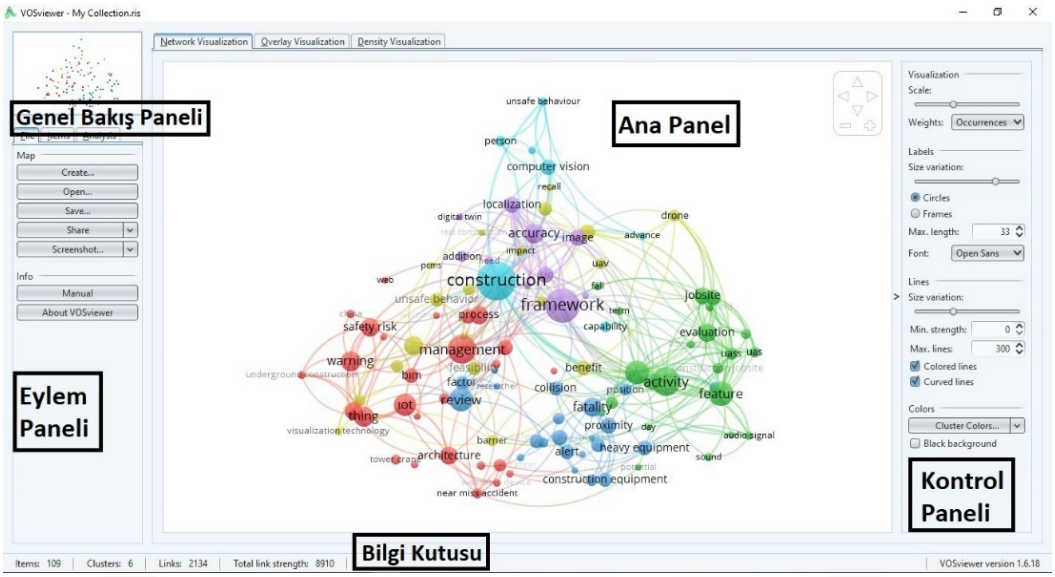
Şekil 3-2'de bibliyometrik analizin genel akış şeması gösterilmiştir. Şekil 3-2'ye göre bibliyometrik analiz üç aşamadan oluşur. İlk önce Science Direct, Emerald, ASCE gibi akademik veri tabanlarında seçilmiş belirli bir konu hakkında arama yapılıp seçilen araştırmaların meta verileri bu akademik veri tabanlarından alınır. İkinci aşamada, alınan bu meta verilerin uygun formata getirilerek seçilen bibliyometrik analiz yapan uygulamaya yüklenmesi olacaktır. Vosviewer, CitNetExplorer, CiteSpace ve Gephi bibliyometrik analiz yapan paketlerden bazılarıdır. Son aşamada ise bu uygulamalara girdi olarak alınan meta verinin anlamlı görsel verileri çıktı olarak alınır. Bu çıktılar görselleştirmeye ve yorumlanmaya hazırdır (Qasim, 2017).



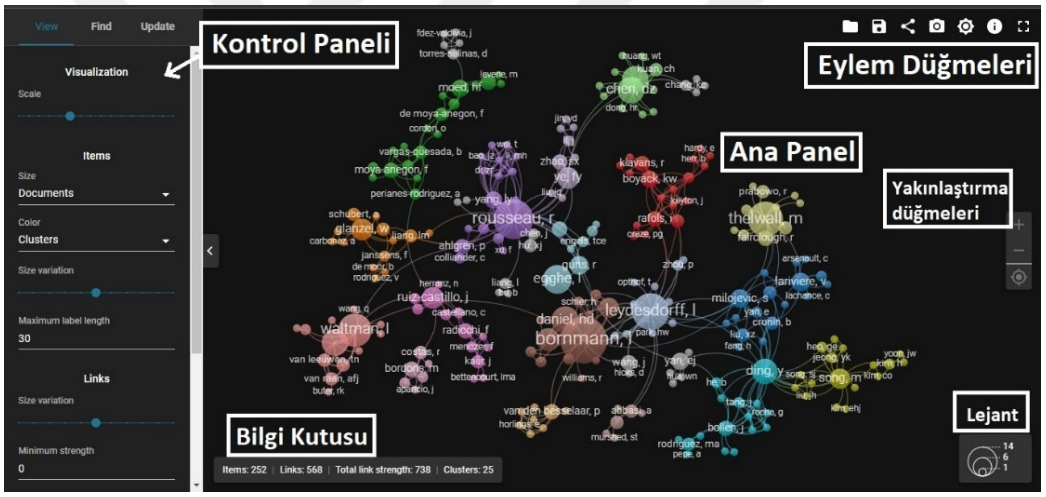
Şekil 3-2 Bibliyometrik Analizin Genel Akış Şeması (Qasim, 2017)

3.2.2. Bibliyometrik Analiz Paketi: VosViewer

Vosviewer; bibliyometrik analiz sonucu elde edilen verilerden ağ verilerine dayalı haritalar oluşturmak ve bu haritaları görselleştirmek için kullanılan bir yazılım aracıdır. Vosviewer'daki "vos" ön eki "benzerliklerin görselleştirilmesi (visualization of similarities)" demektir. Önceden oluşturulmuş ağ verileri üzerinden de görselleştirmeler, haritalar oluşturulabilir. Önceden oluşturulmuş ağ verileri yoksa ağ baştan da oluşturulabilir. Web of Science, Scopus ve PubMed gibi bibliyografik veri tabanı dosyaları ve Mendeley, RIS, EndNote ve RefWorks gibi referans yöneticisi dosyaları Vosviewer'a yüklenerek yeni bir ağ oluşturulabilir. Yayınlar, dergiler, yazarlar, ülkeler, anahtar kelimeleri içeren ağlar vosviewer programında oluşturulabilir. Bu ağlardaki öğeler; ortak yazarlık, ortak oluşum, alıntı, bibliyografik eşleştirme veya ortak alıntı bağlantılarıyla birbirine bağlanabilir. Vosviewer programı ile bir haritanın üç farklı görselleştirmesi yapılabilir. Bunlar; ağ (network) görselleştirmesi, kaplama (overlay) görselleştirmesi ve yoğunluk (density) görselleştirmesidir. Ağ görselleştirme; düğümlerin öğeleri temsil ettiği, düğümlerin arasındaki çizgilerin ise aralarındaki bağlantıları temsil ettiği ağları görsel olarak sunma çeşididir. Zaman içindeki gelişmeleri göstermek için kaplama (overlay) görselleştirmesi seçilmelidir. Ağ ve kaplama görselleştirmesinde büyük olan düğümlerin o alanda önder öğeler olduğunu gösterir. Bir bibliyometrik ağdaki ana alanlara odaklanılmak istendiğinde yoğunluk görselleştirmesi kullanılır. Yoğunluk görselleştirmesindeki her düğüm, o düğümdeki öğelerin yoğunluğunu gösteren bir renge sahiptir. Binlerce öğe içeren büyük haritalarla çalışırken haritayı yakınlaştırıp uzaklaştırarak ayrıntı düzeyini belirleyebiliriz. Şekil 3-3'te Vosviewer programının ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 3-4'te Vosviewer Online kullanıcı arayüzü gösterilmiştir. Ana panelde ilgili verinin görselleştirilmesi bulunur. Kontrol panelinde; görselleştirmenin ölçeği ayarlanabilir, öğelerin ve bağlantıların boyutunun, kümelendirilmesinin ayarlanması yapılır. Eylem düğmeleri kısmında bulunan düğmeler ile bir ağı açma, kaydetme, paylaşma ve bir ağ görselleştirmesinin ekran görüntüsünü alma, arka planı değiştirme gibi eylemleri gerçekleştirmek için kullanılır. Bilgi kutusu; öğeler, bağlantılar, kümeler konusunda sayısal bilgi verir (Jan van Eck ve Waltman, 2022).



Şekil 3-3 Vosviewer Programı Ekran Görüntüsü



Şekil 3-4 Vosviewer Online Kullanıcı Arayüzü

3.3. ARAŞTIRMA VERİLERİNİN TOPLANMASI

İnşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemlerinin araştırıldığı bu çalışmanın literatür taraması adımında, ASCE, Emerald Insight, Hindawi, ICONDA CIB Library, ITcon, MDPI, Sage Journals, Science Direct, Springer ve Taylor&Francis veritabanları kullanılmıştır. “Real-time monitoring system”, “Early warning system”, “Construction site monitoring”, “Construction site safety”, “Construction safety and health” anahtar kelimeleri bu veritabanlarında aratılmıştır. Birçok çalışma arasından verilerin dâhil edilme ve hariç tutulma kriterlerine uygun olan yayınlar tek tek seçilmiştir.

3.3.1. Verilerin Dâhil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri

Literatür araştırmasında bulunan çalışmalar belirli kriterlere göre meta-analiz çalışmasına dâhil edilmiştir. Dâhil edilme kriterleri aşağıda listelenmiştir:

- 2000-2023 yılları arasında yapılmış çalışmalar olmalı,
- Çalışmaların tam metnine erişimin olması,
- Gerçek zamanlı izleme sistemi ve/veya erken uyarı sistemini konu alan çalışmalardan biri olması,
- İnşaat iş güvenliği konusundaki çalışmalardan biri olması,
- Çalışmanın araştırma türleri bunlardan biri olmalıdır: anket, vaka analizi, literatür araştırması, deneysel çalışma, simulasyon ve sistem geliştirme.

Çalışmalar için hariç tutulma kriterleri ise şunlardır:

- Dâhil edilme kriterlerinden herhangi birisini sağlamaması,
- İnşaat sektörü iş sağlığı ve güvenliği konusu dışında bir çalışma olması,
- Çalışmanın izleme ve uyarı sistemi odaklı olmaması,
- Aynı vaka çalışmasının kullanıldığı bir çalışmanın devamı olmasıdır.

3.4. VERİLERİN ANALİZ EDİLMESİ

Ham veriler toplanarak amaca uygun bir şekilde düzenlenerek istatiksel olarak anlamlı bilgiler haline getirmeye verilerin analizi denir. Verilerin analiz edilmesiyle anlamlı sonuçlar elde edilir ve bu sonuçlar yorumlanır, görselleştirilir.

Tüm bilimsel araştırmalar etik kurallara bağlı kalarak geçerli ve güvenilir bilgi üretmeyi amaçlar. Araştırılan olgunun daha iyi anlaşılabilmesi için araştırmalarda mümkün olduğunca birden fazla yaklaşıma başvurulmaktadır. Araştırma inandırıcılığı açısından araştırmanın geçerlik ve güvenirliği vurgulanmıştır. Meta-sentez araştırmalarının geçerliliğini ve güvenilirliğini sağlamak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Polat ve Ay, 2016):

- Çalışmanın amacı açıkça belirtilmelidir.
- Veri toplama yöntemi, dâhil etme ve hariç tutma kriterleri bulguların geçerliliğinin sağlanması için ayrıntılı olarak sunulmalıdır.
- Araştırmaya dâhil edilen çalışmalar açıklanmalıdır.
- Araştırma kapsamında seçilen çalışmaların; temel bilgileri, veri toplama yöntemleri ve veri çözümlemeleri sunulmalıdır.
- Ortak bir tema oluşturulup veri çözümlemeleri yapılmalıdır.
- Analiz için yeterince vakit ayırılmalıdır.
- Çalışma bulgularından bahsederek meta analiz çalışmasının inandırıcılığı arttırılmalıdır.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında; konuya uygun olarak seçilen yayınlar meta analizinin sınıflandırma çerçevesi bağlamında bir excel dosyasında ilgili verileri eklenmiştir. Bibliyometrik analiz için ise Vosviewer kullanılmıştır. Tüm bu analizlerin sonuçları bu bölümde yorumları ile birlikte verilmiştir.

Bu çalışmadaki meta analiz sınıflandırılmasına ait ana kategoriler, alt kategoriler ve bunları içeren faktörler tabloda gösterilmektedir.

Tablo 4-1 Meta Analiz Sınıflandırma Kategorileri

Kategoriler	Alt Kategoriler	Faktörler
Tanımlama Detayları	Yazar	Yazarların İsimleri
	Yıl	Yayın yılı
	Ana Başlık	Yayın başlıkları
	Veri tabanı	ScienceDirect, Emerald, ASCE vb.
	Dergi	Yayının yayınlandığı dergi isimleri
	Yayın Türü	Makale, Bildiri
	Ülke	İlgili yazarın ülkesinin adı
	Kurum	Çalışmanın yapıldığı kurum isimi
	Anahtar kelimeler	
Kapsam	Konu & Amaç	
	Proje Türleri	Konut yapıları, Altyapı projeleri
	İlişkili Konular	BIM, IoT
	Kullanılan teknolojiler	
Form & Girdi-Çıktı	Veri kaynağı & Araştırmanın yöntemi	Literatür taraması, Gözlem, Röportaj, Anket, Vaka Çalışması
	Katkılar	Genel değerlendirme, yeni sistem, model
Amaç ve Sonuç	Kısıtlamalar	Maliyet, hava koşulları, işçi adaptasyonu
	Bulgular & Sonuçlar	

4.1. YAYINLARIN GENEL BİLGİLERİNE AİT BULGULAR

Meta analiz çalışmasına belirlenen dâhil edilme ve hariç tutulma kriterlerine göre 91 makale ve 7 bildiri olmak üzere toplamda 98 yayın dâhil edilmiştir. Yayınlara türlerine göre kronolojik olarak kod verilmiştir: "M1, M2, …" makale kodları ve "B1, B2, …" bildiri kodları. Aşağıda verilen tablolarda çalışmalar yıl bazında ayrılarak temel özellikleri verilmiştir. Tablo 4-2, Tablo 4-3, Tablo 4-4, Tablo 4-5, Tablo 4-6, Tablo 4-7, Tablo 4-8, Tablo 4-9, Tablo 4-10 ve Tablo 4-11'de yıllara göre yayınlanan çalışmaların kodu, adı, yazarları ve yayın yılları gibi temel özellikleri verilmiştir.

Tablo 4-2 2006-2010 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M1	Model for Automated Monitoring of Fall Hazards in Building Construction	Navon, R.; Kolton, O.	2006
B1	Combined Ultra-Wideband Positioning and Range Imaging Sensing for Productivity and Safety Monitoring in Building Construction	Teizer, Jochen; Castro-Lacouture, Daniel	2007
B2	Rapid automated monitoring of construction site activities using ultra-wideband	Teizer, Jochen; Lao, Davis; Sofer, Menache	2007
M2	3D range imaging camera sensing for active safety in construction	Teizer, Jochen	2008
M3	A crash avoidance framework for heavy equipment control systems using 3D imaging sensors	Chi, Seokho; Caldas, Carlos; Gong, Jie	2008
M4	Design and first development of an automated real-time safety management system for construction sites	Giretti, Alberto; Carbonari, Alessandro; Naticchia, Berardo; De Grassi, Mario	2009
M5	Development of a mobile safety monitoring system for construction sites	Lee, Ung Kyun; Kim, Joo Heon; Cho, Hunhee; Kang, Kyung In	2009
M6	Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment	Chae, Soungho; Yoshida, Tomohiro	2010
M7	Autonomous proactive real time construction worker and equipment operator proximity safety alert system	Teizer, Jochen; Allread, Ben S.; Fullerton, Clare E.; Hinze, Jimmie	2010
M8	Benefits and Barriers of Construction Project Monitoring Using High-Resolution Automated Cameras	Bohn, Jeffrey S; Teizer, Jochen	2010

M9	Towards an autonomous real-time tracking system of near-miss accidents on construction sites	Wu, Weiwei; Yang, Huanjia; Chew, David A.S.; Yang, Shuang hua; Gibb, Alistair G.F.; Li, Qiming	2010

Tablo 4-3 2011-2012 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M10	A proactive system for real time safety management in construction sites	Carbonari, Alessandro; Giretti, Alberto; Naticchia, Berardo	2011
B3	Automatic Identification of Unsafe Bending Behavior of Construction Workers using Real-time Location Sensing and Physiological Status Monitoring	Migliaccio, Giovanni C.; Teizer, Jochen; Cheng, Tao; Gatti, Umberto C.	2012
M11	Design and implementation of an identification system in construction site safety for proactive accident prevention	Yang, Huanjia; Chew, David A.S.; Wu, Weiwei; Zhou, Zhipeng; Li, Qiming	2012
M12	Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming	Li, Yanming; Liu, Chengliang	2012
B4	Proximity sensing and warning technology for heavy construction equipment operation	Marks, Eric; Teizer, Jochen	2012
M13	Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training	Ray, Soumitry J.; Teizer, Jochen	2012
M14	Real-time personal protective equipment monitoring system	Barro-Torres, Santiago; Fernández-Caramés, Tiago M.; Pérez-Iglesias, Héctor J.; Escudero, Carlos J.	2012
M15	Ultra-wide band technology experiments for real-time prevention of tower crane collisions	Hwang, Seokyon	2012
M16	Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools	Irizarry, Javier; Gheisari, Masoud; Walker, Bruce N	2012

Tablo 4-4 2013-2014 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M17	A monitoring system for real-time interference control on large construction sites	Naticchia, Berardo; Vaccarini, Massimo; Carbonari, Alessandro	2013

M18	Development of web-based system for safety risk early warning in urban metro construction	Ding, L. Y.; Zhou, C.	2013
M19	Real-time monitoring system for workers' behaviour analysis on a large-dam construction site	Lin, Peng; Li, Qingbin; Fan, Qixiang; Gao, Xiangyou	2013
M20	Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications	Cheng, Tao; Teizer, Jochen	2013
M21	Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things	Ding, L. Y.; Zhou, C.; Deng, Q. X.; Luo, H. B.; Ye, X. W.; Ni, Y. Q.; Guo, P.	2013
M22	A practical application combining wireless sensor networks and internet of things: Safety management system for tower crane groups	Zhong, Dexing; Lv, Hongqiang; Han, Jiuqiang; Wei, Quanrui	2014
M23	Information technology applications in construction safety assurance	Skibniewski, Mirosław J.	2014
M24	Real-time environmental monitoring, visualization and notification system for construction H&S management	Arslan, Muhammad Riaz, Zainab Kiani, Adnan Khalid Azhar, Salman	2014
B5	UAS4SAFETY: The Potential of Unmanned Aerial Systems for Construction Safety Applications	Gheisari, Masoud; Irizarry, Javier; Walker, Bruce N.	2014

Tablo 4-5 2015-2016 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M25	Computer vision techniques for construction safety and health monitoring	Seo, Joonoh; Han, Sanguk; Lee, Sanghyun; Kim, Hyoungkwan	2015
M26	Location-Aware Sensor Data Error Impact on Autonomous Crane Safety Monitoring	Luo, Xiaowei; Leite, Fernanda; O'Brien, William J.	2015
M27	Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas	Teizer, Jochen; Cheng, Tao	2015
M28	Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites	Teizer, Jochen	2015

M29	Using Telepresence for Real-Time Monitoring of Construction Operations	Jaselskis, Edward; Sankar, Arvind; Yousif, Ahmad; Clark, Brett; Chinta, Viswa	2015
M30	Wearable, wireless identification sensing platform: Self-Monitoring Alert and Reporting Technology for Hazard Avoidance and Training (SmartHat)	Teizer, Jochen	2015
M31	Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes	Kim, Hyunsoo; Lee, Hyun Soo; Park, Moonseo; Chung, Boo Young; Hwang, Sungjoo	2016
M32	Construction site safety control with medium-accuracy location data	Edrei, Tsah; Isaac, Shabtai	2016
M33	Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study	Yi, Wen; Chan, Albert P.C.; Wang, Xiangyu; Wang, Jun	2016
M34	Development of an Integrated Micro-Environmental Monitoring System for Construction Sites	Wong, Man Sing; Mok, Esmond; Wang, Tingneng; Yong, Zhao	2016
M35	Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment	Golovina, Olga; Teizer, Jochen; Pradhananga, Nipesh	2016
M36	Right-time vs real-time pro-active construction safety and health system architecture	Teizer, Jochen	2016
M37	Stochastic state sequence model to predict construction site safety states through Real-Time Location Systems	Li, Heng; Yang, Xincong; Wang, Fenglai; Rose, Timothy; Chan, Greg; Dong, Shuang;	2016

Tablo 4-6 2017 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M38	Activity analysis of construction equipment using audio signals and support vector machines	Cheng, Chieh Feng; Rashidi, Abbas; Davenport, Mark A.; Anderson, David V.	2017
M39	An experimental study of real-time identification of construction workers' unsafe behaviors	Yu, Yantao; Guo, Hongling; Ding, Qinghua; Li, Heng; Skitmore, Martin	2017

M40	Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites	Melo, Roseneia Rodrigues Santos de; Costa, Dayana Bastos; Álvares, Juliana Sampaio; Irizarry, Javier	2017
M41	BIM and sensor-based data management system for construction safety monitoring	Riaz, Zainab; Parn, Erika A.; Edwards, David J.; Arslan, Muhammad; Shen, Charles; Pena-Mora, Feniosky	2017
B6	Detecting and Classifying Cranes Using Camera-Equipped UAVs for Monitoring Crane-Related Safety Hazards	Roberts, Dominic; Bretl, Timothy; Golparvar-Fard, Mani	2017
M42	Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors	Park, JeeWoong; Kim, Kyungki; Cho, Yong K.	2017
M43	Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies	Zhou, C.; Ding, L. Y.	2017
M44	Visualization technology-based construction safety management: A review	Guo, Hongling; Yu, Yantao; Skitmore, Martin	2017
M45	Wearable IMU-based real-time motion warning system for construction workers' musculoskeletal disorders prevention	Yan, Xuzhong; Li, Heng; Li, Angus R.; Zhang, Hong	2017

Tablo 4-7 2018 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M46	A real time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building information modeling technologies	Cheung, Weng-Fong; Lin, Tzu-Hsuan; Lin, Yu Cheng	2018
M47	An IoT-based autonomous system for workers' safety in construction sites with real time alarming,monitoring,and positioning strategies	Kanan, Riad; Elhassan, Obaidallah; Bensalem, Rofaida	2018
M48	Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement	Dong, Shuang; Li, Heng; Yin, Qin	2018
M49	Data-Driven Monitoring System for Preventing the Collapse of Scaffolding Structures	Cho, Chunhee; Kim, Kyungki; Park, Jeewoong; Cho, Yong K	2018

M50	Proactive behavior-based system for controlling safety risks in urban highway construction megaprojects	Li, Yongkui; Hu, Yi; Xia, Bo; Skitmore, Martin; Li, Heng	2018
M51	Risk Behavior-Based Trajectory Prediction for Construction Site Safety Monitoring	Rashid, Khandakar M.; Behzadan, Amir H.	2018
B7	Using Unmanned Aerial Systems for Automated Fall Hazard Monitoring	Gheisari, Masoud; Rashidi, Abbas; Esmaeili, Behzad	2018
M52	Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices	Awolusi, Ibukun; Marks, Eric; Hallowell, Matthew	2018

Tablo 4-8 2019 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M53	A proactive workers' safety risk evaluation framework based on position and posture data fusion	Chen, Hainan; Luo, Xiaowei; Zheng, Zhuang; Ke, Jinjing	2019
M54	A vision and learning-based indoor localization and semantic mapping framework for facility operations and management	Wei, Yujie; Akinci, Burcu	2019
M55	Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety	Gheisari, Masoud; Esmaeili, Behzad	2019
M56	Cyber-physical-system-based safety monitoring for blind hoisting with the internet of things: A case study	Zhou, Cheng; Luo, Hanbin; Fang, Weili; Wei, Ran; Ding, Lieyun	2019
M57	Exploring the Quantitative Impact of Localization Accuracy on Localization-Based Safety Monitoring's Performance on a Construction Jobsite	Chen, Hainan; Luo, Xiaowei	2019
M58	Real-Time Alarming, Monitoring, and Locating for Non-Hard-Hat Use in Construction	Zhang, Hong; Yan, Xuzhong; Li, Heng; Jin, Rui; Fu, Hong Feng	2019
M59	Real-time locating systems and safety in construction sites: A literature review	Soltanmohammadlou, Nazi; Sadeghi, Sanaz; Hon, Carol K.H.; Mokhtarpour-Khanghah, Fariba	2019
M60	Real-Time Vision-Based Warning System for Prevention of Collisions between Workers and Heavy Equipment	Son, Hyojoo; Seong, Hyeonwoo; Choi, Hyunchul; Kim, Changwan	2019

M61	Safety Distance Identification for Crane Drivers Based on Mask R-CNN	Yang, Zhen; Yuan, Yongbo; Zhang, Mingyuan; Zhao, Xuefeng; Zhang, Yang; Tian, Boquan	2019

Tablo 4-9 2020 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M62	A critical review of vision-based occupational health and safety monitoring of construction site workers	Zhang, Mingyuan; Shi, Rui; Yang, Zhen	2020
M63	Activity identification in modular construction using audio signals and machine learning	Rashid, Khandakar M.; Louis, Joseph	2020
M64	Automated PPE-Tool pair check system for construction safety using smart IoT	Yang, Xincong; Yu, Yantao; Shirowzhan, Sara; Sepasgozer, Samad; Li, Heng	2020
M65	Computer vision for behaviour-based safety in construction: A review and future directions	Fang, Weili; Love, Peter E.D.; Luo, Hanbin; Ding, Lieyun	2020
M66	Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment	Nath, Nipun D.; Behzadan, Amir H.; Paal, Stephanie G.	2020
M67	Evidence-driven sound detection for prenotification and identification of construction safety hazards and accidents	Lee, Yong Cheol; Shariatfar, Moeid; Rashidi, Abbas; Lee, Hyun Woo	2020
M68	Human-object interaction recognition for automatic construction site safety inspection	Tang, Shuai; Roberts, Dominic; Golparvar-Fard, Mani	2020
M69	IoT-based application for construction site safety monitoring	Chung, William Wong Shiu; Tariq, Salman; Mohandes, Saeed Reza; Zayed, Tarek	2020
M70	IoT-based detecting, locating and alarming of unauthorized intrusion on construction sites	Jin, Rui; Zhang, Hong; Liu, Donghai; Yan, Xuzhong	2020
M71	Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications	Rao, Aravinda S.; Radanovic, Marko; Liu, Yuguang; Hu, Songbo; Fang, Yihai; Khoshelham, Kourosh; Palaniswami, Marimuthu; Ngo, Tuan	2020

M72	Real-time smart video surveillance to manage safety: A case study of a transport mega-project	Luo, Hanbin; Liu, Jiajing; Fang, Weili; Love, Peter E.D.; Yu, Qunzhou; Lu, Zhenchuan	2020

Tablo 4-10 2021 Yılında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

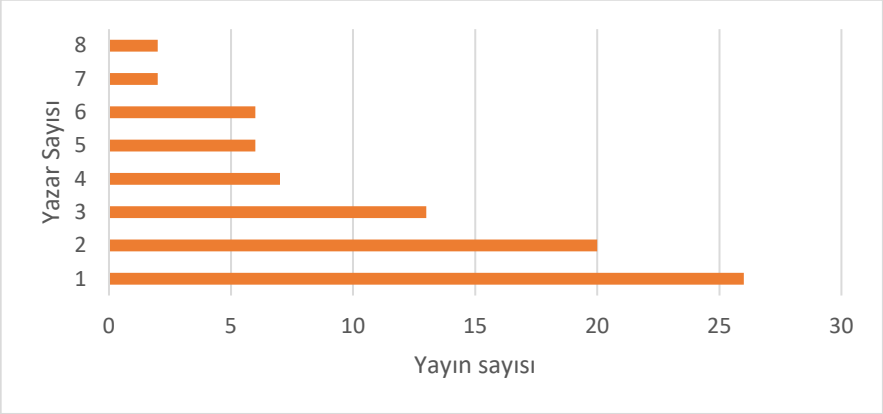
KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M73	A general architecture for a real-time monitoring system based on the internet of things	Paudel, Nilakantha; Neupane, Ram C.	2021
M74	An AIoT-based system for real time monitoring of tunnel construction	Zhang, Pin; Chen, Ren Peng; Dai, Tian; Wang, Zhi Teng; Wu, Kai	2021
M75	Autonomous detection system for non-hard-hat use at construction sites using sensor technology	Kim, Jung Hoon; Jo, Byung Wan; Jo, Jun Ho; Lee, Yun Sung; Kim, Do Keun	2021
M76	Development of a real-time automated monitoring system for managing the hazardous environmental pollutants at the construction site	Kang, Hyuna; Sung, Seulki; Hong, Juwon; Jung, Seunghoon; Hong, Taehoon; Park, Hyo Seon; Lee, Dong Eun	2021
M77	Factors affecting the intrusiveness and selection of real-site data collection methods in hot and humid climates: critical review	Moohialdin, Ammar; Lamari, Fiona; Miska, Marc; Trigunarsyah, Bambang	2021
M78	Intelligent Early Warning System for Construction Safety of Excavations Adjacent to Existing Metro Tunnels	Tian, Wei; Meng, Jiang; Zhong, Xing Ju; Tan, Xiao	2021
M79	Real-time vision-based worker localization & hazard detection for construction	Jeelani, Idris; Asadi, Khashayar; Ramshankar, Hariharan; Han, Kevin; Albert, Alex	2021
M80	Safety challenges of UAV integration in construction: Conceptual analysis and future research roadmap	Jeelani, Idris; Gheisari, Masoud	2021
M81	Sensor-based computational approach to preventing back injuries in construction workers	Subedi, Sudip; Pradhananga, Nipesh	2021

Tablo 4-11 2022-2023 Yılları Arasında Yayınlanan Çalışmaların Temel Özellikleri

KOD	YAYIN ADI	YAZAR	YIL
M82	A learning model for automated construction site monitoring using ambient sounds	Akbal, Erhan; Tuncer, Turker	2022
M83	Early warning and real-time control of construction safety risk of underground engineering based on building information modeling and internet of things	Liang, Yu; Liu, Qixin	2022
M84	Management of safe distancing on construction sites during COVID-19: A smart real-time monitoring system	Goh, Yang Miang; Tian, Jing; Chian, Eugene Yan Tao	2022
M85	Positioning precision analysis of passive phased array radar localization for construction safety monitoring in a non-line-of-sight environment via heatmap	Zhou, Cheng; Li, Rao; Jiang, Weiguang; Wang, Yu	2022
M86	Real-time mixed reality-based visual warning for construction workforce safety	Wu, Shaoze; Hou, Lei; Zhang, Guomin (Kevin); Chen, Haosen	2022
M87	Real-time monitoring of work-at-height safety hazards in construction sites using drones and deep learning	Shanti, Mohammad Z.; Cho, Chung Suk; de Soto, Borja Garcia; Byon, Young Ji; Yeun, Chan Yeob; Kim, Tae Yeon	2022
M88	Tag and IoT based safety hook monitoring for prevention of falls from height	Khan, Muhammad; Khalid, Rabia; Anjum, Sharjeel; Khan, Numan; Cho, Seungwon; Park, Chansik	2022
M89	Vision-based monitoring of site safety compliance based on worker re-identification and personal protective equipment classification	Cheng, Jack C.P.; Wong, Peter Kok Yiu; Luo, Han; Wang, Mingzhu; Leung, Pak Him	2022
M90	A Construction Accident Prevention System Based on the Internet of Things (Iot)	Zhang, Minglong; Ghodrati, Nariman; Poshdar, Mani; Seet, Boon-Chong; Yongchareon, Sira	2023
M91	A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management	Ye, Zijian; Ye, Ying; Zhang, Chengping; Zhang, Zhiming; Li, Wei; Wang, Xuejie; Wang, Lei; Wang, Libin	2023

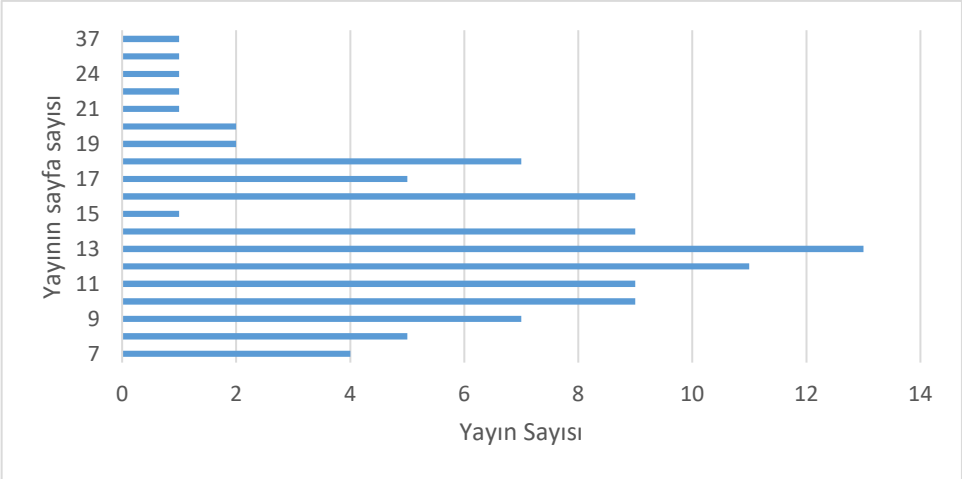
4.1.1. Yayınların Sayfa Sayısı ve Yazar Sayısına Göre Dağılımı

Araştırmalar en az 1 olmak üzere, birden fazla yazar tarafından hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar yazar sayılarına göre gruplanmış ve Şekil 4-1'de gösterilmiştir. Şekle göre 26 adet çalışma tek yazar tarafından yapılmıştır. Seçilen çalışmalarda en fazla 8 yazar olan 2 adet çalışma bulunmuştur.



Şekil 4-1 Çalışmaların Yazar Sayısına Göre Dağılımı

Çalışmaların sayfa sayıları incelenip Şekil 4-2'de gösterilmiştir. En az 7 sayfa, en fazla ise 37 sayfalık çalışmalar bulunmuştur. 13 sayfa yapılan çalışma sayısı 13 adettir. Çalışmaların ortalama sayfa sayısı da yaklaşık 14 sayfadır.



Şekil 4-2 Yayınların Sayfa Sayısına Göre Dağılımı

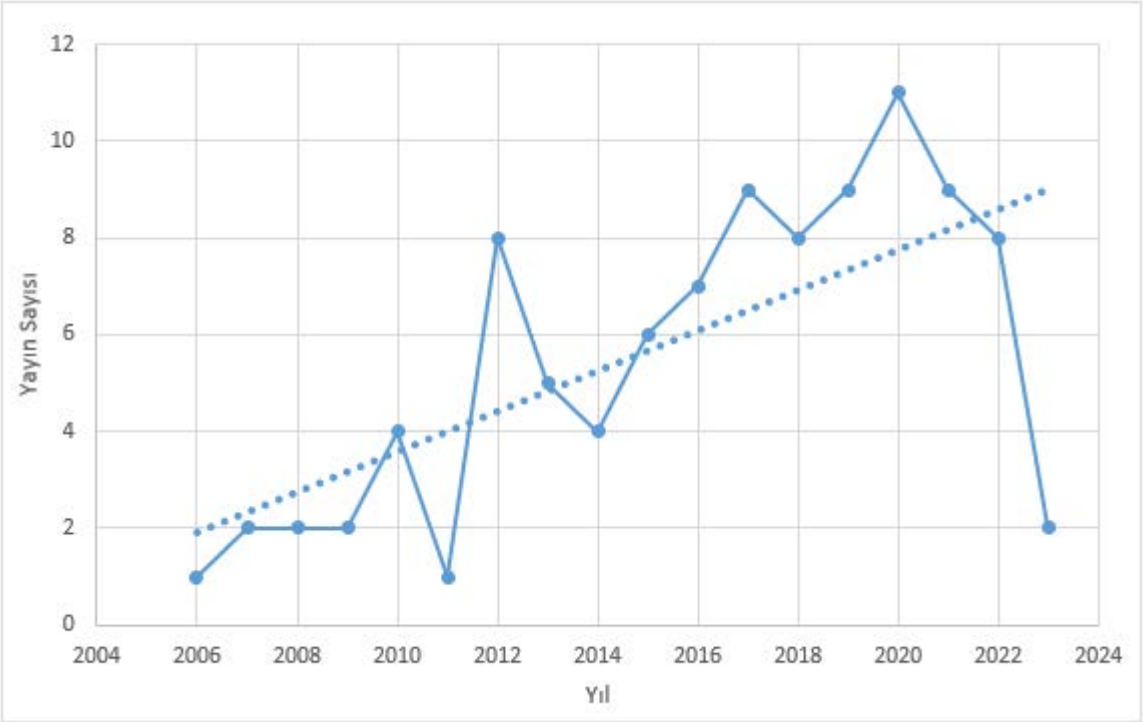
4.1.2. Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Tablo 4-12'de 2006-2023 yılları arasında yayınlanan inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusunda yapılan çalışmaların dağılımı verilmiştir.

Tablo 4-12 Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

YIL	YAYIN KODU	FREKANS
2006	M1	1
2007	B1, B2	2
2008	M2, M3	2
2009	M4,M5	2
2010	M6, M7, M8, M9	4
2011	M10	1
2012	B3, M11, M12, B4, M13, M14, M15, M16	8
2013	M17, M18, M19, M20, M21	5
2014	M22, M23, M24, B5	4
2015	M25, M26, M27, M28, M29, M30	6
2016	M31, M32, M33, M34, M35, M36, M37	7
2017	M38, M39, M40, M41, B6, M42, M43, M44, M45	9
2018	M46, M47, M48, M49, M50, M51, B7, M52	8
2019	M53, M54, M55, M56, M57, M58, M59, M60, M61	9
2020	M62, M63, M64, M65, M66, M67, M68, M69, M70, M71, M72	11
2021	M73, M74, M75, M76, M77, M78, M79, M80, M81	9
2022	M82, M83, M84, M85, M86, M87, M88, M89	8
2023	M90, M91	2

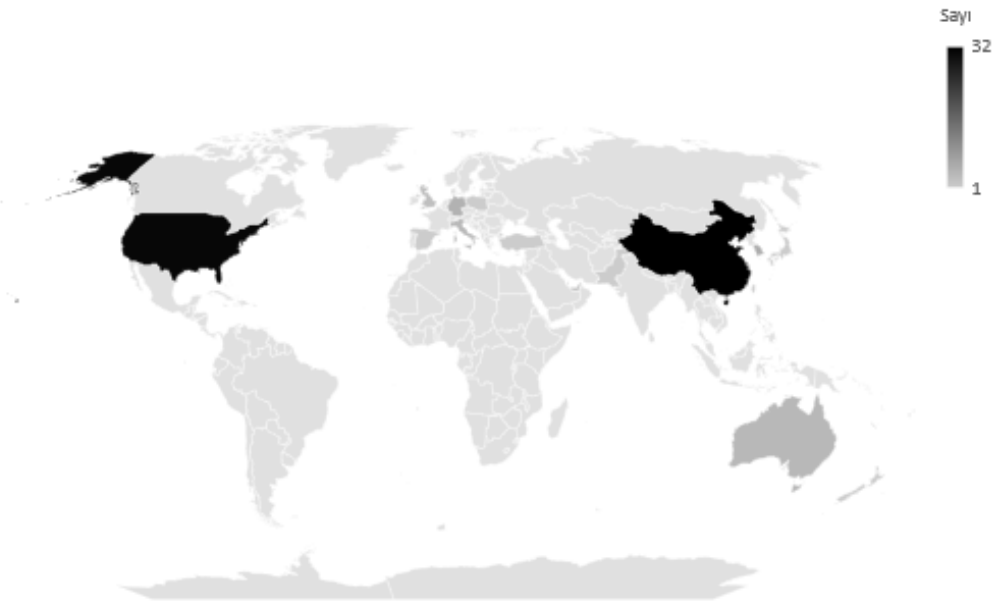
Şekil 4-3'te yayınların yıl bazında dağılım grafiği gösterilmiştir. İlk yıllarda çok fazla çalışmanın olmadığı gözlemlenmiştir. Grafiğe ayrıca doğrusal eğilim çizgisi eklenmiştir. Eğilim çizgisi, yıllar geçtikçe inşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusundaki yayınların arttığını göstermektedir.



Şekil 4-3 Yayınların Yıllara Göre Dağılım Grafiği

4.1.3. Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı

Şekil 4-4'te inşaat iş güvenliği ve erken uyarı sistemleri ile ilgili yapılan çalışmaların coğrafi dağılımı harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4-4 Konu ile İlgili Seçilen Çalışmaların Coğrafi Dağılımı

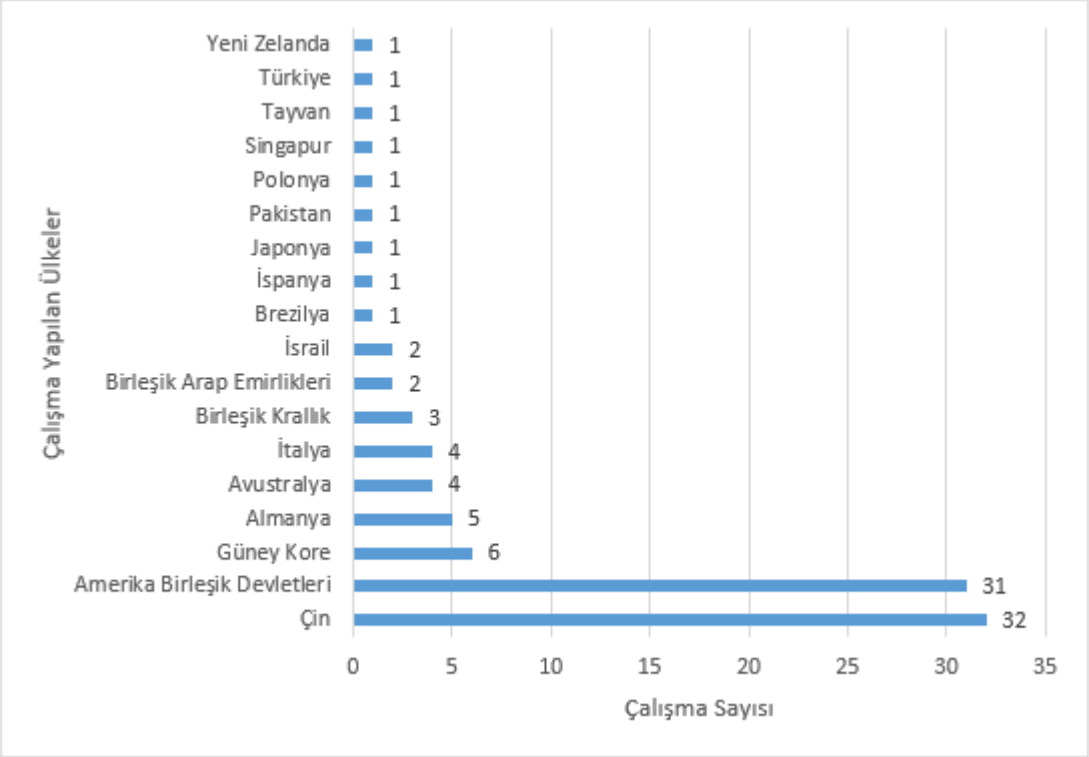
Tablo 4-13'te çalışmaların yapıldığı ülkeler ve hangi çalışmaların yapıldığı kodlar ile gösterilmiştir.

Tablo 4-13 Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı

ÜLKE	YAYIN KODU	FREKANS
Almanya	M27, M28, M30, M35, M36	5
ABD	B1, B2, M2, M3, M7, M8, B3, B4, M13, M15, M16, M20, B5, M25, M29, M38, B6, M42, M49, M51, B7, M52, M54, M55, M63, M66, M67, M68, M79, M80, M81	31
Avustralya	M59, M71, M77, M86	4
BAE	M47, M87	2
Birleşik Krallık	M9, M11, M41	3
Brezilya	M40	1
Çin	M12, M18, M19, M21, M22, M26, M33, M34, M37, M39, M43, M44, M45, M48, M50, M53, M56, M57, M58, M61, M62, M64, M65, M69, M70, M72, M74, M78, M83, M85, M89, M91	32
Güney Kore	M5, M31, M60, M75, M76, M88	6
İspanya	M14	1
İsrail	M1, M32	2
İtalya	M4, M10, M17, M73	4
Japonya	M6	1
Pakistan	M24	1
Polonya	M23	1
Singapur	M84	1
Tayvan	M46	1
Türkiye	M82	1
Yeni Zelanda	M90	1

Şekil 4-5'te çalışmaların yapıldığı ülkelerin dağılımı gösterilmiştir. Çok yazarlı yayınlarda, çalışmanın ülkesi seçilirken yazışmadan sorumlu yazarın bulunduğu kurumun ülkesi dikkate alınmıştır. Toplamda 18 farklı ülkeden yayın bulunmuştur. İnşaat iş güvenliğinde gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemleri konusunda en fazla yayın yaparak lider konumda 32 yayın ile Çin ve 31 yayın ile Amerika Birleşik Devletleri bulunmaktadır. Güney Kore'de 6 ve Almanya'da 5 çalışma bulunmuştur. İtalya ve Avustralya'da dörder çalışma yapılırken Birleşik

Krallık'tan 3, İsrail ve Birleşik Arap Emirlikleri'nden ikişer yayın bulunmuştur. Brezilya, İspanya, Japonya, Pakistan, Polonya, Singapur, Tayvan, Türkiye ve Yeni Zelanda'da ise birer çalışma yapılmıştır.



Şekil 4-5 Çalışmaların Yapıldığı Ülkelere Göre Dağılımı

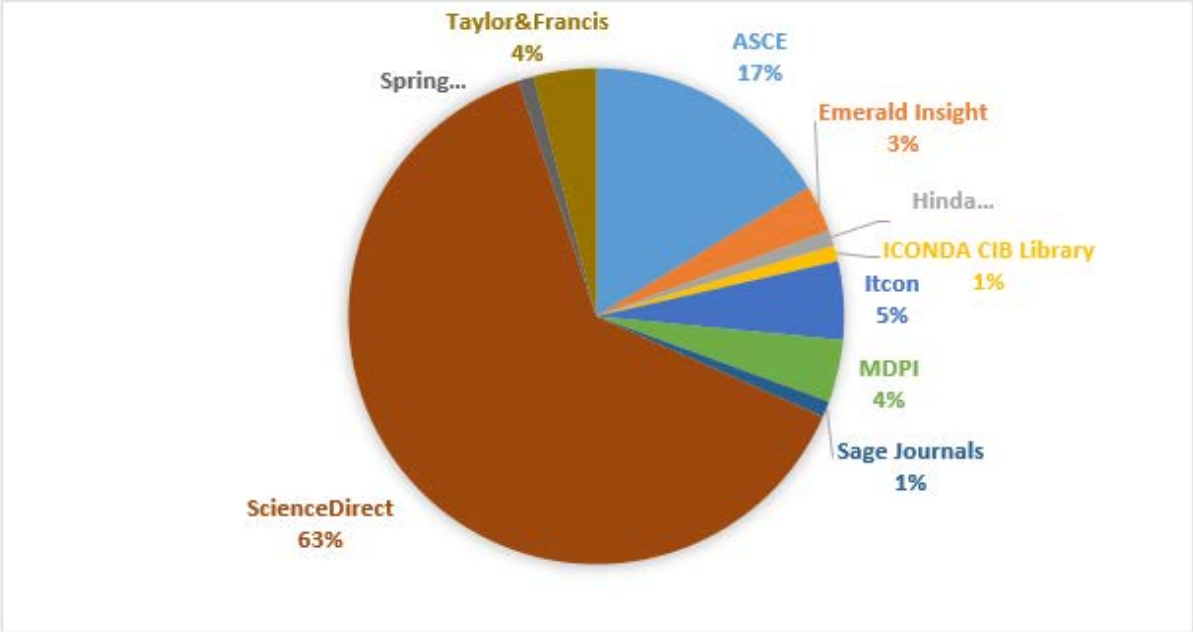
4.1.4. Çalışmanın Bulunduğu Veritabanına Göre ve Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı

Tablo 4-14'te çalışmaların veritabanına göre dağılımı, Şekil 4-6'da ise veritabanlarının yüzdelik dilimleri, Tablo 4-15'te çalışmaların yayınlandığı dergiye göre dağılımı ve Şekil 4-7'de dergiye göre dağılım grafiği gösterilmiştir.

Tablo 4-14 Seçilen Çalışmaların Veritabanına Göre Dağılımı

VERİTABANI	YAYIN KODU	FREKANS
ASCE	M1, B1, M8, B3, B4, B5, M26, M29, B6, M42, M49, M51, B7, M57, M58, M60	16
Emerald Insight	M36, M41, M77	3
Hindawi	M78	1
ICONDA CIB Library	B2	1
Itcon	M2, M3, M16, M24, M30	5

MDPI	M22, M46, M61, M75	4
Sage Journals	M19	1
ScienceDirect	M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M17, M18, M20, M21, M25, M27, M28, M31, M33, M34, M35, M37, M38, M39, M40, M43, M44, M45, M47, M48, M50, M52, M53, M54, M55, M56, M59, M62, M63, M64, M65, M66, M67, M68, M70, M71, M72, M73, M74, M76, M79, M80, M81, M82, M84, M85, M86, M87, M88, M89, M90, M91	62
Springer	M83	1
Taylor&Francis	M4, M23, M32, M69	4



Şekil 4-6 Seçilen Çalışmaların Veritabanına Göre Dağılımı

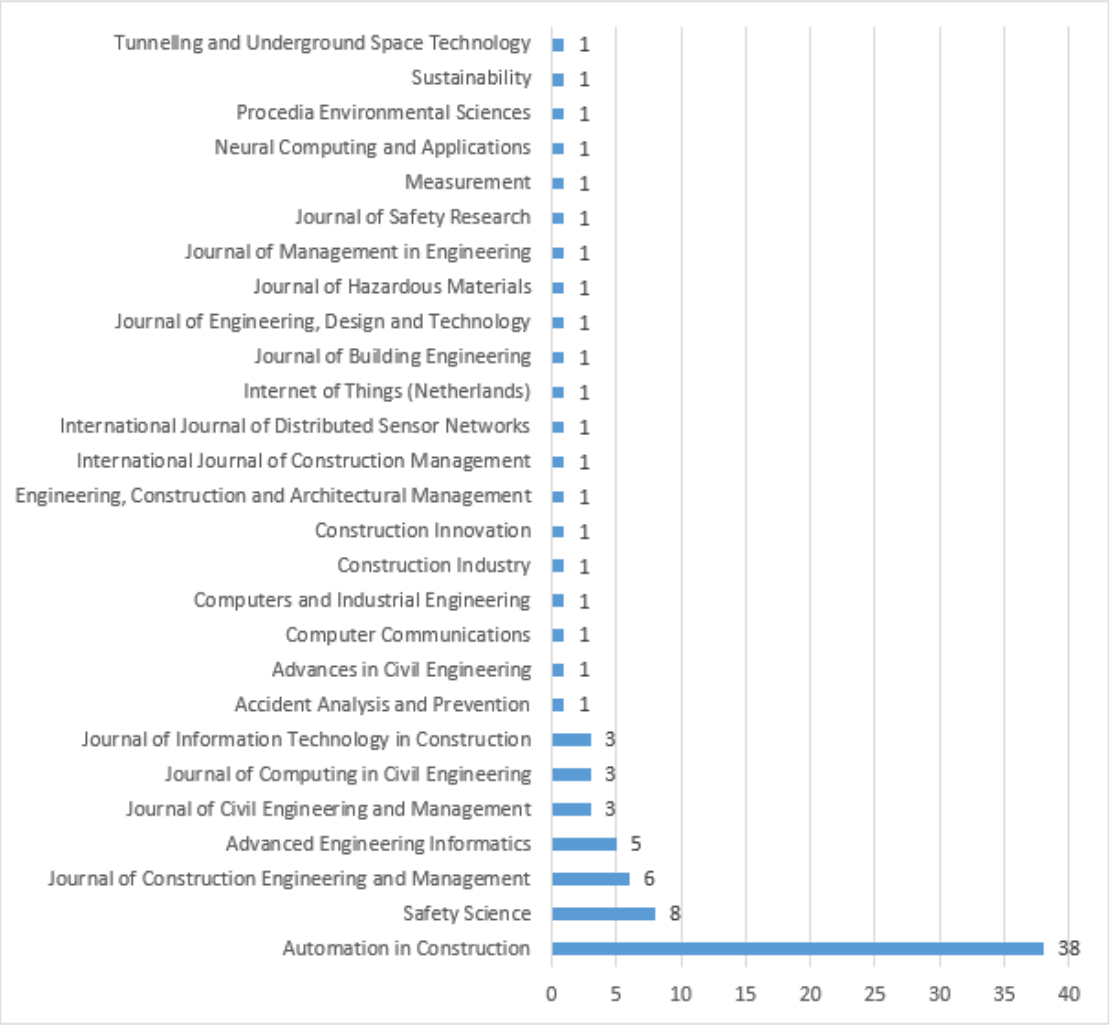
Tablo 4-15 Seçilen Çalışmaların Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı

DERGİ	YAYIN KODU	FREKANS
Accident Analysis and Prevention	M11	1
Advanced Engineering Informatics	M13, M25, M28, M65, M72	5
Advances in Civil Engineering	M78	1

Automation in Construction	M5, M6, M7, M9, M10, M12, M15, M17, M18, M20, M21, M27, M31, M33, M35, M38, M39, M43, M44, M45, M47, M50, M52, M53, M54, M56, M63, M66, M67, M68, M70, M71, M79, M81, M82, M86, M88, M89	38
Computer Communications	M14	1
Computers and Industrial Engineering	M84	1
Construction Industry	M91	1
Construction Innovation	M36	1
Electronic Journal of Information Technology in Construction	M2, M3	2
Engineering, Construction and Architectural Management	M77	1
International Journal of Construction Management	M69	1
International Journal of Distributed Sensor Networks	M19	1
Internet of Things (Netherlands)	M73	1
Journal of Building Engineering	M64	1
Journal of Civil Engineering and Management	M4, M23, M32	3
Journal of Computing in Civil Engineering	M26, M57, M60	3
Journal of Construction Engineering and Management	M1, M8, M42, M49, M51, M58	6

Journal of Engineering, Design and Technology	M41	1
Journal of Hazardous Materials	M76	1
Journal of Information Technology in Construction	M16, M24, M30	3
Journal of Management in Engineering	M29	1
Journal of Safety Research	M87	1
Measurement	M85	1
Neural Computing and Applications	M83	1
Procedia Environmental Sciences	M34	1
Safety Science	M37, M40, M48, M55, M59, M62, M80, M90	8
Sensors	M22, M46, M61	3
Sustainability	M75	1
Tunnelling and Underground Space Technology	M74	1

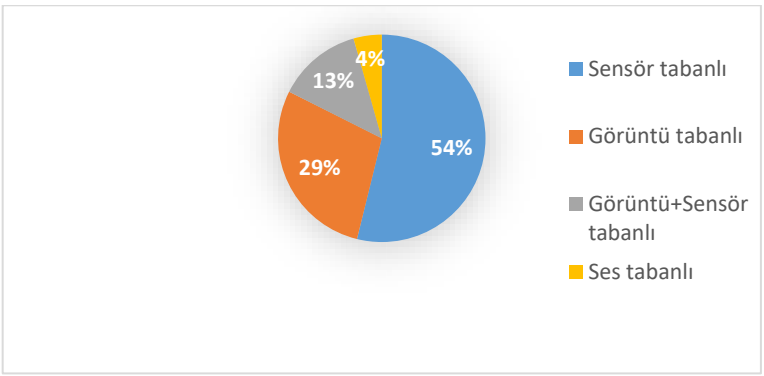
Şekil 4-7'de çalışmaların yayınlandığı dergilerin dağılımı gösterilmiştir. En fazla yayın 38 adetle Automation in Construction dergisinde yayınlanmıştır. Daha sonra 8 yayın ile Safety Science dergisi ikinci sıradadır.



Şekil 4-7 Çalışmanın Yayınlandığı Dergiye Göre Dağılımı

4.1.5. Çalışmaların İzleme Türüne ve Araştırma Yöntemine Göre Dağılımları

Şekil 4-8'de çalışmaların izleme türüne göre oranları gösterilmiştir. %54 ile en fazla sensör tabanlı izleme sistemi çalışmalarda yer almıştır.



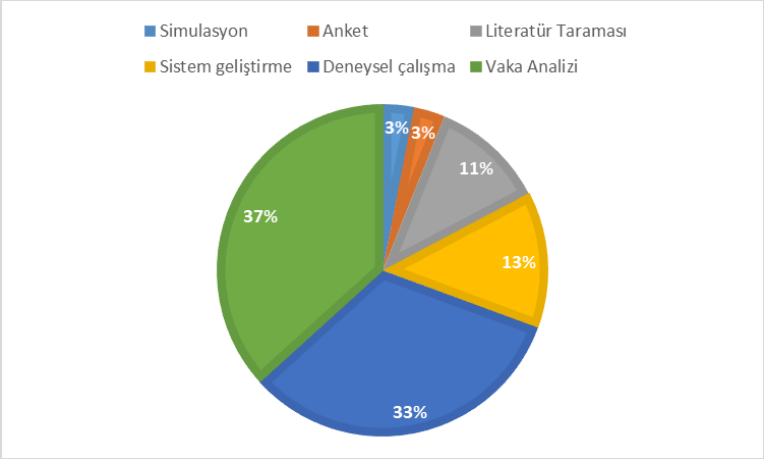
Şekil 4-8 Çalışmaların İzleme Türüne Göre Oranları

Tablo 4-16'da seçilen çalışmaların görüntü tabanlı, sensör tabanlı, ses tabanlı ve görüntü+sensör (hibrit) tabanlı olmalarına göre dağılımları verilmiştir.

Tablo 4-16 Çalışmaların İzleme Türüne Göre Dağılımı

İZLEME TÜRÜ	YAYIN KODU	FREKANS
Sensör tabanlı	B2, B4, M1, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M14, M15, M17, M18, M19, M21, M22, M26, M27, M30, M31, M32, M33, M34, M35, M37, M41, M42, M45, M46, M47, M48, M49, M50, M52, M58, M59, M64, M69, M70, M74, M75, M76, M78, M81, M85, M90	49
Görüntü tabanlı	B5, B6, B7, M2, M8, M13, M16, M25, M28, M29, M39, M40, M44, M60, M61, M62, M66, M68, M72, M77, M79, M80, M84, M86, M87, M89	26
Görüntü+Sensör tabanlı	B1, B3, M20, M36, M43, M53, M54, M56, M65, M83, M88, M91	12
Ses tabanlı	M38, M63, M67, M82	4

Şekil 4-9'da çalışmaların araştırma yöntemine göre oranları, Tablo 4-17'de ise dağılımları gösterilmiştir. Çalışmaların %37'i vaka analizi, %33'ü ise deneysel çalışma olarak bulunmuştur.



Şekil 4-9 Çalışmaların Araştırma Yöntemine Göre Oranları

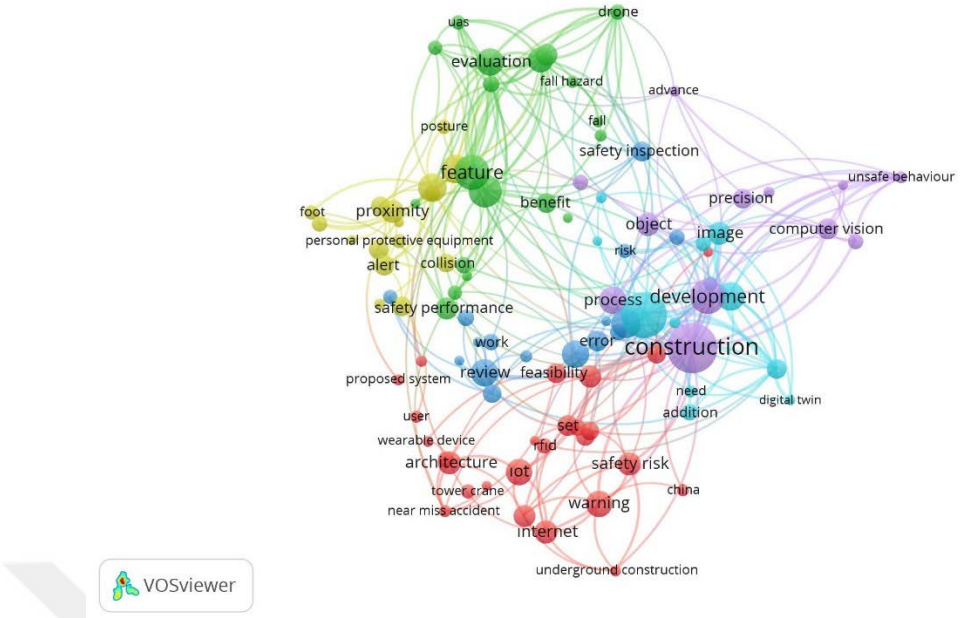
Tablo 4-17 Çalışmaların Araştırma Yöntemine Göre Dağılımı

ARAŞTIRMA TÜRLERİ	YAYIN KODU	FREKANS
Simulasyon	M12, M20, M57	3
Anket	M8, M55, M69	3
Literatür Taraması	M23, M25, M44, M52, M59, M62, M65, M71, M73, M77, M80	11
Sistem geliştirme	M18, M19, M24, M33, M43, M72, M74, M78, M82, M83, M87, M90, M91	13
Deneysel çalışma	B1, B2, B3, B4, B5, B7, M2, M3, M9, M10, M13, M14, M15, M16, M17, M26, M27, M30, M34, M39, M41, M45, M51, M53, M54, M61, M64, M66, M75, M79, M86, M88	32
Vaka Analizi	B6, M1, M4, M5, M6, M7, M11, M21, M22, M28, M29, M31, M32, M35, M36, M37, M38, M40, M42, M46, M47, M48, M49, M50, M56, M58, M60, M63, M67, M68 ,M70 ,M76, M81, M84, M85, M89	36

4.2. BİBLİYOMETRİK ANALİZE AİT BULGULAR

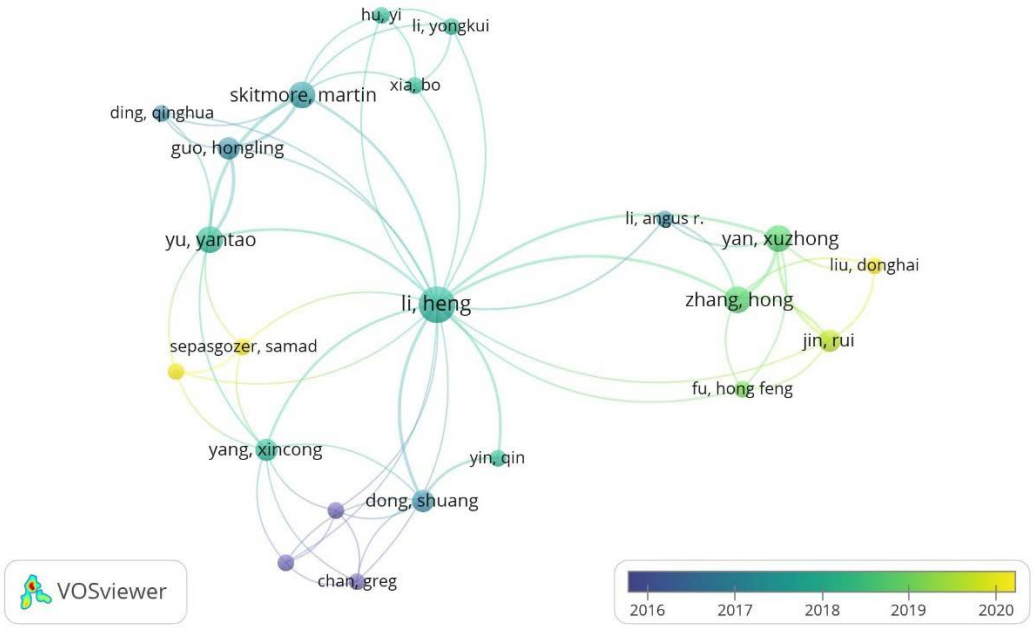
Araştırma kapsamına uygun olan çalışmalar toplanarak Mendeley'de listelenmiştir. Toplamda 98 yayın bilgileri RIS dosyası olarak dışarıya aktarılmıştır. Bu dosya Vosviewer programında içe aktarılıp gerekli ayarlar seçildikten sonra görselleştirmeler elde edilmiştir.

Şekil 4-8'de analiz edilen çalışmaların özet kısmında yer alan kelime ve kelime gruplarının ortak bulunma oranlarına göre görselleştirilmesi yer almaktadır. Kelime öbekleri arasındaki çizgiler bu kelimeler arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Düğümün büyük olması içinde bulunan kelimenin çalışmalarda daha sık yer aldığını gösterir.



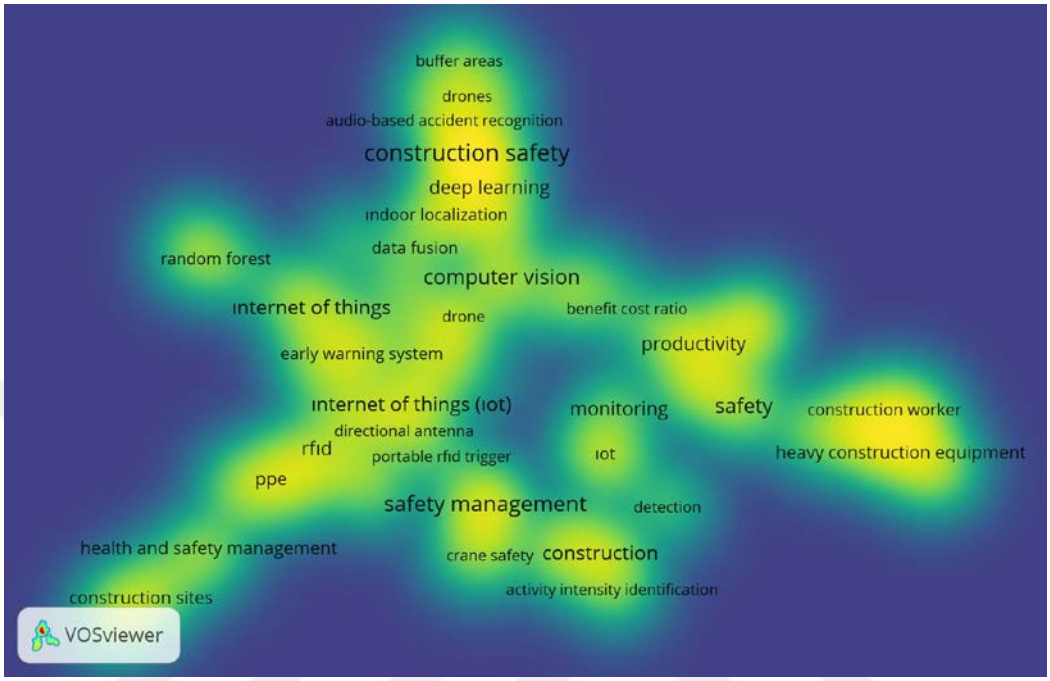
Şekil 4-10 Analiz Edilen Çalışmaların Özet Kısmının Ağ Görselleştirmesi

Şekil 4-9'da ortak yazarlık görselleştirmesi verilmiştir. İçerisinde yazar isimleri yazan düğümlerin rengi hangi yıllarda yazarın ilgili konu hakkında yayın yaptığı bilgisini verir. Düğümler arası çizgiler ise ortak çalışma yapan yazarları göstermektedir.



Şekil 4-11 Analiz Edilen Çalışmaların Ortak Yazarlık Görselleştirmesi

Şekil 4-10'da analiz edilen çalışmaların anahtar kelimelerinin yoğunluk görselleştirmesi verilmiştir. Sarı rengin yoğun olduğu kelime grupları çalışmalarda daha fazla karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4-12 Analiz Edilen Çalışmaların Anahtar Kelime Yoğunluk Görselleştirmesi

4.3. YAYINLARIN SONUÇLARINA AİT BULGULAR

4.3.1. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Avantajlarına Ait Bulgular

M7: İş makinelerinin işçilere çarpmasını engellemek amacıyla oluşturulan sensör tabanlı gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sistemi sayesinde iş kazaları engellenmiştir. Geliştirilen erken uyarı sistemi gürültülü şantiye ortamında bile işitsel, görsel ve titreşen alarmlar yoluyla tehlikeli durumda işçiyi uyarmada etkili olmuştur.

M22: Bu çalışmada geliştirilen kule vinçler için güvenlik yönetim sistemi; sensör tabanlı izleme ile bir şantiyede bulunan 6 adet kule vinci izlemiştir ve olası kaza risklerinde sistem uyarı vererek kazaları önlemiştir. Çarpışma ve yasak bölge alarmlarının en çok görüldüğü bu bir yıllık çalışmanın sonunda hiç kaza olmamıştır.

M46: Yeraltı inşaatlarında kullanılması için tasarlanan sensör tabanlı izleme sistemi BIM ile entegre edilmiş ve saha testi yapılmıştır. Tehlikeli gaz birikiminde BIM modeli havalandırmayı otomatik olarak açabilecek ve işçileri olası kazalara karşı uyaracaktır. Kablosuz sensörler bu

sistemin en büyük avantajlarındandır. Sabit izleme sistemleri ile karşılaştırıldığında; kablo bakımı gerektirmez, hızlı bir şekilde uygulanabilir, ölçüm yerleri değiştirilebilir ve sensör sayısı arttırılabilir.

M69: IoT ağı; IoT sensörlerinin uygun maliyetleri ve sistemin kolay kurulum/yer değiştirme özellikleri nedeniyle inşaat şirketleri için daha uygundur. IoT sensör tabanlı gerçek zamanlı izleme sistemi, geleneksel manuel güvenlik sistemine göre %78 ve geleneksel sensör tabanlı sisteme göre %65 maliyet tasarrufu sağladığı bu çalışmanın sonucu olarak bulunmuştur.

M82: Görüntü tabanlı izleme sistemlerinin kurulum maliyetinin yüksekliği, veri boyutunun çok büyük olması ve bazen kamera açılarından istenilen bölgeleri gözlemlemenin mümkün olmaması gibi nedenlerden dolayı bu çalışmada ses tabanlı izleme sistemi kullanılmıştır. İş makinelerinin izlenmesi sağlanmıştır ve toplanan ses verileri %99 doğruluk oranına ulaşmıştır.

M90: Sadece RFID cihazlarını programlayarak ve temel ayarları yaparak çeşitli boyut ve şekillerde koruma bölgeleri oluşturma yeteneğine sahiptir. Ayrıca, LoRa'yı kullanarak verileri minimum bant genişliği tüketimiyle gerçek zamanlı olarak daha verimli bir şekilde yayabilir.

M91: Dijital ikiz tabanlı izleme ve erken uyarı sistemi Çin'de bir tünel inşaatında iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak amacıyla denenmiş ve tünelde kazı yapılırken çökme kazası başarılı bir şekilde önceden tahmin edilip erken uyarı sinyalleri verildi. Bu sayede iş kazası yaralanma dahi olmadı.

4.3.2. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Kısıtlarına Ait Bulgular

M8: İnşaat iş güvenliğinin izlenmesinde kamera kullanımı hakkında anket yapılmıştır. Bu ankette inşaatta kamera teknolojisinin daha yaygın kullanılmasının önündeki en büyük engel olarak fiyatı söylendi. Kameraların birinci öncelik olarak görülmemesi, sorumlulukla ilgili endişeler ve kamera teknolojisinin neden kullanıldığına dair yanlış anlamalar diğer engeller olarak belirlenmiştir.

M38: Şantiyede seçilen bir iş makinesinin tek mikrofon ile izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Ses tabanlı izleme sistemlerinde her iş makinesi ayırt edilememektedir. Ayrıca büyük şantiyelerde çok daha fazla mikrofona ihtiyaç vardır ve çevresel gürültü çok olacağı için iş makinesinin sesini ayırt etmek zorlaşacaktır.

M40: İHA kullanılarak görüntü tabanlı şantiye izlemesinde en büyük kısıtlardan biri hava durumudur (yağmur ve rüzgârlı hava). Projenin karmaşıklığı ve büyüklüğünden dolayı tek başına bir İHA ile izleme yapılması oldukça zordur.

M46: Kablosuz sensör ağı (WSN) ve BIM ile sensör tabanlı izleme sistemi geliştirilmiştir. Ancak güç kaynağı ve ağ ömrü WSN'in ana kısıtlarındandır.

M62: Görüntü-tabanlı izleme sistemleri üzerine yapılan bu literatür taramasında aydınlatma koşulları, blokajlar, kamera yerleşimi ve görüş mesafesi gibi teknik sınırlamaların olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, her şantiyenin koşulları farklı olması sebebiyle izleme sisteminin yapısının şantiyeye göre değişmesi gerekmektedir.

M67: Ses tabanlı izleme sistemi için güvenlik veritabanı bulunmaması en büyük kısıtlardandı. Bu yüzden bu çalışmada öncelikli olarak veri setleri elde edilmiştir. Ancak bu veri setlerinin doğruluğu şüphelidir. Çünkü aynı faaliyeti yapan iki işçi farklı marka veya modellerde ekipman kullandıklarında yayınlan sesler farklı olacaktır. Ayrıca ortamda çoklu seslerin bulunması tek tek seslerin ayırt edilmesini zorlaştırır.

M80: Şantiyelerde iş güvenliğini sağlamak adına yapılan İHA uçuşları amacının dışına çıkabilir. Bu literatür taramasında şantiyede İHA kullanımının kısıtları verilmiştir. İHA uçuşları ile işçilerin sürekli denetimde hissetmeleri onları rahatsız edebilir. Ayrıca, kullanan kişi deneyimli değil ise işçiler, nesneler ile çarpışma riski vardır. Çevre koşullarına bağlı olarak arızalanabilir.

M81: Bu çalışmada sadece işçinin bel sakatlanma riski üzerine durulmuştur. Ancak işçilerin diz, omuz gibi bölgelerinde de yoğun çalışma ve duruş bozuklukları nedeniyle sakatlanma riskleri oluşuyor. Ayrıca, kullanılan sensörde kendi kendine kapanma ve sınırlı menzilde çalışma gibi sınırlandırmaları bulunmuştur.

M90: RFID sisteminin aynı radyo frekansı aralığında çalışan başka bir radyo sistemi tarafından engellenmesi ve sistemin etiket olmadan şantiyeye giren bir kişi veya etiketi olmayan düşen nesne gibi diğer hareketli nesneleri algılayamamasıdır.

4.3.3. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Gelecekteki Çalışma Önerilerine Ait Bulgular

Bilimsel bir yayının gelecekteki çalışma bölümünde, yazarlar mevcut çalışmalarını, metodolojilerini geliştirmenin yollarını açıklar ve araştırmacılara yeni çalışma konuları veya fikirleri hakkında öneriler sunar. Çalışmalarda verilen gelecek çalışma önerileri aşağıda verilmiştir:

M3: Çarpışmayı önleyecek sensör tabanlı sistem, ortamdaki nesneleri algılayıp hareket edenlerin yörüngelerini izler ve gerçek zamanlı olarak çarpışma olmayan hareket rotası üretir. Bu sistem laboratuvar ortamında denenmiştir. Karmaşık ve dinamik şantiyelerde daha gerçekçi deneylerin yapılması gerekmektedir. Ağır ekipmana monte edilen sensörlerin optimum sayısı ve konumlarının belirlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

M18: Sistemdeki çok kaynaklı veri miktarı sürekli arttığından, veri ambarındaki veri madenciliği aracılığıyla güvenlik riskine ilişkin bilgiler geliştirilebilir. Gelişen veriler sayesinde erken uyarı kuralları daha iyi hale gelecektir. Bu çalışmada sistem iki boyutlu görselleştirmeye dayanmaktadır. Metro inşaatında gelişen güvenlik riskini simüle etmek için BIM teknolojisi tarafından boyutu genişletilebilir.

M33: Sıcak ve nemli havaların işçilerin sağlıkları üzerindeki etkisi sebebiyle erken uyarı sistemi geliştirilmiştir. Kalp atışı gibi parametreler ölçülerek olası bayılma, yorulma gibi iş kazasına sebebiyet verecek durumların önlenmesi amaçlamıştır. Mevcut sistem, sadece bir bölgedeki demir işçilerinin verileri ile elde edilmiştir. Farklı iklimlerdeki veya şantiyede farklı işler yapan işçiler, ısıya karşı farklı derecelerde duyarlılığa sahip olabilir. Kapsamlı bir görüş sunabilmek için farklı iklimlerde veya diğer işlerde araştırmalar yapılmalıdır.

M38: Seçilen inşaat iş makinelerinin ses tabanlı izleme sistemi kullanılarak ayırt edilmesi ve sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada tek mikrofon kullanılmış ve tek makineye odaklanılmıştır. Çoklu mikrofon kullanarak tüm şantiyedeki iş makinelerinin izlenmesi, görüntü ve sensör tabanlı izleme sistemleri ile birlikte çalışılması önerilmiştir.

M70: IoT-tabanlı izleme sistemi; sensör bilgilerinin BIM ile bağlanmasıyla üç boyutlu yer tespiti, takip ve yetkisiz girişler izlenebilir. Her işçinin baretine kamera ekleyerek arttırılmış gerçeklik ile akıllı telefonlardan izleme sağlanabilir.

M74: Tünel inşaatında çökmelerin neden olduğu kazaları önlemek amacıyla kurulan IoT-tabanlı izleme sistemi farklı jeolojik koşulları ve makineleri içeren farklı bir tünel inşaatında kullanılırken veriye dayalı tahminler ve uyarılar doğru olmayabilir. Bu yüzden gelecekteki çalışmalarda, veriye dayalı bu modelin uygulama kapsamlarını geliştirmek için daha fazla veri kümesi toplanmalıdır.

M81: Gelecekteki araştırmalar, önerilen modeli güçlendirmek için farklı beceri seviyelerine, deneyime ve demografik özelliklere sahip inşaat işçilerini ve en çok yapılan inşaat faaliyetini içermelidir. İşçiler sağlığını ve güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde çalışmayı öğrenebilmeleri için VR ortamında güvenli inşaat faaliyetleri eğitimi verilebilecek çalışmalar yapılabilir.

M90: Bu çalışmanın gelecekteki çalışması, sunucu üzerinde bir veritabanı sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sayede veritabanı hem verileri yönetip analiz edecek hem de bulut üzerinden yönetici her an verilere ulaşacaktır. Sisteme kamera da eklenerek hibrit izleme sistemi kurulup avantajlarından yararlanılabilir.

M91: Tünel inşaatında iş sağlığı ve güvenliği için geliştirilen dijital ikiz tabanlı sistemin daha iyi sonuç verebilmesi için gelecekteki çalışmalarda şantiyedeki algılama/izleme cihazlarının artırılması ve tünel inşaatı konusundaki veritabanlarının geliştirilmesi sağlanabilir.

5. TARTIŞMA

İnşaat sektörü ve ilgili diğer sektörler çok fazla insan gücü isteyen işlerden oluşur ve bu nedenle işçi, mühendis ve operatör gibi insan kaynağı gerçekleştirilecek projelerin olmazsa olmaz parçalarıdır. İş gücü yoğun olan işler için sağlık ve güvenlik önem verilmesi gereken konuların en başında gelmektedir.

Gerçek zamanlı izleme sistemleri tutarlı bilgileri toplayan ve yöneticiler için şantiye güvenlik denetim ve yönetim kararları alabilmeleri için önemli bir araç olabilir. Proje düzeyinde güvenlik endişesi duyulan alanların tanımlanması ve bu alanlara uygun sensörlerin yerleştirilmesiyle değişikliklerin ve güvenlik koşullarının iyileştirilmesi gerçekleştirilebilir. Ancak, şantiye ve proje düzeyinde kullanılacak sensörlerin arasında tutarlılık ve ortak veri toplama ve değerlendirme sisteminin kurulmaması istenilen etkiyi göstermeyebilir.

Şantiyenin en riskli çalışma alanları önlem alınmamış ya da alınan önlemlerin yeterli olmadığı zeminden yüksek çalışma sınırlarıdır. İnşaat sektöründe, yüksekten düşme tipi iş kazaları en yüksek kaza oranlarına sahiptir. Bu nedenle yüksekten düşme tipi iş kazaların da ölümle sonuçlanma oranı en yüksektir. Bu yüzden bu tip iş kazalarının olabileceği alanların ve bu tehlikeli alanlarda çalışan işçilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ile olası kazalar önlenebilir.

Şantiye gerçek zamanlı izleme sistemleri ile gerçekleştirilen denetimlerinin amacı, şantiyelerdeki fiziksel çalışma koşullarını ve işçi güvenlik davranışını değerlendirmek ve güvenlik seviyesini artırmaktır. Gerçek zamanlı izleme sistemleri, enerji kesintileri ve olası arızalar dışında zaman sınırı olmaksızın sürekli veri sağlarlar ve meydana gelecek kazaların tespitini ve erken uyarıları yaparlar.

İşçilere, şantiyede kullanılacak gerçek zamanlı izleme sistemlerinin prosedürleri hakkında bilgilendirmeler yapılmalıdır. Kullanım hataları ve yoğun çalışma sırasında sistemin zarar görme olasılığı değerlendirilmeli ve buna yönelik önlemler alınmalıdır. Şantiyede görevli ekiplerin, şantiyede belirli güvenli olmayan davranışlar sağlamamaları, bunun yerine iş sahasında bir güvenlik bilinci aşılamak için yönetimin büyük çaba harcaması gerekmektedir.

İzleme sistemleri; görüntü tabanlı, sensör tabanlı ve ses tabanlı olmak üzere şantiyenin koşullarına göre üç farklı türde olabilir. Bu izleme sistemleri hibrit olarak kullanılabilir. Bu sayede birbirlerinin eksiklerini tamamlar ve daha güvenli bir sistem ortaya çıkarırlar. BIM,

dijital ikiz gibi teknolojilerinde izleme sistemlerine entegre edilmesiyle şantiyedeki iş sağlığı ve güvenliği çok daha iyi bir şekilde koruma altına alınmış olur. Ses tabanlı izleme sistemleri başka endüstrilerde daha uygunken inşaat sektöründe şantiyenin büyüklüğü ve ortam gürültüsünden dolayı istenilen sonuçlara ulaşmak güçtür. Ancak diğer izleme sistemlerine yardımcı olarak eklenirse daha faydalı olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde yeni teknolojilere bağlı olarak bazı değişimler yaşanmaktadır. Kullanılan ekipmanlar ve yeni malzemeler gibi teknolojinin yardımıyla, zaman alan işler daha hızlı yapılabilmektedir. Söz konusu gelişmeler, geçmişte hayal olarak tanımlanan projelerin hayata geçirilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte gelişen teknoloji ve ekipmanlar daha karmaşık bir çalışma ortamları oluşturmakta ve bu da daha dikkatli ve uygun kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır.

Şantiyede kullanılan inşaat malzemeleri, ekipmanlar, aletler ve gerçekleştirilen faaliyetlerin hepsinin kendilerine ait farklı olasılık ve şiddette riskleri vardır. İnşaat şantiyelerindeki başlıca ölüm veya ciddi yaralanma nedenleri arasında yüksekten düşmeler, şantiyede kullanılan ekipmanların birbiriyle ve çalışanlarla çarpışmaları, düşen malzemeler sayılabilir. Şantiyede çalışanların güvenli ve güvensiz davranışlarının izlenmesi ve güvenli olmayan davranışların tespiti ve alınacak önlemler ve çalışanlara yönelik gerçekleştirilecek eğitimlerin düzenlenmesi işçi sağlığı ve güvenliği açısından önemlidir. Bir projeye başlamadan önce, bu riskleri azaltmak için prosedürler oluşturmak üzere tüm olası ilgili riskler tanımlanmalıdır. İnşaat sırasında, herkesin bunlara uyması için prosedürlerin uygulanıp uygulanmadığını kontrol etmek için denetimler yapılmalıdır. Riskleri, olası kazaları ve kazaların gerçekleşmeden önlemeyi tartışmak için güvenlik toplantıları düzenlenmelidir. Daha önce meydana gelmiş kazaların temel nedenlerinin çalışanlarla paylaşılması, bunların tekrarlanmalarını önlemek için uygun önlemlerin alınması projeler için önemlidir.

Çalışanları ödüllendirmek ceza vermekten, istenmeyen davranışların önlenmesi açısından daha iyi sonuç vermektedir. İnsanlar belirli davranışları için ödüllendirildiklerinde, bu davranışı tekrar etme eğilimindedirler. Bu nedenle, güvenli davranışlar sergileyen çalışanlar ödüllendirilebilir. Çalışanların morallerinin yüksek olması çalışırken daha dikkatli olmalarını sağlar.

Şantiyelerin büyümesi, birlikte çalışanların sayılarının ve iş kazalarının artması nedeniyle işyerlerinde işçi sağlığı ve güvenliği önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin amaçları; tehlikeleri ortadan kaldırmak, riskleri azaltmak ve çalışanları iş

kazaları ve hastalıklarından korumaktır. Bununla birlikte hasarlara yol açabilecek alet ve ekipmanları düzenli ve güvenli hale getirerek sağlıklı bir çalışma alanı sağlamak işçi sağlığını koruma amacıyla oluşturulması gereken çalışmalardır.

İşçilerin, kendi güvenliğini sağlamak için kullanılan sistemler hakkında ne hissettiklerine dair bir araştırmanın da gerçekleştirilmesi yararlı olabilir. Bu tür araştırmalar yoluyla elde edilecek bilgiler, şantiyede elde edilen güvenlik kültürünün ve güvenlik yönetimi çabalarının düzeyi hakkında iyi bir veri kaynağı olabilir.

İnşaat sektöründe iş güvenliği açısından görüntü, video, ses gibi veri setleri yeterli değildir. İzleme ve erken uyarı sistemleri kendi kendisine karar verebilmek ve gerekeni yapabilmek için yeterli sayıda veri setlerine ihtiyaç duyarlar. Verilerin elde edilmesini sağlayıp daha tutarlı sistemler kurulabilir.

Her proje için farklı cihaz ve sistemler gerektiği için proje başında yetkili kişilere kendi projelerinin parametrelerine göre izleme ve erken uyarı sisteminde hangi sensör veya teknolojilerin gerektiği, bunların miktarları gibi ön bilgi alabilecekleri uzman sisteme ihtiyaç vardır. Bu sayede maliyetler öngörülebilir ve uygulamakta sorun yaşanmaz.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, H. Ö. (2021) *Covid-19 Pandemisi ve Sonrasında İnşaat Projelerinde Risklerin Algısı ve Yönetimi*. İstanbul Universitesi-Cerrahpaşa.

AFAD (2020a) *Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü*. Available at: https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu (Erişim: 30 Eylül 2020).

AFAD (2020b) *Doğal Afetler*. Available at: https://www.afad.gov.tr/afadem/dogal-afetler (Erişim: 30 Eylül 2020).

Ajinkya, M. ve Bandegiri, A. (2015) "International Research Real-Time Health Monitoring System: A Review". doi: 10.5121/ijcnc.2015.7302.

Akbulut, M. C. (2018) *İSG Tarihsel Gelişim ve İlgili Kuruluşlar*. Available at: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/101761/mod_resource/content/1/unite_1.pdf (Erişim: 17 Haziran 2020).

Akçay, C. ve Giran, Ö. (2021) "İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modelleme ile İş Güvenliği Tedbirleri ve Maliyetlerinin Örnek Bir Vaka Üzerinden İncelenmesi", *Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 14(4), ss. 950–960.

Altın, M. ve Taşdemir, Ş. (2018) "İş Sağlığı ve Güvenliğine (İSG) Giriş, Tanımlar, Önemi, Tarihsel Gelişim Süreci, Uluslararası Sözleşme ve Yönergeler", içinde *İş Sağlığı ve Güvenliği*. Konya: Eğitim Yayınevi, ss. 7–38.

Arslan, İ. ve Karagül, S. (2020) "Küresel Bir Tehdit (COVID-19 Salgını) ve Değişime Yolculuk", *Üsküdar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (10), ss. 1–36. doi: 10.32739/uskudarsbd.6.10.67.

Awolusi, I. *vd.* (2019) "Enhancing Construction Safety Monitoring through the Application of Internet of Things and Wearable Sensing Devices: A Review", *Computing in Civil Engineering 2019: Data, Sensing, and Analytics - Selected Papers from the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019*, (June), ss. 530–538. doi:

10.1061/9780784482438.067.

Balaban, O. (2011) "İnşaat sektörü neyin lokomotifi?", *Birikim*, 270, ss. 19–26.

Bastian, M., Heymann, S. ve Jacomy, M. (2009) "Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks.", *Icwsm*, 8, ss. 361–362.

Bhardwaj, H. *vd.* (2020) "Principles and Foundations of Artificial Intelligence and Internet of Things Technology", *Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues*, ss. 377–392. doi: 10.1016/B978-0-12-818576-6.00020-4.

Bohn, J. S. ve Teizer, J. (2010) "Benefits and Barriers of Construction Project Monitoring Using High-Resolution Automated Cameras", *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(6), ss. 632–640. doi: 10.1061/ASCECO.1943-7862.0000164.

Burton, R. E. ve Kebler, R. W. (1960) "The 'half-life' of some scientific and technical literatures", *American documentation*, 11(1), ss. 18–22.

Chen, C. (2006) "CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), ss. 359–377. doi: 10.1002/asi.20317.

Cheng, C. F. *vd.* (2016) "Audio signal processing for activity recognition of construction heavy equipment", *ISARC 2016 - 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C), ss. 642–650. doi: 10.22260/ISARC2016/0078.

Cheng, C. F. *vd.* (2017) "Activity analysis of construction equipment using audio signals and support vector machines", *Automation in Construction*. Elsevier, 81(June), ss. 240–253. doi: 10.1016/j.autcon.2017.06.005.

Cheng, T. *vd.* (2013) "Data Fusion of Real-Time Location Sensing and Physiological Status Monitoring for Ergonomics Analysis of Construction Workers", *Journal of Computing in Civil Engineering*. American Society of Civil Engineers (ASCE), 27(3), ss. 320–335. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000222.

Çiçek, Ö. ve Öçal, M. (2016) "Dünyada ve Türkiye'de İş Sağlığı ve İş Güvenliğinin Tarihsel

Gelişimi", *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 5(11), ss. 106–129.

Çilengiroğlu, O. (2006) *AB'ye uyum sürecinde Türkiye'de iş sağlığı ve iş güvenliği*. Dokuz Eylül Üniversitesi.

ÇSGB (2022) *Uluslararası İSG Kuruluşları*. Available at: https://www.csgb.gov.tr/isggm/hizmetlerimiz/uluslararasi-isg-kuruluslari/.

ÇSGB, İ. S. ve G. G. M. (2010) "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu". Available at: https://www.csgb.gov.tr/medias/4583/projeraporu02.pdf (Erişim: 25 Ekim 2022).

Demir, A. ve Öz, A. (2018) "Teolojik Açıdan İş Kazalarının İncelenmesi", *European Journal of Science and Technology*, (14), ss. 189–197. doi: 10.31590/ejosat.459848.

Developing Early Warning Systems: A Checklist EWC III Third International Conference on Early Warning (2006). Bonn, Germany.

Ding, L. Y. *vd.* (2013) "Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things", *Automation in Construction*. doi: 10.1016/j.autcon.2013.08.017.

Ding, L. Y. ve Zhou, C. (2013) "Development of web-based system for safety risk early warning in urban metro construction", *Automation in Construction*, 34, ss. 45–55. doi: 10.1016/j.autcon.2012.11.001.

Du, C. ve Zhu, S. (2012) "Research on urban public safety emergency management early warning system based on technologies for the internet of things", *Procedia Engineering*, 45, ss. 748–754. doi: 10.1016/j.proeng.2012.08.234.

Dyskin, A. V. *vd.* (2018) *Computational monitoring in real time: review of methods and applications, Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. Springer International Publishing. doi: 10.1007/s40948-018-0086-6.

Encyclopedia.com (2019) *Real-Time Monitoring and Reporting*. Available at: https://www.encyclopedia.com/environment/energy-government-and-defense-magazines/real-time-monitoring-and-reporting (Erişim: 07 Temmuz 2021).

Eurostat (2008) *"NACE Rev. 2 – Statistical classification of economic activities in the European Community", Office for Official Publications of the European Communities*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF.

Eyo, E. *vd.* (2015) "Development of Landslide Deformation Monitoring and Analysis System: A Proof of Concept Study", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. Maxwell Scientific Publication Corp., 11(9), ss. 927–933. doi: 10.19026/rjaset.11.2132.

Friend, M. A. ve Kohn, J. P. (2018) *Fundamentals of Occupational Safety and Health*. Seventh Ed. London: Lanham: Bernan Press.

Gerek, H. N. (2008) *İş Sağlığı ve İş Güvenliği*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi AÖF Yayınları.

Glass, G. V. (1976) "Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research", *Educational Researcher*, 5(10), ss. 3–8. doi: 10.3102/0013189x005010003.

Gökçe, A. (2020) "İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından İş Güvenliği Kültürünün Önemi Üzerine Bir Odak Grup Çalışması", *Ergonomi*, 3(2), ss. 82–95. doi: 10.33439/ergonomi.749138.

Gökhan Yılmaz (2017) "Restoranlarda Bahşiş İle İlgili Yayınlanan Makalelerin Bibliyometrik Analizi Bibliometrics Analysis of Published Papers on Tipping in Restaurants", *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergis*, 14(2), ss. 65–7929. Available at: http://dergipark.gov.tr/download/article-file/335844.

Golparvar-Fard, M. *vd.* (2011) "Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques", *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 20(8), ss. 1143–1155. doi: 10.1016/j.autcon.2011.04.016.

HSE (2021) *Factors to Consider*. Available at: https://www.hse.gov.uk/involvement/factorstoconsider.htm (Erişim: 01 Aralık 2022).

ILO (2015) *Investigation of Occupational Accidents and Diseases: A Practical Guide for Labour Inspectors, International Labour Office*. Available at:

http://www4.fct.unesp.br/ceget/PEGADA112/10OPCIT1102.pdf.

İSGKanunu (2012) "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu".

Jan van Eck, N. ve Waltman, L. (2022) "VOSviewer Manual".

Karaman, A. E., Çivici, T. ve Kale, S. (2011) "İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinin İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi", içinde *3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*. Çanakkale, ss. 85–95.

Katole, S. ve Bhute, Y. (2017) "A Review : The Real Time Water Quality Monitoring System based on IoT Platform", *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 5(2), ss. 302–305. Available at: http://www.ijritcc.org/download/browse/Volume_5_Issues/February_17_Volume_5_Issue_2/1491286070_04-04-2017.pdf.

Kim, C. *vd.* (2006) "Human-Assisted Obstacle Avoidance System Using 3D Workspace Modeling for Construction Equipment Operation", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(3). Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2006)20:3(177).

Koçak, O. ve Koray, N. (2018) "İş Sağlığı ve Güvenliği Konusunda Avrupa Birliği Uygulamaları ve Türkiye'ye Yansımaları", *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 8(15), ss. 8–39. doi: 10.26466/opus.376554.

Kurt, P. (2020) *İş Sağlığı ve Güvenliği Kavram ve Kurallarının Gelişimi*. Available at: https://slideplayer.biz.tr/slide/18028592/.

Merton, R. K. (1968) "The Matthew effect in science", *Science*, 159(3810), ss. 56–63.

Naticchia, B., Vaccarini, M. ve Carbonari, A. (2013) "A monitoring system for real-time interference control on large construction sites", *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 29, ss. 148–160. doi: 10.1016/j.autcon.2012.09.016.

Paudel, N. ve Neupane, R. C. (2021) "A general architecture for a real-time monitoring system based on the internet of things", *Internet of Things (Netherlands)*. Elsevier B.V., 14, s. 100367. doi: 10.1016/j.iot.2021.100367.

Persson, O. (1994) "The Intellectual Base and Research Fronts of JASIS 1986-1990.",

Journal of the American Society for Information Science, 45(1), ss. 31–38.

Persson, O., Danell, R. ve Schneider, J. W. (2009) "How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis", *Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday*, 5, ss. 9–24.

Plackett, R. L. (1958) "Studies in the History of Probability and Statistics: Vii. The Principle of the Arithmetic Mean", *Biometrika*, 45(1–2), ss. 130–135. doi: 10.1093/biomet/45.1-2.130.

Polat, S. ve Ay, O. (2016) "Meta-synthesis: A Conceptual Analysis", *Journal of Qualitative Research in Education*, 4(2), ss. 1–25. doi: 10.14689/issn.2148-2624.1.4c2s3m.

Pratt, J. G. *vd.* (1940) *Extra-sensory perception after sixty years: A critical appraisal of the research in extra-sensory perception*. Henry Holt and Company. doi: 10.1037/13598-000.

Price, D. J. D. S. (1965) "Networks of scientific papers", *Science*, ss. 510–515.

Qasim, M. (2017) "Sustainability and Wellbeing: a Scientometric and Bibliometric Review of the Literature", *Journal of Economic Surveys*, 31(4), ss. 1035–1061. doi: 10.1111/joes.12183.

"Report on Certain Enteric Fever Inoculation Statistics" (1904) *BMJ*, 2(2288), ss. 1243–1246. doi: 10.1136/bmj.2.2288.1243.

Rezazadeh Azar, E., Dickinson, S. ve McCabe, B. (2013) "Server-customer interaction tracker: Computer vision-based system to estimate dirt-loading cycles", *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(7), ss. 785–794. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000652.

Roberts, D., Bretl, T. ve Golparvar-Fard, M. (2017) "Detecting and Classifying Cranes Using Camera-Equipped UAVs for Monitoring Crane-Related Safety Hazards", içinde *Computing in Civil Engineering 2017*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, ss. 442–449. doi: 10.1061/9780784480847.055.

SGK (2022). Available at: https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/ (Erişim: 15 Kasım 2022).

Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu (2006) "5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu".

Süzek, S. (2011) *İş Hukuku*. 7. Basım. İstanbul: Beta Yayınları.

Tan, O. (2008) "Şantiyelerde Oluşan İş Kazalarının İşverene Maliyeti ve Hesaplama Yöntemleri". Available at: http://www.oktaytan.net/isverenemaliyeti.pdf (Erişim: 15 Kasım 2022).

TÜİK (2022). Available at: https://www.tuik.gov.tr/ (Erişim: 15 Kasım 2022).

Umer, W. *vd.* (2018) "Development of a tool to monitor static balance of construction workers for proactive fall safety management", *Automation in Construction*. Elsevier, 94(August), ss. 438–448. doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.024.

Valero, E. *vd.* (2017) "Analysis of construction trade worker body motions using a wearable and wireless motion sensor network", *Automation in Construction*. Elsevier, 83(July), ss. 48–55. doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.001.

Visser, S. J. ve Dawood, A. S. (2004) "Real-time natural disasters detection and monitoring from smart earth observation satellite", *Journal of Aerospace Engineering*, ss. 10–19. doi: 10.1061/(ASCE)0893-1321(2004)17:1(10).

Wang, H. *vd.* (2012) "Construction and application of real-time monitoring system of landslide", içinde *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer, London, ss. 15–23. doi: 10.1007/978-1-4471-2386-6_3.

Wikipedia (2022) *Fourth Industrial Revolution*. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution (Erişim: 25 Kasım 2022).

Yasul, Y. (2019) "İş Sağlığı ve Güvenliği Tarihsel Gelişimi".

Yi, W. *vd.* (2016) "Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study", *Automation in Construction*. Elsevier, 62, ss. 101–113. doi: 10.1016/j.autcon.2015.11.003.

Yılmaz, Ö. H. (2012) *İşyeri Hekimliğinde İnsan Gücü Planlaması İçin İş Analizi ve Simülasyon Yaklaşımı*. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zhang, M., Shi, R. ve Yang, Z. (2020) "A critical review of vision-based occupational health and safety monitoring of construction site workers", *Safety Science*. Elsevier, 126(February),

s. 104658. doi: 10.1016/j.ssci.2020.104658.

Zhou, C. ve Ding, L. Y. (2017) “Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies”, *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 83, ss. 372–389. doi: 10.1016/j.autcon.2017.07.005.

EKLER

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801180620-Tugce Altınkaynak Akıncı

ORİJİNALLİK RAPORU

%20	%17	%10	%11
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
3	eprints.qut.edu.au İnternet Kaynağı	%1
4	k.ogren-sen.com İnternet Kaynağı	%1
5	www.nature.com İnternet Kaynağı	%1
6	avesis.istanbulc.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
7	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	%1
8	ouci.dntb.gov.ua İnternet Kaynağı	<%1
9	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Tuğçe ALTINKAYNAK AKINCI
(İmza)