

Teknoloji, Şantiyelerde İş Sağlığı ve Güvenliğinin Kaderini Değiştirebilecek mi? Literatür ve Endüstriyel Uygulamalar Üzerinden Bir İnceleme

Can Technology Change the Destiny of Occupational Health and Safety on Construction Sites? A Review on Literature and Industrial Applications

Mustafa YILMAZ , Serkan YILDIZ 

ÖZET

Hayatımızın her alanına giren elektronik ve bilgisayar teknolojilerinden diğer tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) 'nin sağlanmasına yönelik yararlanma çabaları, son yıllarda başta gelişmiş ülkelerde olmak üzere tüm dünyada artış göstermektedir. İnşaat sektörü, ülkemizde iş kazası sonucu yaralanma ve ölümlerin en sık yaşandığı sektörlerin başında gelmektedir. Bu açıdan sektörde İSG'nin sağlanması için diğer her türlü imkânın yanında teknolojik yeniliklerin de devreye sokulması önemlidir. Bu noktadan hareketle gerçekleştirilen bu çalışmada, çeşitli veri tabanları üzerinden "teknoloji" "inşaat sektörü" ve "iş sağlığı ve güvenliği" anahtar kelimeleri kullanılarak kapsamlı bir tarama yapılmış ve inşaat sektörüne yönelik İSG teknolojileri belirlenmiştir. Belirlenen bu teknolojiler, kullanım alanlarına göre gruplandırılarak literatürdeki uygulamaların yanı sıra, sahada kullanılan ticari uygulamalar da incelenmiştir. Çalışma, inşaat sektöründe İSG'nin sağlanmasına yönelik olarak geniş bir yelpazede birçok teknolojik uygulama bulunduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın bazen çok küçük maliyetlerle ölüm ile hayatta kalma arasındaki farkı yaratan İSG teknolojilerinin Türk inşaat sektörü paydaşlarına tanıtılmasına ve bu sayede bu teknolojilerin kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Sektörü, İş Sağlığı ve Güvenliği, Teknoloji.

ABSTRACT

In the construction sector, as in all other sectors, the efforts to benefit from electronic and computer technologies, which enter in every field of our lives, to ensure Occupational Health and Safety (OHS) have been increasing in recent years, especially in developed countries, all over the world. The construction sector is one of the leading sectors also in our country in terms of injuries and deaths as a result of work accidents. In this respect, besides other facilities, it is important to use technological innovations in order to ensure OHS in the sector. In this study, carried out from this point of view, a comprehensive review was made using the keywords "technology", "construction sector" and "occupational health and safety" through various databases and OHS technologies for the construction sector were determined. These technologies are grouped according to their areas of use, and the studies in the literature, as well as their industrial applications in the field have been examined. The study revealed that there are many technological applications in a wide range for ensuring OHS in the construction sector. It is considered that the study will contribute to the introduction of OHS technologies that make the difference between death and survival, sometimes with very small costs, to the stakeholders of the Turkish construction sector and thus to the widespread use of such technologies.

Keywords: Construction Sector, Occupational Health and Safety, Technology.

Mustafa YILMAZ | mstyilmaz2002@gmail.com
Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
Ankara University, Ankara, Turkey

Serkan YILDIZ | syildiz58@yahoo.com
Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
Anadolu University, Eskişehir, Turkey

Received/Geliş Tarihi : 18.01.2022
Accepted/Kabul Tarihi: 24.06.2022

I. GİRİŞ

İnşaat sektörü dünyada ekonomik faaliyetin itici güçlerinden birisidir. Sektörün 2016'da küresel ekonomi içerisindeki payı %10-12 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu oran Türkiye'de %8-9 olarak dünya ortalamasının bir miktar altında kalmakla birlikte, beraberinde harekete geçirdiği sektörlerle bu rakamın %30'lar seviyesine çıktığı öngörülmektedir. İstihdam açısından da çok önemli olan sektörün Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde, nispeten daha canlı ekonomik aktivite ve yüksek yatırım potansiyeline bağlı olarak gelişmiş ülkelere göre daha hızlı bir şekilde büyüdüğü görülmektedir [1].

Tüm bu büyüklüğüyle birlikte inşaat sektörü işçi sağlığı ve güvenliği açısından riskli sektörlerin başında gelmektedir. Gelişmiş ülkelerde bir inşaat sektörü çalışanın iş kazası yaşamaması riski diğer sektörlerdeki bir çalışana oranla 3-4 kat daha fazladır ve ILO verileri bu oranın gelişmekte olan ülkelerde 6 kata kadar yükseldiğine işaret etmektedir [2]. Sosyal Güvenlik Kurumu verilerine göre 2019 yılı içerisinde ülkemizde tüm sektörlerde 5510 Sayılı Kanun'un 4-1/a maddesi kapsamındaki toplam 14.314.313 sigortalının 422.463 tanesi iş kazası geçirmiş ve bunlardan 1.147'si hayatını kaybetmiştir. İnşaat sektöründe çalışan toplam 1.294.788 çalışandan iş kazası geçirenlerin sayısı 47.701, hayatını kaybedenlerin sayısı ise 368 olmuştur. Aynı yılda toplam 1.586 inşaat sektörü çalışanına sürekli işgöremezlik geliri bağlanmış ve sektörde toplam 521.203 gün işgücü kaybı yaşanmıştır [3]. Bu istatistiklere göre, inşaat sektöründe çalışanların diğer tüm çalışanlara oranı %9 iken, iş kazasına uğrayan çalışanların oranı %12 ve ölümlerin oranı ise %32 olmuştur. Bu rakamlar, özellikle iş kazası sonucu ölümler açısından ülkemizde inşaat sektörünün İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) açısından diğer sektörlerden olumsuz anlamda ayrıştığını açıkça ortaya koymaktadır.

Öte yandan sigortasız çalışma ve iş kazalarının eksik bildirimi birçok az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeye benzer şekilde ülkemiz içinde büyük bir problemdir ve maalesef genel durum bu verilerden de daha kötüdür.

Sektörün, İSG açısından diğer sektörlerin genelinden olumsuz anlamda ayrışmasında kendine has bazı özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bu özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

- İnşaat işleri genel olarak açık havada ve doğal iklim şartları altında gerçekleştirilmektedir.
- İnşaat işleri sınırlı süreler içerisinde gerçekleştirilen proje bazlı işlerdir. Buna bağlı olarak hem işçilerin hem de teknik personelin devir hızı çok yüksektir.
- Çalışma alanı genel olarak zemin seviyesinin üzerinde veya altındadır ve sürekli değişmektedir.
- Çalışanlar ve malzemelere ilişkin sürekli bir hareketlilik söz konusudur ve bu hareketliliğe ilişkin bir sistematik bulunmamaktadır.
- İnşaat faaliyetleri geniş ve dağınık bir alanda gerçekleşmektedir ve bu açıdan sürekli kontrol oldukça zordur.
- İşler genellikle altyükleniciler tarafından gerçekleştirilmektedir ve bu alt yüklenicilerin birbirlerinden farklı organizasyon ve iş disiplinleri bulunmaktadır.
- Sektör çalışanları arasında kalıplaşmış hatalı davranışlar oldukça yaygındır.
- Her şantiyenin şartları kendine özgüdür.
- Sektörde ağırlıklı olarak kurumsallaşmamış ve işletme kültürü gelişmemiş firmalar faaliyet göstermektedir [4-7].

Sektörün kendine has bu özellikleri, sektörde İSG'nin

sağlanabilmesi için eldeki tüm imkânların harekete geçirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu araçlardan birisi de hiç şüphesiz, son yıllarda hayatımızın her alanına giren, çalışanları karmaşık ve zaman alıcı bir iş olan çok ve çeşitli sağlık ve güvenlik risklerine karşı korumak için birçok sektörde kullanılmaya başlanan elektronik ve bilgisayar teknolojileridir. Teknolojinin, inşaat süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynadığı, ancak şantiyelerde İSG'ye yönelik uygulamalarının sınırlı kaldığı görülmektedir [8]. Bununla birlikte, İSG'nin sağlanmasına yönelik düzenlemelerinde baskısı ile özellikle gelişmiş ülkelerde yeni teknolojilerin devreye sokulması çabaları artmıştır. Örneğin insansız hava araçları geniş alanların İSG açısından izlenmesine imkan sağlarken, hareketlilik kaynaklı kazalara karşı ağır iş makinelerine kör nokta kontrol sistemleri entegre edilmeye başlanmıştır. Günümüzde şantiyelerde, olay raporlama, sağlık ve güvenlik kayıtlarını tutma, tıbbi yönetim, çalışan güvenliğini izleme, eğitim ve raporlama gibi çeşitli faaliyetlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılan bir dizi teknolojik uygulama aktif olarak kullanılmaktadır [9].

Ülkemiz için hem ekonomi hem de istihdam açısından son derece önemli olan, ancak İSG açısından da son derece kötü bir performans sergileyen inşaat sektöründe İSG'nin sağlanmasında teknolojinin kullanımının yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Bu durumu bu tür teknolojilerin dünya genelinde çok yaygın olarak kullanılmadığı şeklinde savunmak mümkün olsa da, gelişmiş ülkelerde teknoloji kullanımının her geçen gün arttığı açıktır. Türk inşaat sektörünün konuya adaptasyon için geçireceği her fazladan zaman, aslında önlenebilecek yeni iş kazaları ve meslek hastalıklarının yaşanması, yani ilave yüzlerce çalışanın yaralanması, ölümü ve iş göremez hale gelmesi anlamına gelecektir. Buradan hareketle gerçekleştirilen bu çalışmada literatürde yer bulmuş İnşaat sektöründe İSG'ye yönelik teknolojilerin tespit edilerek, bütüncül ve bilimsel

bir bakış açısı ile incelenmeleri hedeflenmiştir. Daha kolay anlaşılabilmesi açısından tespit edilen teknolojiler kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak ele alınmıştır. Çalışmanın Türk inşaat sektörü paydaşlarının konuya ilişkin farkındalıklarının artırılmasına, bu sayede İSG'ye yönelik teknolojik uygulamaların kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

II. İSG'NİN SAĞLANMASINA YÖNELİK ŞANTİYELERDE KULLANILAN YENİ TEKNOLOJİLER

İnşaat sektörü, her türlü önleme rağmen, iş kazası sonucu ölüm, yaralanma ve iş göremezlikler açısından tüm diğer sektörler arasında en önde gelmeye devam etmektedir. Bu durum, gelişmiş ülkelerde İSG şartlarının iyileştirilebilmesi için kullanılan maddi varlıkların Kişisel Koruyucu Donanımların (KKD) ötesine geçmesi gerektiğinin anlaşılmasına neden olmuştur. Araştırmacılar ve şirketler, şantiyelerde iş yapış şekillerini değiştiren teknolojik gelişmelerin, daha güvenli çalışma ortamları oluşturmak için de kullanılabileceğinin farkına varmış ve bu teknolojileri ölüm ve yaralanma risklerini azaltmak üzere adapte etmeye başlamışlardır. Bugün bir kısmının uygulamaları daha sık görülen, bir kısmı ise henüz araştırma geliştirme aşamasında bulunan, ancak her ne şekilde olursa olsun en azından bir kısmının gelecekte sektörün ayrılmaz bir parçası haline geleceğine kesin gözüyle bakılan İSG'nin sağlanmasına yönelik önde gelen teknolojiler şunlardır:

A. Akıllı Sensörler

Sensörler; sıcaklık, basınç, nem, akışkan debisi, gaz, ışık ve ses gibi herhangi bir fiziksel değerini ölçülmesini sağlayan ve bunu elektriksel bir sinyale dönüştüren cihazlardır. Akıllı sensörler temel olarak, fiziksel ortamdan verileri toplayan ve topladığı veriyi önceden belirlenmiş hedeflere ve işlevlere uygun şekilde işleyerek bağlı olduğu ağa/sisteme bulut bilişim altyapısıyla aktaran aygıtlardır. Tipik olarak

bir akıllı sensör, bir dönüştürücü, bir ağ arayüzü, bir işlemci ve bir bellek çekirdeği içerir [10, 11]. Günümüzde akıllı sensörlerin ayrılmaz parçası haline gelen Mikro Elektro Mekanik Sistemlerin (MEMS) oluşturulmasında kullanılan silikon mikro işleme teknolojisi ile fiziksel dönüştürücüler de artık çok küçük yapılabilmektedir. Boyutları mikrometre altı seviyeden milimetre seviyesine kadar değişen MEMS teknolojisi, kinematiğe dayalı olarak insan faaliyetlerinin incelenmesi için minyatür ve düşük güçlü atalet sensörleri, ivmeölçerler ve jiroskopların üretimini teşvik etmektedir [12]. Mikroişlemci ve bellek gibi diğer entegre devre elemanları ile aynı teknolojiyi kullanan akıllı sensörlerin maliyetinin ve işlevselliğinin de bu devre elemanlarına benzer hızlarda ilerlemesi beklenmektedir [10].

Güvenlik verilerinin toplanması ve analizi, ölçüm ve iyileştirme stratejisi geliştirmede önemli bir unsurdur. Bu nedenle sensör tabanlı teknolojiler yardımıyla toplanan güvenlik verileri, kablosuz ağlar aracılığıyla işleme araçlarına iletilerek pek çok endüstri kolunda özellikle tehlikeli çalışma ortamlarında kullanılabilirler, bu durum inşaat teknolojisinde Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) uygulamasının temelini oluşturur. Bu tür uygulamalar inşaat sektöründe saha kontrolünden güvenlik yönetimine kadar birçok alanda fayda sağlayabilir ve bu teknoloji normal bir saha denetçisinin yaptığından çok daha fazla iş yapabilir [13]. Akıllı sensör teknolojileri ile şantiye ortamının gerçek zamanlı izlenmesi sayesinde meydana gelmesi muhtemel iş kazaları ve işçi - ekipman çarpışmalarının önüne geçilerek sahada İSG'nin sağlanmasına çok önemli bir katkı sağlanabilir [14]. Ahsan vd. (2007), kablosuz sensör ağları ile şantiye güvenliğinin sağlanmasında çeşitli sensör teknolojilerinden sensör tabanlı konum, görsel tabanlı algılama ve dijital teknoloji uygulamalarına vurgu yapmışlardır [15]. Akıllı sensörler yangın algılamak veya havadaki nem seviyesini ölçerek bir borudaki sızıntıyı belirlemek gibi

işler için de kullanılır. Bir inşaat alanında bir şeyler ters gittiğinde, zaman çok önemlidir. Akıllı sensörler de, bir takım sorunların olabildiğince erken tespit edilmesine çok önemli katkı sağlamaktadır. Sensörlerden gelen veriler toplanarak, maruz kalma seviyelerini azaltmak ve çalışanları güvende tutmak üzere analizler yapılabilmektedir [16, 17]. Akıllı sensörler ile şantiyelerdeki nesnelerin fiziksel durumuna ilişkin nicel ölçüm değerleri gerçek zamanlı olarak elde edilebilir, böylece devam eden müdahalelerin yeterliliği konusunda güvenlik denetçilerinin sağlıklı bir değerlendirme yapmaları ve gerektiğinde stratejilerini hızlı bir şekilde değiştirmeleri mümkün hale gelebilir [18].

• Giyilebilir Sensörler ve Akıllı KKD

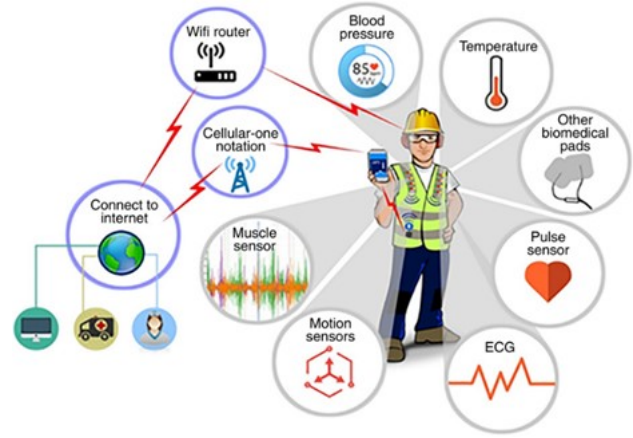
Akıllı sensörlerin şantiyedeki en önemli uygulamaları giyilebilir sensörler ve akıllı KKD'ler olarak karşımıza çıkmaktadır. Verimli ve proaktif kararların temelini nesnel ve gerçek zamanlı veriler teşkil etmektedir ve bu veriler IoT teknolojilerinin bir alt kümesi olarak kabul edilen Giyilebilir Sensör Cihazları (Wearable Sensor Devices-WSD) ile toplanmaktadır. WSD teknolojisinin İSG'ye uyarlanmasıyla; sağlık, zindelik, davranış gibi bireylerin günlük yaşam kalitesini iyileştirmede yararlı olan her türlü veriyi toplayıp işleme araçlarına ileten Giyilebilir IoT (WIoT), insan faktörünün izlenmesini sağlamak için giyilebilir sensörleri birbirine bağlayan teknolojik bir altyapı olarak karşımıza çıkmaktadır [19]. Bu teknoloji ile çalışanların sağlık profilleri gerçek zamanlı izlenerek sağlık sorunlarından kaynaklanan güvenlik problemlerine en kısa zamanda müdahale edilebilir, hatta daha ortaya çıkmadan proaktif tedbirlerle önlenir [20].

Awolusi vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada günümüzde endüstriyel işletmelerin güvenlik ve verimliliğini artırmak için çeşitli WSD ve IoT teknolojilerinin çok yaygın kullanılmasına rağmen inşaat endüstrisinde bu teknoloji

ji sınıfının uygulanmasına karşı bir miktar direnç olduğu tespit edilmiştir [21]. Bir başka çalışma; şantiyede güvenlik sorunlarına neden olabilecek çok çeşitli inşaat tehlikelerinin erken uyarı işaretlerini ve bu tehlikelere maruz kalan inşaat işçilerinin hayati sinyallerinin fizyolojik izlenmesi, konum takibinin yapılması, çevresel ve yakınlık algılanması gibi çeşitli uygulamalarına yönelik WIoT sistemlerinin performansını değerlendirmiştir [22]. WSD'lerin inşaat sektöründe güvenliğin izlenmesine ilişkin şu uygulamalarda kullanılması mümkündür:

Fizyolojik İzleme: Şantiye çalışanları, inşaat personelinin güvenlik performansını ve genel çalışma etkinliğini etkileyebilecek sert ve dinamik çalışma ortamlarının bir sonucu olarak genellikle çeşitli sağlık riskleriyle karşılaşır. Şekil 1'de tasvir edildiği üzere, kalp atış hızı, solunum hızı, vücut duruşu, vücut hızı ve vücut ivmesi gibi fizyolojik veriler, yer işçilerini ve inşaat ekipmanlarını değerlendirmek için Fizyolojik Durum İzleme (Physiological Status Monitoring-PSM) sistemi ve Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS) cihazı gibi farklı sensörler ve sistemler kullanılarak otomatik olarak kaydedilebilir ve analiz edilebilir [23, 24]. Yaygın olarak kullanılan geniş bir fizyolojik sensör seti, elektrokardiyogram (EKG) sensörü, elektromiyografi (EMG) sensörü, elektroensefalografi (EEG) sensörü, cilt sıcaklığı sensörü, kan basıncı sensörü, eğim sensörü, solunum sensörü ve hareket sensörlerini içerebilir. Bu sensörler tarafından inşaat işçisinin stres seviyesi ve sağlık durumuna ilişkin çeşitli ölçümlerden güvenlik performansı göstergeleri belirlenebilir. Jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre içeren WSD setinden gelen verilerin insan hareketi analizi ile denge kontrolünü iyileştiren ve düşmeleri azaltan pratik uygulamalar elde edilmiştir. Veri analizi prosedürleri, hareket ve yaşamsal belirti verilerinin işlenmesi yoluyla düşmeleri tespit etmek için özel olarak işlenebilmektedir [25].

Şekil 1: Şantiyede fizyolojik izleme [26]



Çevresel Algılama: İnşaat çalışma ortamı, yalnızca hava koşullarına sürekli maruz kalma nedeniyle değil, aynı zamanda inşaat işçileri için tehlikeli olabilecek belirli malzemelere olan doğal ihtiyaç nedeniyle de işçiler için sağlık ve güvenlik riskleri barındırır [25]. Bir inşaat sahasındaki sıcaklık, gürültü, toz partikülleri ve Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds-VOC) gibi çalışan sağlık ve güvenliğini tehdit eden birçok tehlikeyi görmek veya seviyelerini algılamak pek de kolay değildir. Çalışanların bu tür tehlikelere maruziyetini sınırlandırmaya yardımcı olmak için bunları izlemeye yönelik olarak inşaat sahasına sensörler yerleştirilebilmektedir. Çevre algılama cihazları, hava kalitesi, karbon monoksit, kapasitans, renk, nem, gaz sızıntısı, atmosferik basınç, sıcaklık, ışık vb. çeşitli değişiklikleri izlemek için gerekli sensörleri kullanır. Sıcaklık, nem, VOC, indirgeyici ve oksitleyici gazlar dâhil olmak üzere birçok çevresel göstergenin tespiti için kapasitif ve dirençli göstergeler gibi çeşitli algılama konseptleri ile plastik folyo sensörleri oluşturulmuştur. Bu plastik folyo sensörleri ile çevresel izleme yapabilmek için Akıllı Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification-RFID) etiketleri gereklidir [27, 28]. Şantiyenin belirli noktalarına monte edilen sensörler izin verilen maruz kalma seviyelerine ulaşılması durumunda risk altında olan çalışanları uyarabilmekte, aynı zamanda veriler şantiye yöneticile-

ri, ustabaşları, İSG uzmanları ve iş müfettişleri ile de paylaşılabilir [29].

Yakınlık Algılama: Şantiyelerde yaşanan temas yaralanmalarının yüksek oranı ve ciddiyeti, gerçek zamanlı bir yakınlık algılama ve uyarı sistemi kullanılarak zamanında önenebilir. Yakınlık algılamaya yönelik WSD setleri, tehlikeli yakınlık durumlarında inşaat personelini ve ekipman operatörlerini uyarabilmektedir (Şekil 2) [30]. Özellikle ekipmanın çarpmasından kaynaklanan kazalarda temasları önlemek için ultrasonik tabanlı sensor, radar [31], RFID algılama teknolojisi [32], GPS [33] ve manyetik alan jeneratörleri [34] gibi çeşitli teknolojiler kullanılarak birçok yakınlık önleme sistemi geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin çoğu, ağır ekipmana yakın olduklarında işçilere görsel, titreşimli veya sesli bir takım uyarı sinyalleri göndermektedir.

Şekil 2: Şantiyede görünürlük ve güvenlik [35]



Konum Takibi: Sınırlı çalışma alanlarında birden fazla işçinin güvenliğini artırmak için Gerçek Zamanlı Konum İzleme (Real Time Location Tracking-RTLT) tekniğine ihtiyaç duyulmaktadır [36]. Kaynakları bulma ve izleme birçok endüstriyel uygulamada verimlilik ve güvenliğin izlenmesi için kritik öneme sahiptir. İnşaatta güvenlik performansının izlenmesi için GPS [37], RFID ve RF lokalizasyonu [38], Ultra Geniş Band Teknolojisi (Ultra-

Wideband Technology-UWB) [39], sonar, manyetik alan ve radar gibi çeşitli teknolojiler önerilmiştir. Kör noktadaki tespit edilmeyen engellerin belirlenmesinde [40] ve ayrıca tehlike tanıma eksikliği gibi insan hatasıyla ilgili faktörleri yönetmek için çalışanların izlenmesinde yerleştirme ve izleme teknolojileri kullanılmıştır [41].

Tüm bu uygulamalar, gerçek zamanlı konum ve ilerleme izleme teknolojilerinin önemini vurgulamaktadır. IoT sistemiyle çalışan düşük maliyetli ve küçük boyutlu giyilebilir sensörler konum bilgilerini toplayabilmekte ve ardından toplanan konum bilgilerine dayalı bir takım hizmetler sağlayabilmektedir. İnşaat işçileri için potansiyel güvenlik ve sağlık tehlikeleri olan yüksekte düşme; tekrarlayan hareket yaralanmaları; tehlikeli seviyelere yükselen vücut sıcaklıklarından kaynaklanan ısı yorgunluğu veya sıcak çarpması ve işçiye yakın çalışan hareketli ekipmanın çarpması [42] gibi güvenlik tehditlerinin önlenmesinde bu teknolojiler önemli görevler üstlenebilir. Tablo 1, inşaat süreciyle ilişkili yaygın güvenlik ve sağlık tehlikelerini gözlemek ve izlemek için IoT özellikli WSD sistemlerinde günümüzde kullanılmakta olan sensör ve sistemleri göstermektedir.

Giyilebilir sensörlere ilişkin çeşitli ticari uygulamalarda bulunmaktadır. Amerika'da "Hollingsworths" firması Spot-R adı verilen işçilerin izlenmesini sağlayan bir cihaz geliştirmiştir. Bir çalışanın giysisine basitçe takılan ve kablosuz bir ağa bağlı olan cihaz sürekli olarak konumunu bildirmekte bu da çalışanların sahada nerede olduğunun her zaman bilinmesi anlamına gelmektedir. Bunun da ötesinde, cihaz, kullanıcısının bir takılma veya düşme yaşayıp yaşamadığını otomatik olarak algılayabilmekte ve ardından, yardımın hemen gönderilebilmesi için bir bildirim göndermektedir. Spot-R sisteminin bir diğer yararı da otomatik olarak yoklama alınabilmesini sağlamasıdır. Şantiyenin boşaltılması gerektiğinde insan sayımı yapmayı çok kolay-

laştırmaktadır. Öte yandan işçilerin eylemlerinin izlendiğini ve kaydedildiğini bilmeleri, güvenlik kurallarına daha fazla dikkat etmelerine neden olmaktadır [16].

Yine Amerika merkezli bir kuruluş olan "Human Condition" düşük maliyetli giyilebilir bilgisayarlar, sensörler, GPS ve Gerçek Zamanlı Konum Bulma Sistemleri (Real Time Locating Systems-RTLS) entegre edilmiş bir güvenlik yeleği ve baret tasarlamıştır. Gerekli gücü sağlamak için bareter güneş enerjili şarj cihazlarıyla ve güvenlik yelekleri kinetik şarj cihazları ile donatılmıştır. Güvenlik yeleği, bir işçinin düşmesi durumunda şişen ve yaşamsal belirtileri ve tekrarlayan hareketleri izleyebilen bir hava yastığı yakasına sahiptir. Baret, hem çalışma ışığı hem de güvenlik ışığı olarak iki görevi yerine getiren yerleşik LED'lere sahiptir. Bu cihazlardan toplanan verilere gerçek zamanlı olarak bir mobil arayüz ile bulut üzerinden erişilebilmekte, böylece saha amirleri bir şantiyedeki tüm çalışanları takip edebilmektedir [17].

Benzer bir çalışmada "Daqri" tarafından farklı amaçlar için farklı KKD'lere monte edilebilen bir takım sensor setleri ile yapılmıştır. Bu sensor setlerinden biri hizalama ve izleme etkinlikleri için barete monte edilebilen çubuk sensör setidir ve bu set sayesinde baret, olası saha tehlikelerini tespit ederek talimatlar vermekte ve uyarılarda bulunmaktadır [43]. Firmanın geliştirdiği bir diğer giyilebilir cihaz türü ürün de inşaat işçilerinin sağlığını gerçek zamanlı olarak izleyen akıllı yelektir. Yeleğe takılan sensörler, işçilerin vücut ısısını ve kalp atış hızını ölçmekte, veriler kablosuz olarak bağlanan akıllı telefon uygulamasına gönderilmekte ve bu uygulama kullanıcının herhangi bir anormal durumda tedbir alması yönünde ikazda bulunmaktadır [44].

İşçileri dikkatlice izlemek, bir kazayı meydana gelmeden önce tahmin etmeye yardımcı olabilecek bir husustur. Vücut Duruş Algılama Sistemlerinde duruş terimi, bir

kişinin vücudunun otururken, ayakta dururken veya uzanırken nasıl konumlandırıldığını tanımlamak için kullanılmaktadır. Bir duruş izleme sistemi, birinin sırtının üst veya alt kısmına takılan ve omurganın konumunu izleyebilen bir algılama modülünden oluşmaktadır. Algılama modülünün kendi kendine güç sağlayabilmesi, kompakt ve sağlam olması ayrıca gerçek zamanlı verileri bir akıllı telefona veya kontrol merkezine iletebilmesi, ona pazarda rekabet üstünlüğü sağlamaktadır [45].

Tablo 1: İnşaat sektöründe güvenlik izlemeye yönelik sensör ve sistemler [21]

	Şantiye Kazaları	Öçümler	Algılama Teknolojileri
Fizyolojik İzleme	Yüksekten düşmeler	Vücut duruşu	Jiroskop, ivme ölçer ve manyetometre
	Kayma ve takılmalar	Vücut duruşu, Vücut hızı, Vücut dönme ve yönelimi	Jiroskop, ivme ölçer
	Stres	Kalp atış hızı, Kan basıncı, Solunum hızı	ECG/EKG, Kızılötesi, Radar
	Sıcak ve soğuk	Vücut ısısı	Termistör
Çevresel Algılama	Yangın ve patlamalar	Duman ve yangın algılama	Kızıl ötesi
	Gürültü	Gürültü seviyesi	Gürültü sensörü
Yakınlık Algılama ve Konum Takibi	Sıkışma	Yakınlık algılama	RFID, Ultra Geniş Bant, Kızılötesi, Radar, Bluetooth
	Çökme	Konum takip	GPS, RFID, UGB
	Bir nesnenin çarpması	Yakınlık algılama	RFID, Ultra Geniş Bant, Kızılötesi, Radar, Bluetooth, GPS
	Elektrik çarpması	Konum takip	Bluetooth, GPS, RFID, UGB

Akıllı sensörlerle toplanan verilerin iletebilmesi için gerekli olan iki önemli teknoloji olan RFID ve IoT teknolojilerini ayrıca ele almakta fayda vardır.

- **Radio Frequency Identification (RFID)**

RFID, verileri iletmek, veri almak veya çalışanların ve

nesnelerin konumunu belirleyen verileri depolamak için radyo frekans dalgalarını kullanır [46].

RFID sistemleri, küçük bir mikroçip ve antenden oluşan RFID etiketleri ile RFID okuyucudan oluşur. Veriler, genellikle benzersiz bir seri numarası olarak etikette saklanır. RFID etiketleri aktif (pil kullanarak) veya pasif (pilsiz) ve 10 ila 100 metre okuma aralığına sahip olabilirler.

Literatürde bir çok çalışmada inşaat sektörü İSG uygulamalarında, gerçek zamanlı veri toplamak için RFID teknolojisi kullanıldığı görülmektedir [47]. Zhou vd. (2013) RFID etiketleri simüle edilmiş inşaat ortamında işçilerin, ekipmanların ve malzemelerin hareketini izlemek için kullanmış ve gözden kaçan bir kazanın meydana gelip gelmediğini belirlemek için etiket verilerini incelemişlerdir [48]. Wu (2010) çalışmasında, potansiyel ölüme neden olabilecek ramak kala kazaları izlemek, iç ve dış mekân konum takibi için ultrasonik sinyallerden, ışık, gürültü, sıcaklık ve nem gibi çevre gözetimi için sensörlerden ve sahadaki güvenlik verilerini kaydetmek için RFID etiketlerinden oluşan gerçek zamanlı bir izleme sistemi önermiştir [49]. Abderrahim (2005)'de, inşaat işçilerinin güvenliği için, işçilerin baretine ve sahadaki her parça inşaat ekipmanına zorunlu olarak yerleştirilen RFID etiketleri aracılığıyla izlendiği bir mekatronik sistem tasarlamıştır [50].

- **Nesnelerin İnterneti (IoT)**

IoT, son zamanlarda teknolojik ilerleme tarihinde çok önemli bir yenilik ve trend haline gelmiştir [51]. IoT aracılığıyla nesnelere ve günlük öğeler, insan müdahalesine çok fazla ihtiyaç duymadan gerçek zamanlı bilgi toplayabilmekte ve değiş tokuş edebilmektedir ki, bu potansiyel tehlikeler, arızalar ve hatta iş sahası zorlukları hakkında birbirleriyle gerçek zamanlı iletişim kurabilen akıllı cihazlar ve ekipman anlamına gelmektedir[52].

İnşaatta IoT, iş sahalarının etrafına yerleştirilen veya

işçiler tarafından giyilen internet bağlantılı sensörlerin kullanımını içerir. İnşaat için IoT cihazları, şantiyedeki faaliyet, performans ve koşullar hakkında belirli veri türlerini toplayabilir ve bunları, çalışanlar arasında gerçek zamanlı yanıtları ileterek karar verme süreçlerini iyileştirmek için tasarlanmış uygulamalara veya karar vericilerin bilgilendirilmesine yardımcı olmak için verilerin analiz edildiği merkezi bir ekrana gönderebilir[53]. Akıllı inşaat için sağlık ve güvenlik bilgileri sensörler ve ağ geçitleri kullanılarak toplanır, daha sonra bu verilerin kablosuz olarak depolanması, analiz edilmesi ve gözden geçirilmesi için bulutlar kullanılır [54]. IoT teknolojisi, şantiye güvenliği ile ilgili hususları gözlem altına alarak çalışan güvenliğini artırır. Olağanüstü koşullar altında IoT özellikli ekipman, acil güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyması halinde çalışmayı tamamen durdurabilir. Saha çalışanlarını ve ekipmanı izlemek ve operatörleri olası saha tehlikeleri hakkında bilgilendirmek için GPS, akıllı sensörler ve kablosuz ağların bir kombinasyonu kullanılır. Sistem, tehlikeli faaliyetler ve ramak kala kazaları hakkında raporlar üretir [55].

B. Robotik ve Dronlar

İnşaat sektöründe diğer sektörlerle göre otomasyon ve robot kullanımı çok az rol oynamakta, asıl üretim kaynağı olarak insan gücü kullanılmaktadır. Bununla birlikte, günümüzde inşaat faaliyetlerinde işlerin hızlandırılabilmesi ve otomatikleştirilmesi için robotik sistemlerin benimsenmesine yönelik bir trend olduğu [56, 57], şantiyelerde bilgisayarlarla kontrol edilen ve gelişmiş tespit ve kontrol sistemlerine sahip robotların genellikle çok büyük işçilik gerektiren ağır yapı malzemelerinin otonom kurulumu ve toplanması ile gökdelenler gibi yapıların inşa edilmesinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir [58].

Proje süresini ve maliyetini azaltmak, çalışanlar için yaralanmaya açık görevlerden bazılarını gerçekleştirmek

üzere pek çok sektörün önde gelen firmasının ve bilim insanının teknoloji geliştirmeye çalıştığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şantiyelerde ağır kaldırma ve kazı gibi işçilerin sağlıklarını tehdit eden günlük işlerin robotlar tarafından yapılabilmesine yöneliktir. İnşaat işçilerinin önemli bir kısmının yaşadığı sırt ve bel ağrıları genellikle tek bir olaydan ziyade uzun süre tekrarlanan zorlanmaya ve ağır kaldırmaya maruz kalmanın bir sonucudur ki, tekrarlanan veya ağır iş görevlerini tamamlamada robot kullanımı, çalışanların fiziksel olarak zorlu işlerin etkisine daha az maruz kalacağı anlamına gelmektedir.

Şekil 3: SAM yarı otomatik duvarcı [60]



Yu (2009), şantiyede tuğla duvarları doğru bir şekilde inşa etmek için kullanılan "Blockbot" adlı otomatik bir makine geliştirmiştir [59]. Şekil 3'te görülen "Construction Robotics" firması tarafından ticari olarak üretilen yarı otomatik duvarcı (Semi-Automated Mason -SAM) tuğla döşeme ve duvarcılık işlerinde işin hızını ve kalitesini artırmak için kullanılmaktadır [60]. Benzer şekilde birçok firma tarafından üretilen çeşitli büyüklüklerdeki yıkım robotları da yapısal bileşenleri daha yavaş ancak daha ucuz ve daha güvenli bir şekilde yıkmak için kullanılmaktadır [61]. Balaguer ve Abderrahim (2008), çelik yapılarda denetim için 3 boyutlu karmaşık ortamlarda denetimler yapan, tırtıla benzer şekilde çalışan ve kendi kendini destekleyen bir hareket sistemi olan ROMA tırmanma robotlarının kullanılmasını önermiştir [62].

Şantiyelerde kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlayan bir diğer teknolojik aygıtta dronlardır. Dronlar temel olarak inşaat operasyonlarının kontrolü ve şantiye yönetimi, şantiyelerin denetimi, yapısal bütünlüğün değerlendirilmesi ve yönetim için kullanılmaktadır [63]. İSG açısından dronların kullanımına ilişkin şu hususlar öne çıkmaktadır [16].

- Dronlar şantiyenin ve çalışanların her an izlenerek herhangi bir tehlikeli alanın veya tehlikeli durumun tespit edilmesini ve yetkililerin fiziksel olarak bulunmadan şantiyeyi kolay ve hızlı bir şekilde görebilmesini sağlar.
- Eski ve paslanmış bir çatı gibi tehlike arz eden yerlerin incelenmesi gibi işler herhangi bir çalışanın güvenliğini risk etmeden bir dron ile kolayca yapılabilir.
- Dronları malzemeleri şantiyeye teslim etmek için kullanmak ve bu sayede sahadaki araç ve insan sayısını azaltmak mümkündür.
- Dronlar, iş ilerledikçe, şantiye modellerinin oluşturulmasına yönelik fotoğraflar ve videoların çekiminde kullanılmakta, bu sayede herkesi her gün değişen çalışma koşullarından haberdar etmek için kullanılabilir.
- Dronların bir başka kullanım alanı yol şantiyeleridir. Çalışmalar, drone radarı ve hız denetim sistemlerinin uygulanmasıyla ilişkili araç hızı düşüşünün %6,1 ila %23,7 arasında değiştiğini göstermiştir [64].

C. İş Makinelerine İlişkin Güvenlik Teknolojileri

Şantiyelerde meydana gelen kazaların önemli sebeplerinden birisi de iş makinesi kaynaklı kazalardır. Bu tür kazaların oluşumunu engellemek üzere de çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir.

Çeşitli ağır iş makinası üreticileri, otonom (sürücüsüz) kamyon ve ağır iş makinaları üretebilmektedir. Örneğin, “Komatsu ve Caterpillar” gibi ağır iş makinası üreticilerinin, otonom olarak çalışabilen veya uzaktan kontrol edilebilen iş makineleri bulunmaktadır (Şekil 4). Bu tür teknolojiler, potansiyel devrilme ve diğer tehlikelerden kaynaklanan ölüm ve yaralanmaları ortadan kaldırmak için operatörlerin makineden tamamen çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Güvenlik yönüne ek olarak, bu akıllı makineler aynı zamanda oldukça verimlidir ve yüksek üretkenlik sağlamaktadır. Buna ilave olarak, çalışanların iş makinalarını 5G ağı üzerinden uzak bir konumdan çalıştırması inşaatta uzaktan operasyonun önünü açmaktadır. Bu teknolojinin gelişmesi, şantiyelerin daha az kalabalık hale gelmesine ve çarpışmalardan kaynaklanan ölüm ve yaralanmaların azalmasına yardımcı olacaktır [17]. “Royal Truck & Equipment”, özellikle yol şantiyelerinde çarpışma sırasında sürücülerini korumak için otonom bir Kamyonu Monte Darbe Zayıflatıcı (Truck Mounted Attenuator-TMA) geliştirmiştir [65].

Şekil 4a: Komatsu otonom kamyon [66]



İş makinalarında kullanılan Yakınlık Uyarı Sistemleri (Proximity Warning Systems-PWS), bir ekipmanın yakın çevresinde yabancı bir nesneyi algılamaya tepki olarak sesli bir alarm üretmek için tasarlanmıştır [67]. Çalışmalar, çeşitli tasarım ve pilot testlerin PWS çarpışma tahmini

[68], kör nokta tespiti [69], yanlış alarm azaltma [31] ve hızlı bildirim [70] verimliliğinde önemli gelişmelere yol açtığını göstermektedir.

İnşaat sektöründe pek çok durumda inşaat ekipmanı- işçi çarpışmasını azaltmak için PWS uygun bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Kör nokta algılama sistemi, ekipmanın kör noktalarını kolay ve hızlı bir şekilde bulan ve ayrıca ekipman kabini içindeki lazer taramasından alınan nokta bulutu verilerini 3D analiz yoluyla tespit eden lazer sensörü ve görüntüleme sistemidir. Bu sistemler, araçtan kişiye uyarı, geçiş ve yürüme yolu için uyarı, kişisel erişim kontrolü, araç erişim kontrolü, maddi varlıkların korunması ve görüş içi veri analizi sağlar [28]. Bu sayede sürücünün aracın konumunu, hızını veya yönünü belirlemede ve izlemede yardımcı olur [71].

Şekil 4b: Kamyonu monte darbe zayıflatıcı [65]



D. Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik

- Sanal Gerçeklik

Sanal Gerçeklik, gerçek yaşam durumunun veya ortamının bilgisayar tarafından oluşturulan yapay bir deneyimdir ve kullanıcıya simüle edilmiş gerçekliği ilk elden deneyimlediklerini hissettiren gerçekçi görüntüler ve işitme üretir[72]. Askerleri, pilotları ve cerrahları eğitmek için yıllardır kullanılmakta olan sanal gerçeklik simülatörleri, inşaat sektöründe sağlık ve güvenlik ekipleri tarafından

güvenlik bağlantı noktalarını gözden geçirmek ve kaldırılması mümkün olmayan mevcut tesisler üzerinde çalışacak büyük vinçlerin seçimlerini koordine etmek için kullanılmaktadır.

Sanal Gerçeklik ayrıca iş sağlığı ve güvenliği eğitimi için geçerli gerçek bir sağlık ve güvenlik iş deneyimi yaratmaktadır [47]. Vinç ve ekskavatör kullanımından kaynak ve duvarcılık işlerine kadar her konuda çalışanları eğitmek için kullanılabilir. Le ve diğerleri (2015), işbirliğine dayalı güvenlik öğrenimi, tehlike incelemesi, güvenlik bilşi ve aktif oyun tabanlı öğrenmeye olanak tanıyan sanal bir ortam oluşturmak için sanal gerçeklik teknolojilerini kullanmış (Şekil 5) ve böyle bir eğitim platformunun öğrenme etkinliğini artırabileceğini göstermişlerdir [73]. Sağlık ve güvenlikle ilgili bu eğitimler nitelikli bir güvenlik idaresinin yokluğunda, yalnızca bir kişisel bilgisayarda eğitim ortamını simüle ederek gerçekleştirilmesi açısından son derece faydalıdır.

Zhou ve diğerleri (2011), geleneksel kağıt temelli çalışma notlarının, video kasetlerinin veya slayt gösterilerinin kursiyerlere eğitim faaliyetlerinde etkileşimde bulunmaları için yeterli fırsat sağlamadığını, sanal gerçeklikle gerçekleştirilen katılımcı eğitimin durumları kursiyerin yaşam ve ölüm açısından gerçek yaşam durumlarıyla ilişkilendirmesine olanak tanıdığını ileri sürmüştür [74]. Başka bir çalışmada farklı yazılımlar kullanılarak çeşitli güvenlik ve şantiye yönetimi senaryoları sanal gerçeklik ortamında modellenmiş, kullanıcılar, "Oculus® DK2 VR" başlığını kullanarak sanal şantiyeyi ziyaret ederek, güvenlik tehlikelerinin yanı sıra saha lojistiği sorunlarını belirlemişlerdir [75]. Dünyanın önde gelen inşaat firmalarından birisi olan "Bechtel" İnşaatın başlattığı programda kursiyerler, risksiz bir ortamda şantiye güvenliğinin temellerini öğrenebilecekleri sanal bir şantiyede eğitilmektedir. Sanal gerçeklik eğitimi pahalı olsa da, kaza sayısını azalttığı görülmüştür ki bu,

uzun vadede kendini karşılayabileceği anlamına gelmektedir. Üstelik sanal gerçeklik eğitimi eğlenceli bir faaliyet olduğu için çalışanları bu tür eğitimlere katılmaya ikna etmekte sorun yaşanmamaktadır [29].

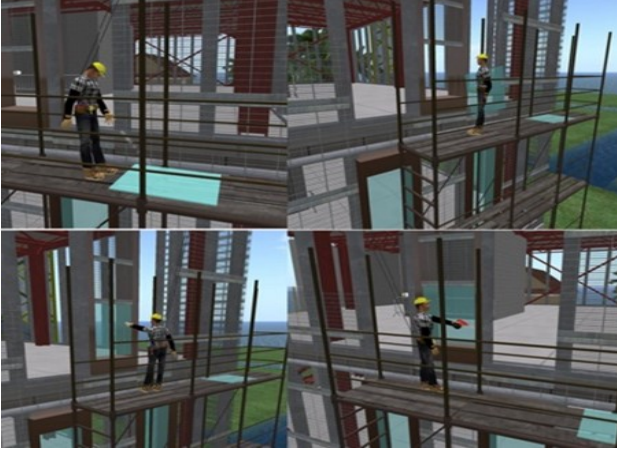
• Artırılmış Gerçeklik

Gerçek hayat senaryolarını simüle etmek için bilgisayar tarafından oluşturulan görüntüleri kullanan sanal gerçekliğin aksine; artırılmış gerçeklik, teknolojiyi kullanarak gerçekliği geliştirmektedir [72]. Artırılmış gerçeklik sistemi sayesinde, bilgisayar grafiklerini gerçek bir şantiyenin üzerine yerleştirmek ve bu sayede geliştiricilere, mühendislere ve iş sahası planlamacılarına somut faydalar sağlamak mümkündür. Mühendisler, gelişmiş kamera işlevlerine sahip tabletleri ve mobil cihazları kullanarak inşaat projelerinin 3D modellerini geliştirebilmekte ve ardından bu nesnelere gerçek dünya ortamlarına yerleştirebilmektedir.

Güvenlik programlarına ve eğitimlerine yapılan yüksek miktarlarda yatırımın artırılmış gerçeklik kullanılarak önemli ölçüde azaltılabilmesi mümkündür. Artırılmış gerçeklik kullanmanın toplam maliyeti, kullanılan ekipman en son donanımdan basit bir akıllı telefona kadar değişebildiğinden daha ucuzdur. Bu açıdan artırılmış gerçeklik uygulamaları, insan güvenliğini artırmanın daha ucuz ve daha verimli yolu olarak kabul edilebilmektedir [76]. Akyeampong vd. (2012) artırılmış gerçeklik kullanımının en iyi eğitimi en kısa sürede sağladığını ve aynı zamanda edinilen bilgi ve becerinin en uzun süre korunduğunu iddia etmiştir [77]. Yine araştırmacılar artırılmış ve sanal gerçeklik kullanımının farklı projeler için uygun vinçleri bulma ve seçmede daha güvenli bir yöntemi nasıl sağlayacağını açıklamıştır [78]. Ayrıca, genellikle bir proje üzerinde çalışma fiilen başlayana kadar hatalar belirgin hale gelmezken, artırılmış gerçekliği kullanmak, işleri çok daha net hale getirmekte ve hataların işe başlamadan önce tespit edilmesine yardımcı

olmaktadır (Şekil 6) [17].

Şekil 5: Sanal gerçeklik uygulaması [73]



- Görselleştirme Teknolojileri: 3D/4D CAD ve Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM)

Görselleştirme teknolojisi, inşaat faaliyetlerinde inşa öncesi süreç, şantiyede operasyonel güvenlik sorunları ve işçilerin inşaat projelerinde iletişimini iyileştirme gibi birçok alanda uygulanmaktadır. İnşaat öncesi süreçte, tasarım aşamalarında inşaat ekibinin inşa aşamasında ortaya çıkabilecek sorunları belirlemede görselleştirme teknolojisinden yararlanılmaktadır.

Sağlık ve güvenlik uzmanları, güvenlik planlaması, kaza incelemesi ve tesis bakım güvenliği için 3D CAD kullanılmaktadır [79]. Ek olarak, 4D CAD, projenin yaşam döngüsü boyunca emniyet bileşenlerini ve yüksek riskli alanları görüntülemek için emniyet süreçlerini simüle etmek için kullanılmaktadır[80]. Rwamamara vd. (2010), inşaat projelerinin ilk aşamalarında 3D ve 4D teknolojilerinin kullanımının, proje ekibinin potansiyel riskleri belirlemesine olanak tanıdığını ifade etmiştir. Riskleri erken bir aşamada belirlemek, tasarım değişiklikleri nedeniyle ortaya çıkan maliyet aşımalarını en aza indirmeyi sağlamaktadır [81]. Bir vaka çalışmasında Mallasi (2006), işyerinde zaman-alan sıkışıklıklarını tespit ve analiz etmek için 4D görselleştirme

teknolojisini kullanmıştır [82]. Benjaoaran ve Bhokha (2009), 4D CAD görselleştirme modelini kullanarak kurula dayalı bir inşaat güvenliği yönetim sistemi geliştirmiş, sistem, yüksekten düşme tehlikelerini otomatik olarak belirlemeye odaklanmıştır [83]. Faaliyetler ve binanın bileşenleri, yerleşimi, düzenlemesi, malzemeleri ve ekipmanı ile ilgili veriler sisteme girilmekte, bu veriler yükseklik ile ilgili tehlikeleri tespit etmek için analiz edilmekte, sistem, uygun güvenlik gereksinimleri ve önlemlerini belirlemektedir [84].

Şekil 6: Artırılmış gerçeklik uygulaması [16]



Günümüzde BIM, inşaat öncesi planlama sürecinde yer almaya başlayan bir 3D/4D modelleme türüdür. BIM, yapının gerçek dünyada inşa edilmeden önce sanal olarak inşasına imkân vermekte ve böylece inşa aşamasında karşılaşılabilecek muhtemel problemlerin ve kaza risklerinin sanal ortamda minimize edilmesine olanak sağlamaktadır. BIM, inşaat başlamadan önce risk değerlendirmelerine izin verir. Tesis dışı prefabrikasyon, ön montaj ve "tasarım yoluyla önleme" yaklaşımları gibi konuların etkinleştirilmesine yardımcı olur. Bu sadece yerinde güvenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda çok fazla zaman ve para tasarrufu da sağlayabilir. Yine BIM, projenin detay seviyesine ve malzeme bilgisini artırmak suretiyle sahada üretilmekte olan pek çok yapı elemanın İSG açısından daha kontrollü ortamlarda üretilerek saha da sadece montajının yapılmasını mümkün kılmaktadır [16, 85]. BIM'in inşaat faaliyetlerine tasan-

rım aşamasından itibaren dâhil edilmesinin bir faydası da modelin kullanılarak işçiler için sağlık ve güvenlik eğitimi videoları geliştirilebilmesidir. BIM teknolojisinin kullanılmasıyla, zaman kontrollü simülasyon yoluyla saha bilgilerini yönetmek için stratejiler sunmak ve proje ortakları arasında sağlık ve güvenlik iletişimini geliştirmek üzere daha net bir saha düzeni ve güvenlik planı oluşturmak mümkün olmaktadır [80].

Literatürde BIM'in İSG uygulamalarında kullanılmasına yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ku ve Mills (2010), BIM'in bir güvenlik aracı olarak kapasitesini değerlendirmiş, BIM'in kodlar ve düzenleyici bilgiler gibi otomatik özellikler ve yönergeler kullanarak proje paydaşları arasındaki ekip çalışmasını teşvik ettiğini göstermişlerdir [86]. Qi vd. (2011), düşme tehlikelerine karşı BIM modelini otomatik olarak kontrol eden bir güvenlik kontrol sistemi geliştirmiştir [87]. Zhou (2012), inşaatın erken aşamasında BIM uygulaması üzerine bir çalışma yürütmüş ve BIM tabanlı modellemenin saha güvenliği planlaması açısından faydalı olduğunu göstermiştir [74]. Talmaki (2010), kaza riski açısından önde gelen faaliyetlerden olan kazı işlerinde güvenlik hususlarını iyileştirmek için yerinde görselleştirme teknolojisinin uygulanmasının önemini vurgulamıştır [88]. Mallasi (2006), 4D görselleştirme teknolojisi kullanılarak sahadaki olası güvenlik tehlikelerinin belirlenebileceğini gösterirken [82], Zhou (2013), metro inşaatlarında yerinde güvenlik kontrolü gereksiniminin bu teknoloji kullanılarak karşılanabileceğini bildirmiştir [74]. Günümüzde şantiyeler çok kültürlü hale gelmekte, bu nedenle yabancı inşaat işçilerinin etkili bir şekilde eğitilmesi önem kazanmaktadır. Görselleştirme teknolojilerinin, çeşitli saha çalışanlarının kültürel ve dil engellerinin üstesinden gelmelerine yardımcı olduğu belirlenmiştir. BIM'i güvenlik eğitimi ve programlarında tam olarak kullanmak, konuşulan dil ne olursa olsun iletişimi ve anlayışı geliştirdiği için çalışan-

ların daha değerli güvenlik bilgilerini etkili bir şekilde elde etmelerine imkân vermektedir [55].

E. Dış İskeletler

İşle ilgili Kas-İskelet Sistemi Bozuklukları (Work-related Musculoskeletal Disorders WMSD) çalışanlar için önemli sağlık tehditlerinden birisidir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, WMSD'lerin ekonomiye toplam etkisinin hızla arttığı, 1996'da 367,1 milyar dolardan, 2011'de 796,3 milyar dolara yükseldiği tespit edilmiştir [89, 90]. İnşaat işçilerinin WMSD yaşama sıklıkları tüm diğer sektörlere göre çok daha yüksektir.

Dış iskeletler ve güç destek kıyafetleri endüstriyel kullanım için geliştirilmektedir. Aktif ve pasif olmak üzere iki farklı biçimleri bulunmaktadır [91]. Aktif bir dış iskelet, elektrik motorları, pnömatikler, hidrolik sistemler veya bu teknolojilerin bir kombinasyonu ile çalıştırılmakta ve genellikle "robotik dış iskelet" olarak anılmaktadır. Pasif bir dış iskelete ise gücü, doğal insan hareketi, yaylar ve dengeleme kuvvetleri aracılığıyla sağlar. Piyasada bulunan endüstriyel dış iskeletlerin çoğu (a) sırt desteği, (b) omuz ve kol desteği, (c) alet tutma/destek ve (d) bacak yardımı kategorilerde gruplandırılabilir [92]. "Daewoo" ve "Panasonic" gibi şirketler tarafından geliştirilen güç destek kıyafetleri, işçilerin sırtlarında oluşan baskıyı azaltmak ve ağır nesnelere kaldırmalarını ve daha uzun süre çalışmalarını sağlamak amacıyla yardımcı olmak üzere sensörler ve motorlar kullanılmaktadır. İnşaat sektörü için dış iskelet geliştirmeye odaklanmış "Ekso Bionics" ve "Strong Arm Technologies" gibi şirketler tarafından geliştirilen pasif cihazlar, yorgunluğu ve yaralanmayı azaltmak ve uygun duruşu sürdürmek için tasarlanmıştır (Şekil 7). Bu cihazlar, kaldırma ve taşımayı kolaylaştırmak için karşı ağırlıklar kullanmakta veya yükleri daha güçlü kaslara yeniden dağıtmaktadır. Böylece vücut üzerindeki gerilimi alarak yorucu işleri tamamlarken

işçilerin sağlıklı kalmalarına yardımcı olmaktadır [17].

Omurgaya olan yükü azaltmak ve postürü iyileştirmek için tasarlanmış pasif bir dış iskelet kullanarak gerçekleştirilen dinamik kaldırmanın, dış iskeletlerin kas aktivitesini ve omurga kas yükünü azalttığını ve bunun sonucunda genel omurga kası yorgunluğunda bir azalmaya neden olduğu bulunmuştur [93, 94]. Statik gövde bükülmesi kas aktivitesini ve omurga yükünü azaltırken [93], giyilebilir dış iskelet, inşaat işçilerinin bel gerginliğini azaltmak için daha nötr duruşlarda çalışmasına yardımcı olmaktadır [95]. Çalışmalar, üst ekstremitte dış iskeletlerinin omuz WMSD'lerini azaltmada bir rolü olabileceğini göstermiştir. Omuz destekli dış iskeletlerin, boyacılar ve kaynakçılar arasında üretkenliği ve iş kalitesini artırırken omuz rahatsızlığını azalttığı gösterilmiştir [96]. Omuz destekli dış iskelet kullanılırken çeşitli baş üstü görevler için deltoid kas gerginliğinin azaldığı gösterilmiştir [97, 98]. Dış iskelet kullanımıyla spinal basınç kuvvetleri yaklaşık %20 ve kesme kuvvetleri %30 azalmıştır [99].

Şekil 7: EksoVestle uygunsuz pozisyonlarda çalışma [100]



Bu faydalarının yanısıra, güçlendirilmiş bir dış iskeletin, bir kullanıcının eklemlerinin normal hareket aralığının ötesine geçmesi durumunda kas gerginliği meydana getire-

bileceği konusunda uyarılar yapılmıştır [101]. Ayrıca, dış iskelet pilinin aşındırıcı maddeler sızdırması durumunda cilt tahrişine veya kimyasal yanıklara ve bataryada depolanan enerjisini aniden boşalması durumunda termal yanıkların meydana gelmesine neden olabileceği de bildirilmiştir [102].

F. Dijital İkiz Teknolojisi

Dijital ikiz, yaşam döngüsü boyunca fiziksel bir nesnenin, öğrenme ve muhakeme için gerçek zamanlı veri kullanan sanal bir temsildir [103]. Genel anlamda fiziksel dünya ile sanal dünya arasındaki bağlantı olarak tanımlanabilir. Literatürde bu alana dair yazılmış ilk kaynaklara göre; Dijital ikiz oluşturmak için üç temel gereksinim vardır: Gerçek dünyada gerçek bir nesne, sanal dünyada sanal bir nesne ve gerçek dünya ile sanal dünya arasında bir bağlantı [104]. Başlangıçta ürün üretimi ve ürün yaşam döngüsü yönetimi alanlarında karşılaşılan dijital ikiz kavramı, astronomi ve havacılık gibi farklı alanlardaki çalışmalarda kullanılmıştır. Enerji, otomobil, sağlık, sanayi, askeri gibi başka pek çok farklı endüstride de kullanılabilir.

Tüm farklı sektörlerde bakıldığında, inşaat sektörünün de yüksek bütçelerin işlem gördüğü, kayıp, kazanç ve verimlilik kavramlarının temel alındığı ve iş kazaları ile meslek hastalıklarının en çok rastlandığı geniş bir sektör olması sebebiyle, İngiltere gibi gelişmiş ülkelerde önemli yapıların Dijital ikiz ile teslimi zorunlu kılınarak bu sektörde de uygulanmaya başlanmıştır. Dijital ikiz ile yapının yaşam döngüsü boyunca bilgileri toplanabilecek, depolanacak, yönetilecek, tekrar kullanılmak üzere saklanabilecektir.

Gerçek zamanlı olarak şantiyeden yapım aşamasında Dijital ikize toplanan veriler analiz edilerek, sektör şirketlerinin uygunsuz davranışları, güvenli olmayan malzemelerin kullanımı ve tehlikeli bölgelerdeki faaliyetleri önlemek için sahadaki çalışanların ve tehlikeli yerlerin izlemesi mümkün

olabilecektir. Diğer taraftan bina yaşam döngüsü boyunca sensörler aracılığıyla yapının Dijital İkizine toplanan devasa veriler makine öğrenmeleri ve yapay zekâ uygulamaları ile analiz edilerek akıllı binaların herhangi bir deprem anında yapının rezonansa girerek çökmesi gibi bir doğal afetlerde geliştirecekleri otomatik tepkilerle yapı hasarlarını minimize ederek can kaybına engel olabileceklerdir.

G. Diğer Teknolojiler

Doğrudan İSG'ye yönelik olarak kullanılmamakla birlikte inşaat sektörünü doğrudan, İSG uygulamalarını da dolaylı olarak etkileyen başka bazı teknolojiler de bulunmaktadır. İleride sektörü çok daha derinden etkilemesi beklenen bu teknolojileri şu şekilde sıralamak mümkündür:

- **Büyük Veri (Big Data)**

Büyük veri, işle ilgili olarak daha bilinçli kararlar almak, gizli trendler, davranış kalıpları ve bilinmeyen korelasyonlar gibi durumları ortaya çıkarmak, yapay zekâ ve otomasyon sistemleri için temel oluşturmak üzere kullanılacak son derece büyük veri setlerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu veriler internet aramalarından ve hizmetlerinden, cep telefonlarından, dijital fotoğraflardan, sosyal medyadan ve mesajlaşma, arama ve haberleşme uygulamaları ile e-postalar gibi diğer birçok dijital iletişim araçlarından toplanmaktadır. Hava durumu, trafik ve iş faaliyetleri gibi çeşitli durumlara ilişkin veriler, inşaat faaliyetlerinin en uygun aşamalarını belirlemek için analiz edilebilir. Büyük veri bakım faaliyetlerini gerektiği gibi programlamak için BIM sistemlerine geri beslenebilir. Bunlar aynı zamanda şantiyede İSG tedbirlerinin hayata geçirilmesinde kullanılabilirler [85].

- **Çevrimiçi Veritabanları**

Çevrimiçi sistemler; güvenlik eğitimi ve öğretimi, risk

tanımlama, güvenlik izleme ve değerlendirme ve güvenlik denetimleri gibi inşaat sağlığı ve güvenliğinin çeşitli yönlerini iyileştirmek için kullanılmaktadır [105]. Potansiyel saha tehlikelerini tespit etmek ve yeterliliğini değerlendirmek için çevrimiçi veritabanlarından faydalanılabilmektedir [91]. Cheung vd. (2004), tarafından geliştirilen İnşaat Güvenliği ve Sağlık Sistemi (Construction Safety and Health System-CSHM), olası saha risklerini tespit eden ve acil müdahale gerektiren faaliyetler için uyarı sinyalleri veren bir web güvenliği izleme sistemidir [51]. Çeşitli projelerden gelen sağlık ve güvenlik göstergeleri incelenmekte, bunlardan inşaat sağlık ve güvenlik yönetimini iyileştirmek için değerli bilgiler elde edilmektedir. Bir projede belirli parametrelere atanan puanlar analiz edilerek belirli bir süre boyunca proje performansı izlenmektedir [59]. Azmy ve Zain (2016) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli projelerde inşaat güvenliğini izlemek için gerçek zamanlı bir iletişim sistemi geliştirilmiş, merkezi bir veritabanı, iletilen verileri depolamak için kullanmış ve bu bilgiler şantiye yöneticileri tarafından şantiye kararları hakkında bilgi almak için analiz edilmiştir [55].

- **Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi**

Yapay zekâ, insan davranışını taklit etmek için bir makine tarafından ortaya konan zekâdır ve makine öğrenimi, bir bilgisayara açık bir şekilde programlama yapılmaksızın verilerden öğrenme yeteneği kazandırmak için istatistiksel tekniklerin kullanıldığı bir yapay zekâ alanıdır. Her ikisi de hızla inşaat endüstrisinin ayrılmaz parçaları haline gelmektedir. İnşaat sektöründeki birçok başka uygulamaların yanında İSG faaliyetlerinde de yararlanılabilecek yapay zekâ ve makine öğreniminin mevcut ve olası uygulamaları şunlardır [85, 106]:

- Makine öğrenimi, bir çözümün farklı varyasyonlarını keşfetmek ve mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemleri-

ni dikkate alarak tasarım alternatifleri oluşturmak ve bu sistemlerin rotalarının bina mimarisıyla çakışmamasını sağlamak için kullanılabilir.

- Yüksek düzeyde tekrarlayan görevleri üstlenmek için yapay zekâ güdümlü otomasyonu kullanmak, üretkenliği ve güvenliği önemli ölçüde artırabilirken, aynı zamanda sektörün işgücü eksikliğini de giderebilir.

- Yapay zekâ beton dökmek, tuğla duvar örmek veya kaynak yapmak gibi tekrarlayan görevleri yerine getirmek üzere makinelere güç sağlamak için kullanılabilir ki, bu daha az insan gücü dolayısıyla daha az tehlike anlamına gelir.

- Görsel işleme algoritmalarını kullanan yapay zekâ uygulamaları, risk izleme ve önleme ile ilgili güvenlik uzmanları için değerli araçlar olabilir. Yapay zekâ kullanımıyla, saha güvenlik tehlikeleri açısından izlenebilir, bir işçinin doğru KKD'yi giyip giymediğini anlamak için fotoğraflar ve tanıma teknolojisi kullanılabilir veya coğrafi konum kullanılarak tehlikeli bölgeler belirlenebilir ve çalışanlar uyarılabilir.

- Yapay zekâ kullanan güvenlik izleme çözümleri, toplu miktarda görsel veriyi tarayabilir ve belirlenen güvenlik gereksinimlerini karşılamayan personeli ve durumları belirleyebilir.

- **Wi-Fi 6 ve 5G**

Yeni yapı teknolojisinin evrimiyle birlikte, daha yüksek hızları ve daha büyük veri aktarımlarını desteklemek için güçlü, güvenilir bir bağlantı omurgası gerekmektedir. Bu omurga özellikle önümüzdeki on yıl içinde, günümüzden daha yoğun, daha karmaşık ve daha ağır yüklü olacak olan IoT ağları açısından son derece önemlidir. 5G, dijital hücresel ağlar için beşinci nesil kablosuz teknolojidir ve daha yüksek hızlara, daha iyi trafik işlemesine ve daha az tıkanık-

lığa sahiptir. Buna eşlik etmek için, Wi-Fi teknolojisinin en yeni standardı olan Wi-Fi 6 da öncelikle göre geliştirilmektedir. 5G ve Wi-Fi 6, kullanıcıların etkili bir şekilde iletişim kurmasına, büyük ölçekli çizimleri paylaşmasına, kaynak ağırlıklı uygulamaları hızlan/performanstan ödün vermeden çalıştırmasına olanak tanıyabilecektir. Yeni ve gelişmiş teknolojilerin kullanılacağı güvenilir ve güvenli bir iletişim ağı sağlayabilecektir [85, 107].

- **3D Baskı**

Üç boyutlu (3D) baskı, herhangi bir alet, kalıp ve fişür olmadan 3D bilgisayar destekli bir tasarım modelinden otomatik olarak karmaşık şekil geometrileri üretebilen gelişmiş bir üretim sürecidir. 3D baskının, özellikle malzeme tedarikindeki değişikliklere etkisi dikkate alındığında, inşaat sektörü için hızla vazgeçilmez bir teknoloji haline gelme potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 8).

Şekil 8: Dubai'de 17 günde bitirilen dünyanın en büyük 3D baskı binası [109].



3D baskı, tesis dışında veya doğrudan yerinde prefabrik üretim yapma olanağı sağlar. Geleneksel yapım yöntemlerine kıyasla, prefabrikasyon için önemli olan malzemeleri hızlıca basmak ve kullanıma hazır hale getirmek mümkündür. Malzemelerin hızlı teslimatına ve teknoloji sürecindeki ilave gereksiz adımların azaltılmasına olanak tanıyarak inşaat şirketleri için avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar doğrudan veya dolaylı olarak İSG uygulamalarını da desteklemektedir [108].

- **Bulut Teknolojisi**

Bulut teknolojisi, uygun yazılım uygulamalarını kullanarak uzak sunucularda depolanan verilere erişme, kullanma, değiştirme, paylaşma, kaydetme ve yönetme olanağını sağlar. İnternet bağlantısı ve yetkilendirmeye, bu uzak kaynaklara erişim, herkesin bulut hizmetleri için oturum açmasını sağlayan mobil teknolojiler tarafından desteklenir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe, bulut-BIM entegrasyonunun ikinci nesil bina bilgi yönetimi (BIM) gelişimi olduğu düşünülmekte ve inşaat sektöründe başka bir değişim dalgası oluşturması beklenmektedir. Mobil ve bulut teknolojileri, dijital deneyimi ve iş verimliliğini artırarak, gerçek zamanlı bilgileri etkinleştirerek, entegre işgücü teslimatı sağlayarak, organizasyonu ve üretkenliği artırarak, bütün bunlarla İSG'yi de artırarak inşaat sektörünün değişim ve gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [110].

III. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnşaat sektöründe İSG'nin sağlanmasına yönelik literatürdeki çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar incelendiğinde, akıllı sensörler ile veri aktarımında rol oynayan IoT ve RFID gibi teknolojilerin tüm diğer pratik uygulamalar için altyapı oluşturduğu, bu altyapıya dayalı olarak İSG tehditlerine karşı pratik kullanımı olan farklı uygulamalar geliştirildiği görülmektedir. Buna göre inşaat sektöründe İSG'ye yönelik kullanılan yeni teknolojileri Şekil 9'de verildiği şekilde özetlemek mümkündür.

Söz konusu teknolojileri önemli kılan hususların asıl olarak inşaat sektöründe çalışma ortamını İSG açısından bir fabrika veya ofis ortamından ayıran sektörün kendine has özellikleri olduğu görülmektedir.

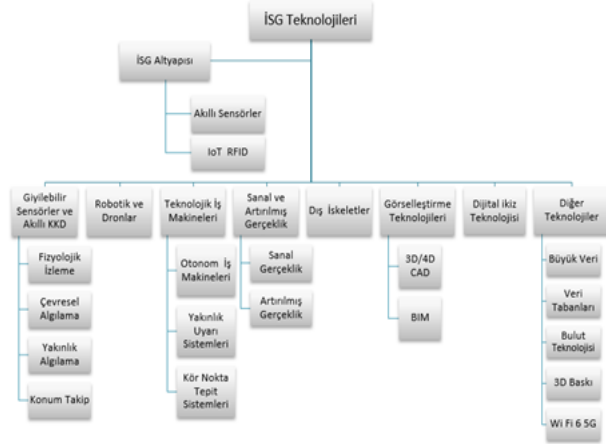
İnşaat işlerinin genellikle aşırı soğuk ve sıcak havaya ya da zemin kayganlığı ve tutunma güçlüğü oluşturan yağmur gibi doğal iklim şartlarına maruz bir şekilde gerçekleştiril-

mesi, çalışanlarda dikkat kaybı, çabuk yorulma, dalgınlık ve strese neden olarak iş kazası riskini artırmaktadır. Yine çalışma alanının genel olarak zemin seviyesinin üzerinde veya altında olması ve sürekli değişmesi, çalışan veya malzeme düşmesine bağlı kaza risklerini ciddi şekilde arttırmaktadır. Bu açılardan inşaat işçilerinin giyilebilir sensör ve akıllı KKD'lerle fizyolojik olarak izlenmesi önem kazanmaktadır. Çevresel algılama sensörleri bazı şantiyelerde inşaat sahasındaki hava kalitesi, sıcaklık, nem, gürültü, toz partikülleri, gaz sızıntısı ve uçucu organik bileşikler gibi işçilerin sağlık ve güvenliklerini tehdit eden maddelerin algılanarak tedbir alınabilmesi için son derece önemli olabilmektedir. Şantiyelerin çalışanların ve iş makinelerinin sistematigi olmayan sürekli bir hareketliliğin içinde olduğu alanlar olması yakınlık algılamayı önemli kılmaktadır. İnşaat faaliyetlerinin geniş ve dağınık bir alanda gerçekleşmesi ve inşaatın her aşamasında çalışma alanında aynı anda iş yapan birden çok çalışma grubunun ve çok çeşitli iş makinelerinin bulunması nedeniyle konum takip sistemleri şantiyenin İSG açısından izlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Şantiyelerde ağır kaldırma ve taşıma işlerinin sürekli olarak ve çoğunlukla insan gücü ile yapılması, işçilerin çoğu zaman el aletleri kullanarak uygunsuz pozisyonlarda çalışma zorunluluğu, düşme, çarpma, kayma ve ayak takılması gibi kaza risklerinin yanı sıra kas iskelet sistemi bozukluğu yaşama olasılıklarını artırmaktadır. Söz konusu risklerin önüne geçilebilmesi açısından bu tür işlerin robotlar vasıtası ile yapılmasının veya işçilerin dış iskelet ve güçlendirilmiş giysilerle donatılmasının ileride çok daha yaygınlaşması olasıdır.

Dronlar geniş alanlara yayılan şantiyelerin farklı bölgelerinde, yapı veya yapıların farklı katlarında çalışan işçilerin İSG açısından izlenip denetlenmesi mümkün hale getirmektedir.

Şekil 9: İnşaat Sektöründe İSG Teknolojileri



Günümüzde ağır iş makineleri kullanımı neredeyse her inşaat projesinde bir zorunluluk haline gelmiştir. Ne yazık ki, ağır iş makineleri doğru kullanılmadıklarında son derece tehlikeli hale gelmektedir. Şantiyelerde iş makineleri üzerinde veya yakınlarında çalışan birçok işçi araç devrilmesi, çarpması veya kaza içerisinde kalması nedeniyle yaralanmakta veya ölmektedir. Yaklaşık olarak tüm iş kazalarında %11 gibi bir paya sahip olan iş makineleri kazalarının [111] sonuçları diğer kazalara göre çok daha ciddidir ve ölüm oranı çok daha fazladır. Sürücülerini devreden çıkaran otonom makineler, yakınlık uyarı ve kör nokta tespit sistemleri gibi teknolojilerin geliştirilmesi, iş makinesi kaynaklı kaza ve ölümlerin azaltılması açısından önemlidir.

Her inşaat projesinin ve her şantiyenin fiziki boyutları, üretim yöntemleri, proje süresi, bölgenin iklim koşulları, zemin topoğrafyası gibi birçok açıdan kendine özgü şartlarının olması, bütün şantiyeler için denenmiş ve güvenilirliği ispatlanmış şablon İSG tedbirlerinin uygulanmasını imkânsız hale getirmektedir. Görselleştirme teknolojileri, dijital ikiz teknolojisi ve sanal ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler İSG risklerinin önceden tespit edilerek gerekli tedbirlerin alınmasını kolaylaştırmaktadır.

İnşaat sektöründe çalışanların eğitim seviyesinin genel olarak daha düşük olmasının yanısıra çalışan devir hızının

diğer sektörlerle kıyas edilemeyecek kadar yüksek olması, çalışanlara sürekli bir İSG eğitimi verilmesini güçleştirmektedir. Sektörde işlerin genellikle birbirlerinden farklı organizasyon ve iş disiplinlerine sahip altyükleniciler tarafından gerçekleştirilmesi ve disiplin anlayışları ile davranış kültürleri birbirlerinden farklı olan bu grupların çoğunlukla birbirlerinden bağımsız hareket etmesi ortak bir iş güvenliği kültürünün oluşmasının önünde önemli bir engeldir. Yine çalışanların genel olarak bireysel deneyimlerine ve çalışma alışkanlıklarına göre kendilerinin şekillendirdiği davranış kalıplarının bulunması, İSG ile ilişkili yanlış alışkanlıkların değiştirilmesini ve ortak bir davranış kalıbının geliştirilmesini zor hale getirmektedir. Bütün bu açılardan eğitim faaliyetlerini daha etkin, yararlı ve eğlenceli hale getirmek için görselleştirme teknolojileri ile sanal ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerden faydalanmak son derece yararlı olacaktır.

Sonuç olarak, inşaat sektörünün hem dünyada hem de Türkiye’de İSG açısından diğer sektörlerden olumsuz anlamda ayrışmasının, güvenlik kültürü oluşturulması veya yasal düzenlemeler gibi maddi olmayan ve KKD kullanımı gibi maddi hususların ötesinde tedbirler alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu açıdan teknolojik yenilikler, sektörü tehlikeli hale getiren ve mevcut tehlikelerin daha da büyümesine neden olan sektörün kendine özgü koşullarının üstesinden gelebilmek için iyi bir yol olarak gözükmektedir. Bu çalışma boyunca ortaya konulduğu üzere söz konusu teknolojik uygulamalara ilişkin hem bilimsel boyutta hem de endüstriyel ürün bazında çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu alanda yapılacak her türlü yatırımın, daha az kaza dolayısıyla daha az ölüm, yaralanma, iş göremezlik ve iş gücü kaybını sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Bu açıdan inşaat sektöründe ilgili paydaşların konu hakkındaki farkındalığının artırılması, gelişen bu teknolojik sürece uyum sağlamaları ve işlerine adapte etme-

leri açısından son derece önemlidir. Çalışmanın bu anlamda önemli bir başlangıç noktası olacağı değerlendirilmektedir. İlerleyen çalışmalarda, Türk inşaat sektöründe İSG uzmanları, yönetici ve teknik personelin konuyla ilgili bilgi düzeylerinin görüşmeler veya anketler yolu ile ölçülmesi, bahse konu teknolojilerin sahada uygulanarak etkinlik düzeylerinin ölçülmesi faydalı olacaktır.

YAZAR KATKILARI: Yazarların katkıları eşit düzeydedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını, makalede araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan ederler.

FINANSAL DESTEK: Bu çalışmada herhangi bir kişi, kurum veya kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

ETİK KOMİTE ONAYI: İnsan örneği veya deneysel çalışma içermediğinden etik kurulu oluru gerekmemiştir.

KAYNAKÇA

- [1] A. G. Şat Sezgin ve A. Aşarkaya. "İnşaat Sektörü" Türkiye İş Bankası İktisadi Araştırmalar Bölümü, 2017.
- [2] ÇSGB, T.C. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, "İnşaat Sektöründe İş Sağlığı Gözetim Rehberi," 2018.
- [3] SGK "İstatistik Yıllıkları," http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari (erişim tarihi 10 Şubat 2021)
- [4] B.Y. Jeong, "Occupational deaths and injuries in the construction industry," *Applied Ergonomics*, vol. 29, no. 5, pp. 355-360, 1998.
- [5] P. Kines, "Construction workers' falls through roofs: Fatal versus serious injuries," *Journal of Safety Research*, vol. 33, no. 2, pp. 195-208, 2002.
- [6] C. W. Liao ve Y. H. Perng, "Data mining for occupational injuries in the Taiwan construction industry," *Safety Science*, vol. 46, no.7, pp. 1091-1102, 2008.
- [7] M. E. Öcal, "İnşaat sektöründe görülen iş kazaları," *İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, 14, 2006.
- [8] T., Cheng, G. C. Migliaccio, J. Teizer ve U. C. Gatti, "Data fusion of real-time location sensing and physiological status monitoring for ergonomics analysis of construction workers," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 27, no. 3, pp. 320-335, 2013.
- [9] "Using Technology to Improve Safety in the Workplace" <https://jesi.io/using-technology-improve-safety-workplace/>, (erişim tarihi 25 Şubat 2021)
- [10] G.T.A. Kovacs, *Micromachined Transducers Sourcebook*. WCB/McGraw-Hill, 1998.
- [11] R. Frank, *Understanding Smart Sensors*. 2nd Edition. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2000.
- [12] R. U. Sonje ve S.V. Borde, "Microelectromechanical systems (Mems)," *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, pp. 102-105, 2014.
- [13] K. Bremer, F. Weigand, Y. Zheng, L. S. Alwis, R. Helbig ve B. Roth, "Structural health monitoring using textile reinforcement structures with integrated optical fiber sensors," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 2, pp. 1-11, 2017.
- [14] M.,Zhang, T. Cao ve X. Zhao, "Applying Sensor-Based Technology to Improve Construction Safety Management," *Sensors*, vol. 17 no. 8, pp. 1-24, 2017.
- [15] S. Ahsan, A. El-Hamalawi, D. Bouchlaghem ve S. Ahmad, "Mobile technologies for improved collaboration on construction sites," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 3 no. 4, pp. 257-272. 2007.
- [16] "10 Types of Technology That Make Construction Sites Safer," <https://mobilevideoguard.com/10-types-of-technology-that-make-construction-sites-safer/> (erişim tarihi 21 Ocak 2021)
- [17] K. Jones, "How Technology is Improving Construction Site Safety," 2017. <https://www.constructconnect.com/blog/how-technology-is-improving-construction-sites-safety> (erişim tarihi 20 Ocak 2021)
- [18] P. Bonato, "Advances in wearable technology for rehabilitation," *Stud Health Technol Inform*, no. 145, pp. 145-159, 2009.
- [19] S. Hiremath, G. Yang ve K. Mankodiya, "Wearable Internet of Things: Concept, architectural components and promises for person-centered healthcare," In 2014 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare-Transforming Healthcare Through Innovations in

- Mobile and Wireless Technologies (MOBIHEALTH), pp. 304-307, 2014.
- [20] M. Sung, C. Marci ve A. Pentland, "Wearable feedback systems for rehabilitation," *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol. 2, no. 1, pp. 1-12, 2005.
- [21] I. Awolusi, E. Marks ve M. Hallowell, "Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices." *Automation in Construction*, no. 85, pp. 96-106, 2018.
- [22] I. Awolusi, C. Nnaji, E. Marks ve M. Hallowell, "Enhancing construction safety monitoring through the application of internet of things and wearable sensing devices: A review." *Computing in civil engineering : Data, Sensing, and Analytics*, pp. 530-538, 2019.
- [23] U. C. Gatti, G. C. Migliaccio, ve S. Schneider, "Wearable physiological status monitors for measuring and evaluating workers' physical strain: Preliminary validation," In *Computing in Civil Engineering*, pp. 194-201, 2011.
- [24] X. Shen, I. Awolusi ve E. Marks, "Construction equipment operator physiological data assessment and tracking," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, vol. 22, no. 4, 04017006, 2017.
- [25] C. R. Ahn, S. Lee, C. Sun, H. Jebelli, K. Yang ve B. Choi, "Wearable sensing technology applications in construction safety and health," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 11, 03119007, 2019.
- [26] R. Edirisinghe, "Digital skin of the construction site. Engineering," *Construction and Architectural Management*, 2019.
- [27] H. Guo, Y. Yu ve M. Skitmore, "Visualization technology-based construction safety management: a review," *Automation in Construction*, no. 73, 135-144, 2017.
- [28] M. K. Tsai, "Applying physiological status monitoring in improving construction safety management," *KSCCE Journal of Civil Engineering*, pp. 2061-2066, 2017.
- [29] "Top 5 construction technologies to keep you safe," <https://www.letsbuild.com/blog/top-5-construction-technologies-to-keep-you-safe> (erişim tarihi 12 Şubat 2021)
- [30] E. Marks ve J. Teizer, "Proximity sensing and warning technology for heavy construction equipment operation," In *Construction research congress 2012: Construction challenges in a flat World*, pp. 981-990, 2012.
- [31] S. Choe, F. Leite, D. Seedah ve C. Caldas, "Evaluation of sensing technology for the prevention of backover accidents in construction work zones," *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 19, no. 1, pp. 1-19, 2014.
- [32] J. Park, K. Kim ve Y. K. Cho, Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, no. 2, 2017.
- [33] J. Wang ve S. N. Razavi, "Low false alarm rate model for unsafe-proximity detection in construction," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, 04015005, 2016.
- [34] J. Li, J. Carr ve C. Jobes, "A shell-based magnetic field model for magnetic proximity detection systems," *Safety Science*, vol. 50, no. 3, pp. 463-471, 2012.
- [35] "Inside Construction" <https://www.insideconstruction.com.au/section/industry-news/visibility-on-construction-sites-equals-safety/> (erişim tarihi 12 Ocak 2021)
- [36] J. S. Lim, K. I. Song ve H. L. Lee, "Real-Time Location Tracking of Multiple Construction Laborers," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 11, 1869, 2016.
- [37] A. Papastolou ve H. Chaouchi, "RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, no. 3, pp. 902-913, 2011.
- [38] W. Zhou, J. Whyte ve R. Sacks, "Construction safety and digital design: A review," *Automation in Construction*, no. 22, pp. 102-111, 2012.
- [39] A. Shahi, A. Aryan, J. S. West, C. T. Haas ve R. C. G. Haas, "Deterioration of UWB positioning during construction," *Automation in Construction*, no. 24, pp. 72-80, 2012.
- [40] C. E. Fullerton, B. S. Allread ve J. Teizer, "Pro-Active-Real-Time personnel warning system," *Construction Research Congress*, pp. 31-40, 2009.
- [41] M. R. Hallowell, J. Teizer ve W. Blaney, "Application of sensing technology to safety management," *Construction Research Congress*, pp. 31-40, 2010.
- [42] Occupational Safety and Health Administration

- (OSHA), "Worker safety series: construction, United States department of labor 2017," <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3252/3252.html>. (erişim tarihi 23 Ocak 2021)
- [43] J. Teizer, B. S. Allread ve U. Mantripragada, "Automating the blind spot measurement of construction equipment," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 4, pp. 491-501, 2010.
- [44] "Smart Vests Keep Construction Workers Safe," <https://www.femoran.com/hvac-plumbing-construction-blog/smart-vests-keep-construction-workers-safe> (erişim tarihi 11 Şubat 2021)
- [45] Y. Jin, S. A. Naeem ve H. E. Shumway, "Fall Detection and Posture Monitoring System" (Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute), 2019.
- [46] S. Y. Yin, H. P. Tserng, J. C. Wang ve S. C. Tsai, "Developing a precast production management system using RFID technology," *Automation in Construction*, vol. 18, no. 5, pp. 677-691, 2009.
- [47] R. Lia ve T. H. Leung, "Leading safety indicators and automated tools in the construction industry," In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (Vol. 34). IAARC Publications, 2017.
- [48] Y. Zhou, L. Y. Ding ve L. J. Chen, "Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction," *Automation in Construction*, no. 34, pp. 25-36, 2013.
- [49] W. Wu, H. Yang, D. A. Chew, S. H. Yang, A. G. Gibb ve Q. Li, "Towards an autonomous real-time tracking system of near-miss accidents on construction sites," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 2, pp. 134-141, 2010.
- [50] M. Abderrahim, E. Garcia, R. Diez ve C. Balaguer, "A mechatronics security system for the construction site," *Automation in Construction*, vol. 14, no. 4, pp. 460-466, 2005.
- [51] S. O. Cheung, K. K. Cheung ve H. C. Suen, CSHM: "Web-based safety and health monitoring system for construction management," *Journal of Safety Research*, vol. 35, no. 2, pp. 159-170, 2004.
- [52] D. Niewolny, "How the Internet of Things Is Revolutionizing Healthcare," *White Pap.*, pp. 3-5, 2013.
- [53] Q. Jing, A. Vasilakos, J. Wan, J. Lu ve D. Qiu, "Security of the Internet of Things: Perspectives and challenges," *Wireless Networks*, no. 20, pp. 2481-2501, 2014.
- [54] E. Hopah ve O. Vayvay, "Internet of Things (IoT) and its Challenges for Usability in Developing Countries," *International Journal of Innovation Engineering and Science Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1-9, 2018.
- [55] N. Azmy ve A. Zain, "The applications of technology in enhancing safety and health aspects on Malaysian construction projects," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, no. 11, pp. 7209-7213, 2016.
- [56] B. Chu, K. Jung, M.T. Lim ve D. Hong, "Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I)," *Automation in Construction*, no. 32, pp. 46-61, 2013.
- [57] T. Bock, T. Linner ve W. Ikeda, "Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment, the future of humanoid robots - research and applications," *Intechopen*, 2012.
- [58] Y. Niu, W. Lu ve D. Liu, "The application scenarios of smart construction objects (SCOs) in Construction," Proceedings of the 20th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, pp. 969-980, 2017.
- [59] H. A. Yu, Knowledge-based system for construction health and safety competence assessment, University of Wolverhampton. United Kingdom, 2009.
- [60] Construction Robotics, <https://www.construction-robotics.com/sam100/> (erişim tarihi 5 Ocak 2021)
- [61] K. Hooker, "Advantages of Demolition Robots," https://www.concreteconstruction.net/how-to/repair/advantages-of-demolition-robots_o (erişim tarihi 14 Ocak 2021)
- [62] C. Balaguer ve M. Abderrahim, "Trends in Robotics and Automation in Construction Robotics," *Intechopen*, 2008
- [63] J. Howard, V. Murashov, ve C. M. Branche, "Unmanned aerial vehicles in construction and worker safety," *American Journal of Industrial Medicine*, pp. 3-10, 2017.
- [64] C. Nnaji, J. Gambatese, H. W. Lee ve F. Zhang, "Improving construction work zone safety using technology: A systematic review of applicable Technologies," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 61-75, 2020.
- [65] Royal Truck ve Equipment, "Attenuator Truck - What is it?" <https://royaltruckandequipment.com/attenuator-truck/> (erişim tarihi 14 Ocak 2021)

- [66] Businesswire, "Komatsu First to Operate Autonomous Haulage System over Dedicated Private LTE Network," <https://www.businesswire.com/news/home/20190120005012/> (erişim tarihi 21 Şubat 2021)
- [67] J. Park, E. Marks, Y. K. Cho ve W. Suryanto, "Performance test of wireless technologies for personnel and equipment proximity sensing in work zones," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 1, 04015049, 2016.
- [68] B. W. Jo, Y. S. Lee, J. H. Kim, D. K. Kim ve P. H. Choi, "Proximity warning and excavator control system for prevention of collision accidents," *Sustainability*, vol. 9, no. 8, 1488, 2017.
- [69] J. Teizer, B. S. Allread, C. E. Fullerton ve J. Hinze, "Autonomous pro-active realtime construction worker and equipment operator proximity safety alert system," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 5, pp. 630–640, 2010.
- [70] X. Yang, J. Park, ve Y. K. Cho, "Adaptive signal-processing for BLE sensors for dynamic construction proximity safety applications," In Construction Research Congress., March, 2018.
- [71] NSW, https://www.rms.nsw.gov.au/business-industry/partnerssuppliers/documents/technical-manuals/delineation/delineationsect1v11_i.pdf (erişim tarihi 19 Ocak 2021)
- [72] D. Bouchlaghem, H. Shang, J. Whyte ve A. Ganah, "Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC)," *Automation in Construction*, vol. 14, no. 3, pp. 287-295, 2005.
- [73] Q. T. Le, A. Pedro ve C. S. Park, "A social virtual reality-based construction safety education system for experiential learning," *Journal of Intelligent ve Robotic Systems*, vol. 79, no. 3, pp. 487-506, 2015.
- [74] Z. Zhou, J. Irizarry ve Q. Li, "Applying advanced technology to improve safety management in the construction industry: a literature review," *Construction Management and Economics*, vol. 31, no. 6, pp. 606-622, 2013.
- [75] M. A. Froehlich ve S. Azhar, "Investigating virtual reality headset applications in construction," In Proceedings of the 52nd Associated Schools of Construction Annual International Conference, 13-16, Nisan, 2016.
- [76] A. Agrawal, G. Acharya, K. Balasubramanian, N. Agrawa ve R. Chaturvedi, "A review on the use of augmented reality to generate safety awareness and enhance emergency response," *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 813-820, 2016.
- [77] J. Akyeampong, S. J. Udoka ve E. H. Park, "A hydraulic excavator augmented reality simulator for operator training, In Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp. 1511-1518, 2012.
- [78] M., Golparvar-Fard, F. Pena-Mora ve S. Savarese, "D4AR—a 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 14, no. 13, pp. 129-153, 2009.
- [79] S. Rajendran ve B. Clarke, "Building Information Modeling: Safety benefits and opportunities," *Professional Safety*, pp. 44-51, 2011.
- [80] S. Azhar, A. Bahringer, M. Khalfan, A. Sattineni ve T. Maqsood, "BIM for Facilitating Construction Safety Planning and Management at Jobsite," Proceeding of the CIB W099 International Conference on Modelling and Building Health and Safety, pp. 82-92, 2012.
- [81] R. Rwamamara, H. Noreberg, T. Olofson ve O. Lagerqvist, "Using visualization technologies for design and planning of a healthy construction," *Workplace, Construction Innovation*, no. 10, pp. 248-266, 2010.
- [82] Mallasi, Z. "Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilizing 4D visualization," *Automation in Construction*, no. 15, pp. 640–655, 2006.
- [83] V Benjaoran ve S Bhokha, "Enhancing visualization of 4D CAD model compared to conventional methods," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 16, no. 4, pp. 392-408, 2009.
- [84] X. Zhu, S. K. Mukhopadhyay ve H. A. Kurata, "Review of RFID technology and its managerial applications in different industries," *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 29, no. 1, pp. 152-167, 2012.
- [85] UK Connect, 10 Construction Technology Trends Impacting the Industry in 2022 <https://ukconnect.com/construction-technology-trends/> (erişim tarihi 8 Nisan 2021)
- [86] K. Ku ve T. Miles, "Research needs for Building Information Modelling for Construction Safety," International Proceedings of Associated Schools of Construction 45th Annual Conference, Boston, MA. 2010.

- [87] J. Qi, R. Issa, J. Hinze ve S. Olbina, "Integration of safety in design through the use of building information modeling," International Conference on Computing in Civil Engineering, Miami, U.S., pp. 698-705, 2011.
- [88] S. A. Talmaki, S. Dong ve V. R. Kamat, "Geospatial databases and augmented reality visualization for improving safety in urban excavation operations," In Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, 91-101, 2010.
- [89] American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS). U.S. Bone and Joint Initiative. The Burden of Musculoskeletal Diseases in the United States. 3rd Ed. Rosemont, Illinois: U.S., 2016.
- [90] E. Yelin, S. Weinstein ve T. King, "The burden of musculoskeletal diseases in the United States," In *Seminars in arthritis and rheumatism*, vol. 46, no. 3, pp. 259-260, Aralık 2016.
- [91] R., Bostelman, E., Messina, ve S. Foufou, "Cross-industry standard test method developments: from manufacturing to wearable robots," *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, vol. 18, no. 10, 1447-1457, 2017.
- [92] B. Marinov, "Types and classifications of exoskeletons. Exoskeleton Report," 2015.
- [93] M. P. De Looze, T. Bosch, F. Krause, K. Stadler ve L. O'sullivan, "Industrial applications of exoskeletons and their impact on physical loads," *Ergonomics*, vol. 59, no. 5, pp. 671-681, 2015.
- [94] T. Bosch, J. Van Eck, K. Knitel ve M. De Looze, "The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work," *Applied Ergonomics*, no. 54, pp. 212-217, 2016.
- [95] Y. K. Cho, K. Kim, S. Ma ve J. A. Ueda, "Robotic wearable exoskeleton for construction worker's safety and health," In ASCE Construction Research Congress, pp. 19-28, 2018.
- [96] T. Butler ve D. Wisner, "Exoskeleton technology: Making workers safer and more productive," In ASSE Professional Development Conference and Exposition. American Society of Safety Engineers. Ocak, 2017.
- [97] E. Rashedi, S. Kim, M. A. Nussbaum ve M. J. Agnew, "Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work," *Ergonomics*, vol. 57, no. 12, pp. 1864-1874, 2014.
- [98] S. Kim, M. A. Nussbaum, M. I. M. Esfahani, M. M. Alemi, S. Abdulkarim ve E. Rashedi, "Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I- "Expected" effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance," *Applied Ergonomics*, no. 70, pp. 315-322, 2018.
- [99] M. A. Smets, "Field evaluation of arm-support exoskeletons for overhead work applications in automotive assembly," *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, vol. 7, no. 3-4, pp. 192-198, 2019.
- [100] Consumer Product Safety Commission, Potential hazards associated with emerging and future Technologies, Staff Report, 2017.
- [101] "Exoskeleton set to take the strain for construction workers" <https://www.thenbs.com/knowledge/exoskeleton-set-to-take-the-strain-for-construction-workers> (erişim tarihi 11 Şubat 2021)
- [102] J. Howard, V. V. Murashov, B. D. Lowe ve M. L. Lu, "Industrial exoskeletons: Need for intervention effectiveness research," *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 63, no. 3, pp. 201-208, 2020.
- [103] IBM Digital Twin: Helping Machines Tell Their Story. (2019). <https://www.maximo.ae/news/news-insights-3/> (erişim tarihi 11 Ocak 2021)
- [104] M. Grieves, "Origin of The Digital Twin Concept," Florida Institute of Technology. NASA, Working Paper, 2016.
- [105] Dodge Data and Analytics Safety Management in the Construction Industry, "Smart Market Report," Bedford, MA, 2017.
- [106] R. Chakkravarthy, "Artificial intelligence for construction safety," *Professional Safety*, vol. 64, no. 1, 46, 2019.
- [107] V. K. Reja ve K. Varghese, "Impact of 5G technology on IoT applications in construction project management," In ISARC. Proc. Int. Symp. Autom. Robot. Constr, vol. 36, pp. 209-217, Mayıs 2019.
- [108] Y. W. D. Tay, B. Panda, S. C. Paul, N. A. Noor Mohamed, M. J. Tan ve K. F. Leong, "3D printing trends in building and construction industry: a review." *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, no. 3, 261-276, 2017.
- [109] Archdaily, "Dubai Municipality to Become the World's Largest 3D-Printed Building" <https://www.archdaily.com/930857/dubai-municipality-to-become-the-worlds-largest-3d-printed-building>, (erişim tarihi 10 Şubat 2021)
- [110] J. Wong, X. Wang, H. Li ve G. A. Chan, "Review

of cloud-based BIM technology in the construction sector,” *Journal of Information Technology in Construction*, no. 19, pp. 281-291, 2014.

- [111] G. E. Güranlı, U. Müngen ve M. Akad, “Construction Equipment and Motor Vehicle Related Injuries on Construction Sites in Turkey,” *Industrial Health*, vol. 46, no. 4, pp. 375-388, 2008.