

# İnşaat Projelerinde Kör Noktalardan Kaynaklanan İş Kazalarını Önleme Sistemi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Serkan KIVRAK\***

Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye

(Geliş/Received : 17.03.2017 ; Kabul/Accepted : 22.06.2017)

## ÖZ

İnşaat sektörü iş kazaları açısından en riskli sektörlerden biri olarak bilinmektedir. İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği istatistiklerine göre yüksekten düşme ve ekipman kazaları, iş kazalarının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu tip kazalara neden olan en önemli etkenlerden biri inşaat ekipmanlarında ve döşeme boşlukları gibi tehlikeli yerlerde var olan kör noktalardır. Bu çalışmada inşaat projelerinde kör noktalardan kaynaklanan iş kazalarının önlenmesine yönelik bir iş güvenliği sistemi geliştirilmiştir. Sistemde sensörler, RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) ve GPS (Küresel Konumlama Sistemi) kullanılmıştır. Sistem, temsili laboratuvar-şantiyede test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, sistemin şantiyelerde kör noktalardan kaynaklanan iş kazalarını azaltmada önemli katkılar sağlayacağı öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat sektörü, iş kazaları, kör noktalar, sensörler.

## Job Accident Prevention System for Accidents Caused by Blind Spots in Construction Projects

### ABSTRACT

The construction industry has been recognized as one of the most hazardous industries. According to the health and safety statistics in construction, fall from height and equipment related accidents comprise the majority of construction accidents. One of the main factors causing this type of accidents are blind spots which exist in construction equipment and dangerous areas such as slab openings. In this study, a safety system has been developed to prevent accidents caused by blind spots in construction projects. In this system, sensors, RFID (Radio Frequency Identification) and GPS (Global Positioning System) have been used. The system is tested on simulated construction site. Based on the test results, it has been proposed that the system can significantly reduce construction accidents caused by blind spots.

**Keywords:** Construction industry, job accidents, blind spots, sensors

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnşaat sektörü, istatistiklere göre iş kazası ve kaza sonucu ölümlü ve ağır yaralanmalı olay sayısı bakımından tüm sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır [1]. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının çok yetersiz olduğu araştırmacılar tarafından sıkça dile getirilen bir husustur [2]. Dünyada özellikle son yıllarda inşaat firmalarının iş sağlığı ve güvenliği konusuna daha fazla önem verdikleri görülmektedir [3]. İş kazalarının yol açtığı manevi zararların yanı sıra kazalar sonucu ödenen tazminat ve sigorta maliyetleri, dünyadaki inşaat firmalarının iş güvenliğine daha fazla odaklanmalarını sağlayan önemli etkenlerdendir. Ayrıca, dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde inşaat firmalarının başarısı projelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını başarılı bir şekilde tamamlamaları ile değerlendirilmektedir [4]. Gelişmiş ülkelerde inşaat sektöründeki ölümler, artık iş yapmanın bir parçası olarak kabul edilmemektedir [1]. Dünyanın önde gelen inşaat firmaları iş sağlığı ve güvenliği

uygulamalarını verimli bir biçimde firmalarına adapte etmekte ve ‘sıfır kaza politikası’ni kendilerine bir hedef olarak ortaya koymaktadır [5]. Ayrıca bu firmalar, güvenlik uygulamalarında gelişmiş teknolojileri adapte ederek etkili bir iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ile iş kazalarını minimuma indirmeyi amaçlamaktadır.

İş kazaları temelde güvensiz davranışlar ve güvensiz durumlar nedeniyle meydana gelmektedir. Güvensiz davranışlar, çalışanların davranışlarından kaynaklanan kişisel faktörlerdir. Tehlikelerin önemsenmemesi ve kişisel koruyucu malzeme kullanımı yetersizliği güvensiz davranışlara örnek olarak verilebilir. Güvensiz durumlar ise saha koşullarının uygunsuzluğu, ekipmanın niteliği, araç ve ekipmanın bakım ve kontrollerinin yapılmaması ve kör noktalar gibi işyerinde her an kazaya yol açabilecek şartların varlığıdır. Araştırmalara göre kör noktalar, engeller ve aydınlatma koşulları görüş oranının düşüklüğünden kaynaklanan ölümlerin en yaygın nedenleri olmuştur. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde görüşün yetersiz olmasından kaynaklanan ölümler, 1990-2007 yılları arasında inşaat sektöründe meydana gelen ölümlerin yaklaşık %5’ini oluşturmaktadır [6]. Kör noktalar, operatörün görüş

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : serkankivrak@anadolu.edu.tr

alanını kısıtlayarak yerdeki malzeme ve çalışma alanlarındaki diğer ekipmanı ve personeli görmelerini engelledikleri için sorun yaratmaktadır [7]. Dolayısıyla inşaat projelerinde kör noktaların varlığını tanımlayabilecek ve kör noktalardan kaynaklanan kazaları önleyebilecek sistemlerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Şimdiye kadar şantiyelerde kör noktalardan kaynaklı kazaları engellemek amacıyla yapılan çalışmalar nispeten az sayıdadır ve şantiye uygulamalarında bazı kısıtlamalara sahiptir. Bu çalışmada inşaat projelerinde kör noktalardan kaynaklanan iş kazalarının önlenmesine yönelik yenilikçi bir iş güvenliği sistemi geliştirilmiştir. Sistemin inşaat projelerinde kör nokta kaynaklı iş kazalarını azaltmada önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

## 2. İNŞAAT PROJELERİNDE KÖR NOKTALAR (BLIND SPOTS IN CONSTRUCTION PROJECTS)

Kör noktalar, sahada görünmeyen veya görünme ihtimali düşük olan ve kazaya neden olabilecek bölgeler olarak tanımlanabilir. Kör noktaların kaynakları; insan fizyolojisinden kaynaklanan görme ve algılama sınırları, iş makinelerinin operatöre yarattığı görme ve algılama engelleri, ve şantiye ya da yapıdan kaynaklanan doğal tehlikeli iş ortamları olarak 3 kısım halinde incelenebilir [8]. Bu kaynakların her biri bir işçinin hayatını ciddi bir biçimde tehdit etme potansiyeline sahiptir.

İnşaat ekipmanları kazaları çoğu zaman görüşün yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Yağmur, toz ve çatlama veya kirli pencereler, sınırlı görüşün sebepleri arasında yer almaktadır. Bir ekipmanın hareketi; operatörün görüş alanı, reaksiyon zamanı ve dikkat/odak seviyesinden etkilenmektedir. Bu faktörlerden herhangi birinde bir sorun yaşanması durumunda kaza olma ihtimali yükselmektedir [9]. Ekipman operatörleri özellikle geri manevralarda aracın arka kısmını görmemeleri sonucunda kazaya neden olmaktadır. Ekipmanlardaki düşük görme açısı kör noktaları artırıp, operatörün ve işçilerin kaza yapmalarına neden olmaktadır [10]. Akademik araştırmaların yanı sıra otomobil üreticileri, kör noktalara çözüm üretmek için üç farklı yöntem geliştirmiştir. İlk çözüm, standart aynaların içine eklenmiş, görüş alanını genişleten dışbükey şeklindeki küçük kör nokta aynalarının kullanımıdır. Daha kullanışlı ve düşük maliyetli olan ikinci yöntem ise kapalı devre televizyon sisteminin kullanılmasıdır. Bu çözüm araç kabini içindeki ekrana odaklanmayı gerektirmesi nedeniyle operatör için dikkat dağıtıcı olabilmektedir [11]. Üçüncü yöntem ise daha gelişmiş kör nokta monitör veya alarm sistemi kurulmasıdır [12].

Görüşün düşük olmasından kaynaklanan kazaların nedenleri; atmosferik engeller, genel engeller, çok aydınlık ortam, çok karanlık ortam ve kör noktalar olarak 5 farklı kategoride incelenebilir. Hava durumundan kaynaklanan engeller, görüş mesafesini ve operatörlerin doğruluk düzeyini düşürücü etkiye sahiptir. Kötü hava koşulları; farlar, ön cam ve işaretler üzerindeki etkileriyle görünürlük düzeyini düşürmektedir. İkinci kategorideki

engeller, operatörün çevresindeki işçilerle arasındaki görüşü bloke eden durumları kapsamaktadır. Bu duruma örnek olarak işçinin görüşünü engelleyen toprak yığınları veya dolgu malzemeleri verilebilir. Çok aydınlık ortam kategorisi, ani parlaklık ya da karanlık bir ortamdaki aydınlık bir ortama geçişte göz kamaşması yaratarak çevrede yer alan objelere dair referans noktasını yitirmenin sebep olduğu kazaları içermektedir. Dördüncü kategori olan çok karanlık ortam, aydınlatmanın yetersiz olduğunda gözlenmektedir. Bu kategori, çoğunlukla gün doğumu ve batımı zamanı yetersiz aydınlatma eşliğinde yapılan çalışmalarda işçi yaralanmalarını ya da ölümlerini kapsamaktadır [13]. Beşinci kategoriye kör noktalar oluşturmaktadır. Kör noktalar, operatörün görüş alanını kısıtlamaları nedeniyle kazaya neden olabilmektedir.

İnşaat ekipmanları çoğunlukla yerden yüksek sürüşü olan ve büyük lastik üzerinde konumlandırılmış taşıma araçlarıdır. Örneğin damperli kamyon, malzemenin düşmesini engellemek için her tarafı kapalı olan bir taşıma alanına sahiptir. Bu alan "kör nokta" yaratarak operatörü sınırlı görüş alanı sağlayan dikiz aynalarını kullanmayı zorunlu kılar. Dikiz aynalarının civarında ve kamyon kasasının arkasındaki objeler çoğunlukla görüşün dışında kalmakta ve geri manevranın gerekli olduğu zamanlarda tehlikeli durumlar yaratmaktadır. Hinze ve Teizer'in [13] yaptıkları çalışmaların sonuçlarına göre ekipmanların geri manevralarında gerçekleşen kazaların sayısı ekipmanların ileri giderken gerçekleşen kazaların sayısının yaklaşık dört katıdır. Kör nokta oranı karşılaştırıldığında, ekipmanların geri manevra esnasında yaşanan kaza sayısının yüksek olması ekipmanların hareket esnasındaki kör nokta oranları ile doğru orantılıdır. Günümüzde ekipmanların geri manevralarında operatörleri kör noktalar konusunda uyararak için geliştirilmiş uyarı sistemleri mevcuttur. Görsel ya da radar tabanlı algılama ve uyarı sistemleri inşaat sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bazı ekipmanların ileri giderken daha yüksek kaza oranlarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Hinze ve Teizer [13] bu durumu ekipman aksamının yarattığı hareketli kör noktalarla açıklamaktadır. Örneğin ekskavatör kovanının sürekli hareket halinde olması, ekskavatörün yakınında çalışan bir işçinin görüş alanının dışında kalması tehlikesini oluşturmaktadır.

Teizer ve ark. [7], şantiyelerde kör noktaları belirlemek amacıyla lazer tarayıcıları kullanmıştır. Ekskavatörler, damperli kamyonlar, greyderler, silindirler, lastikli yükleyiciler ve küçük ağır ekipmanlar gibi araçların dışına ve kabinin içindeki sürücü koltuğuna lazer tarayıcı monte edilerek lazer taraması yapılmıştır. Teizer ve ark. [7], 3 boyutlu lazer tarayıcı tarafından toplanan verilerin analiz edilmesi için ışın izleme algoritması kullanmıştır. Işın izleme, sürücünün durduğu yerden mükemmel bir ışık kaynağı kullanma fikrine benzerdir. Teizer ve ark. [7] yönteminin bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. En önemli problemlerden biri kör noktaları tespit eden lazerin uzaklık ve açısal kısıtlamalarıdır. Örneğin; lazer

tarayıcıların bir kısmı 0,6 m'den daha yakın ve  $3\pi/4 \leq \theta \leq \pi$  aralığında olan noktaları okuyamamaktadır.

Teizer ve ark.'nın [7] çalışmasına benzer bir diğer araştırma Lee ve ark. [14] tarafından gerçekleştirilmiştir. Lee ve ark. [14] RFID teknolojisini kullanmış, ek olarak RTLS sistemini (Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemi) iş güvenliği yönetim sistemine dahil etmişlerdir. Geliştirdikleri sistem RFID'nin bilgi depolama, transfer kapasitesi ve görece ucuz montaj maliyeti gibi faydalarına sahip olarak şantiyeler için uygulamada etkili bir yöntem önermektedir. Lee ve ark. [14], çalışmalarında LOS ve NLOS olmak üzere iki çeşit ortam tanımlamışlardır. LOS (Açık Görüş Hattı); verici ve okuyucular arasında iletişimi ve sinyal transferini olumsuz etkileyecek herhangi bir engelin olmadığı ortamlardır. NLOS (Açık Olmayan Görüş Hattı); verici ve okuyucular arasında iletişimi ve sinyal transferini olumsuz etkileyecek engellerin (duvar, malzeme, ekipman, işçi vb.) olduğu ortamlardır ve şantiyelerin büyük çoğunluğu NLOS ortamlarından oluşmaktadır. Lee ve ark.'nın [14] geliştirdiği sistemin odak noktası sinyal elverişliliğinin iyileştirilmesi olmuştur. Geliştirilen sistemde gerçek ve tahmin edilen koordinatlar arasında hatalar çıkmasına rağmen, özellikle çelik yapılarda uygulanabileceği öngörülmüştür.

Kör noktaların diğer bir türü de hareket halinde olan kör noktalar. Hareketli kör noktalar, operatörün çok daha dikkatli bir şekilde çalışmasını ve sahadaki işçilere ve engellere karşı dikkatli olmasını gerektirmektedir. İnşaat ekipmanları ve işçilerin dışında şantiyenin kendi fiziki şartlarından kaynaklanan kör noktalar mevcuttur. Şantiyedeki kör noktalar genellikle proje uygulama planları ya da yapım aşamalarından kaynaklanan bölgelerdir. Örneğin döşeme boşlukları, inşaat işlerinin aşamalı yapılmasından kaynaklanan kör noktalardan biri olarak gösterilebilir. Şantiyelerdeki kazalara neden olan diğer boşluk tipi binaların çatısında oluşan boşluklardır. Çatının döşenmesi ya da tamir aşamasında işçinin kontrol ve dengesini kaybedip boşluğa düşmesiyle meydana gelen kazalara sıkça rastlanmaktadır. Bu tip kazalara neden olan faktörlerin başında işçinin görüş açısından kaynaklanan kör nokta alanları gelmektedir.

Literatürde yer alan çalışmaların inşaat projelerinde kör noktalardan kaynaklanan kazaların önlenmesine yönelik çok önemli katkıları olmuştur. Ancak bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar halen nispeten sınırlıdır ve uygulamada bazı kısıtlamalara sahiptir. Bu çalışmada sensörler, RFID, GPS teknolojileri ile birlikte hareket/hareketsizlik sensörleri de kullanılarak kör nokta kaynaklı kazaların önlenmesine yönelik literatüre ve sektöre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

### 3. SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ (DEVELOPMENT OF THE SYSTEM)

Bu çalışmada inşaat projelerinde kör noktalardan kaynaklanan kazaları önlemek amacıyla bir iş sağlığı ve güvenliği sistemi geliştirilmiştir. Sistem; sensörler (vericiler ve alıcılar), RFID, hareket/hareketsizlik

sensörü ile GPS kullanılarak tasarlanmıştır. Vericiler, bir alanda tanımlanabilir sinyalleri üreten; alıcılar ise bu sinyalleri alıp analiz edip işleyen araçlar olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada vericiler merdiven ve duvar açıklıkları gibi inşaat alanında tehlike yaratacak bölgeler ile inşaat ekipmanlarına yerleştirilmiştir. İnşaat işçileri vericiden sinyal alan alıcılar taşımıştır. Tehlike anında ve tehlikeli yerlerde, vericiler sinyal (alarm) gönderirken; alıcılar da bu sinyali almış ve yaklaşan bir tehlikeden kişi/kişileri korumuştur. Böylece, kazaları azaltmak ve iş sağlığı ve güvenliği için etkili bir araç geliştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, işçilerin çalışma esnasındaki hareketlerini izlemek amacıyla hareketsizlik sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörler, şantiyelerde işçilerin kalp krizi, bayılma ve şuur kayıpları nedeniyle meydana gelen kaza ve ölümleri engellemek amacıyla kullanılmıştır. İşçinin sağlık problemi nedeniyle nabız atışlarının çok yavaşladığı ya da hızlandığı belli bir sürenin (ortalama 1-2 dak.) aşılması halinde acil müdahale etmek amacıyla işçilerin üzerine hareketsizlik sensörü yerleştirilmiş ve bu sensörler ile GPS sistemleri arasında bir bağlantı kurulmuştur. Sistemin programlanması ve kullanımı ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

#### 3.1. Sistemin Programlanması (Programming the System)

Sistem, GPS ve RFID birimlerinin haberleşmesi ile mevcut arazide çalışan işçi ve iş makinelerinin konumlarını web ortamında izlemek ve otomatik olarak tehlikeli alanlarda ve kör noktalarda iş kazalarını önlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Sistemde; RFID, hareket/hareketsizlik sensörü ile GPS koordinat sistemleri birlikte kullanılmıştır.

RFID teknolojisi, bir tür otomatik tanımlama, veri toplama ve lokal veri saklama teknolojisidir. Barkod gibi diğer otomatik tanımlama teknolojilerine göre en büyük avantajı veri okuma mesafesinin yüksek olması ve okuma yapmak için belli bir açı ile doğrudan görüş gerektirmemesidir. Bu özelliği ile çok düzenli olmayan ve dinamik bir yapısı olan inşaat sahalarında otomatik veri toplamaya olanak sağlamaktadır [15-17]. RFID etiketleri 3 farklı şekilde olabilir; pasif (etkisiz), yarı pasif (yarı etkin) veya aktif (etkin). Pasif etiketlerin kendi güç kaynakları yoktur, okuyucunun gücüyle çalışırlar. Buna karşılık, yarı pasif etiketlere ise gelen sinyalden güç almaya gerek bırakmayacak şekilde küçük bir pil eklenmiştir. Aktif etiketler ise, diğer çeşitlerden farklı olarak devrelerini çalıştırmalarını ve cevap sinyali üretmelerini sağlayan kendi güç kaynaklarına sahiptirler. Bu özellikleriyle yüksek performans sergilerler ancak maliyetleri daha yüksektir [18]. Bu çalışmada, yüksek hassasiyetinden dolayı üçüncü tip, aktif olan RFID etiketi kullanılmıştır. Aktif etiketlerde iletim bandı 13.56 MHz olarak ayarlanmıştır.

Bir Radyo Frekansı ile Tanımlama sisteminde, nesnelere tesbit etmek için nesnelere eklenen sensörler kullanılır. Alıcı sensöre bir sinyal gönderir ve geri gelen yanıtı okur. Alıcılar genellikle kendi verilerini RFID yazılım/katmanı çalıştıran bir bilgisayar sistemine iletir. Sensörün

üzerindeki bilgiler kolayca silinmeyen bellekte, elektronik olarak saklanır. RFID sensörler, küçük bir radyo frekans verici ve alıcı içerir. Bir RFID alıcısı sensörü sorgulamak için kodlanmış bir radyo sinyali gönderir. Sensör mesajı alır ve kendi kimlik bilgileri ile yanıt verir. Bu sadece tek bir sensör seri numarası ya da işçi bilgileri ile olabilir. Bu çalışmada yazılabilir sensörler kullanılmıştır. Bu özellik sayesinde her sensör için herhangi bir veri yazılabilir. En iyi sonuçları elde etmek için de her aktivite (basınç, yükseklik ve ısı değişiklikleri) algılanabilir. İşçiler üzerine yerleştirilen sensörlerin okuyucu tarafından okunmasıyla bilgiler otomatik olarak kaydedilebilir veya değiştirilebilir.

Sistem tasarımının gerçekleştirildiği ana bilgisayarda bulunan IIS (web sunucusu) vasıtasıyla arazide çalışan işçi ve iş makinelerinin konumları önceden verilen kullanıcı adı ve şifre vasıtasıyla web sayfasından izlenebilir. Veritabanına kaydedilen her veri, günlük, haftalık ve aylık olarak depolanır. Ayrıca, her GPS günlük hareket aktiviteleri de görsel olarak .jpg formatında veri tabanında kayıt altına alınır. GPS uydularının gönderdiği sinyaller ile GPS alıcısı konumunu tam olarak tespit edebilir. Sistemin geliştirilmesi aşamasında C++ ve ASP.NET programlama dilleri ve MySQL veri tabanı yönetim sistemi kullanılmıştır. Sistem için geliştirilen baret-GPS-RFID birimi Şekil 1-2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Baret-GPS birimi (Helmet-GPS unit)



Şekil 2. Baret-GPS-RFID birimi (Helmet-GPS-RFID unit)

### 3.2. Sistemin Test Edilmesi (Testing of the System)

Sistem, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin bulunduğu İki Eylül Kampüsü'nde test edilmiştir. Temsili laboratuvar-şantiye olarak seçilen bölgede belirli kör noktalara sensörler yerleştirilmiştir. Sensörler, merdiven ve duvar açıklıkları gibi tehlike yaratacak alanlar ile inşaat ekipmanlarına yerleştirilmiştir. Temsili şantiyede yerleştirilen bu sensörlerden bazı görüntüler Şekil 3-6'da verilmiştir.

Temsili şantiyede yapılan testlere 5 işçi katılmıştır. Testlere katılan işçilere çalışma kapsamında geliştirilen ve üzerinde sensörler bulunan baretler verilmiştir. GPS ve RFID birimlerinin haberleşmesi ile şantiyede üzerinde sensörleri taşıyan işçilerin konumları temsili şantiye ofis merkezinde web ortamında izlenmiştir. İşçilerin üzerine yerleştirilen sensörlerin okuyucu tarafından okunmasıyla bilgiler otomatik olarak kaydedilmiştir. Her bir baret ve iş makinasının XML dosyası kodlanmıştır. Bu XML dosyası her bir aracın konumunu kayıt altına almış ve veri tabanına depolanmıştır. Baretlerin ve iş makinelerinin belli frekanslar aracılığı ile arazinin belli noktalarında bulunan RFID cihazları ile bağlantı kurması için ortak frekans kodları belirlenmiştir. Baretlerde bulunan hafıza birimi aracılığı ile işçinin tehlikeli bölge giriş verileri kodlanmış ve şantiye ofis merkezinde bulunan ana bilgisayara kaydedilmiştir. Arazide çalışan işçi daha önceden işlemciye kodlanmış hareketsizlik süre kodu (5 dak.) ile takip edilmiş ve işçi hareket etmediğinde, üç eksenli GPS (darbeye duyarlı) hareketsizlik sensörü RFID aracılığı ile ana bilgisayara veri göndererek program aracılığı ile işçinin haritadaki konumunu siyah renge dönüştürmüştür. Ayrıca, hareketsizlik süresi aşıldığında sistem vasıtasıyla şantiye sorumlularının (proje müdürü, şantiye şefi, iş sağlığı ve güvenliği müdürü vs.) mobil cihazlarına ilgili işçinin konumunu ve bilgilerini açıklayan bir mesaj gönderilmektedir. Dolayısıyla şantiyede çalışan diğer işçilerin farketmediği ve işçinin bayılma ve kaza sonucu hareketsiz kalması gibi durumlarda zaman kaybetmeden işçiye acil müdahale etme imkanı sağlanmaktadır. İşçi ve iş makinelerinin takibinde alıcılar sensöre bir sinyal göndermiş ve geri gelen yanıtı okumuştur. Sensörün üzerindeki bilgiler bellekte elektronik olarak saklanmıştır.



Şekil 3. Sensörlerin yerleşimi-I (Layout of the sensors-I)



Şekil 4. Sensörlerin yerleşimi-II (Layout of the sensors-II)

Baretlere ve iş makinelerine monte edilen devrelerde hareketsizlik sensörü, harekete duyarlı sensör, işlemci, titreşim motoru, RFID, hafıza birimi ve GPS birimleri mevcuttur. İşçilerin kullandığı baretlerin üzerine monte edilen GPS, RFID elektronik devre aracılığı ile şantiyede 500-1000 m uzaklık içindeki işçilerin ve iş makinalarının konumlarını ana bilgisayarda bulunan veri tabanına ve arayüz programına 3 saniye ara ile enlem-boylam verilerini ve tehlikeli bölge merkez noktasını hesaplayarak veri tabanına aktarmaktadır. Devreye bağlı olarak çalışan GPS, çalışanların ve iş makinalarının konumlarını veri tabanından alarak web arayüzünde izleme olanağını sağlamaktadır (Şekil 7).



Şekil 5. Sensörlerin yerleşimi-III (Layout of the sensors-III)



Şekil 6. Sensörlerin yerleşimi-IV (Layout of the sensors-IV)



Şekil 7. İşçilerin web arayüzünde takibi-I (Tracking workers on the web-I)

Temsili şantiyede testlerin uygulama aşamasında kör nokta tehlike mesafe alanı 20 m olarak belirlenmiş ve geliştirilen yazılıma adapte edilmiştir. İşçiler belirlenen bu mesafe alanlarına girdiklerinde ana bilgisayardaki yazılım ve RFID aracılığı ile baretlerine titreşim gönderilmiştir. Bu titreşimler işçilerin kör nokta tehlike mesafe alanına girdiklerinde başlamakta ve tehlikeli alana yaklaştıkça şiddeti artarak devam etmektedir. Dolayısıyla işçilerin tehlikeli alana ulaşmadan titreşimleri hissetmeleri sağlanmaktadır. İşçi ve iş makineleri aktif ve tehlike alanda olmadığında yeşil, tehlikeli alana girdiğinde ise kırmızı renk ile izleme programında görsel olarak kodlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İşçilerin web arayüzünde takibi-II (Tracking workers on the web-II)

Titreşimlerin sistem yazılımı ve RFID vasıtasıyla otomatik olarak gerçekleşmesi nedeniyle işçilerin web arayüzünde sürekli izlenmesi gerekmemektedir. İşçilerin web arayüzündeki takibi; gerektiğinde işçilerin ve iş makinelerinin konumlarını belirlemek ve bilgileri kayıt altına alarak her bir işçinin tehlikeli alana yaklaşma verilerini elde etmek amacıyla kullanılabilir. Bu veriler, düzenli olarak gerçekleştirilecek iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde işçilerin şantiyelerindeki kör noktalara karşı gösterdikleri davranışları değerlendirmek ve gerektiğinde iyileştirmeler yapmak amacıyla kullanılabilir.

Hareketli inşaat ekipmanları için de benzer işlemler gerçekleştirilmiştir. İnşaat ekipmanı tehlikeli bölgeye yaklaştıkça (örneğin 5 m) ekipmanın ateşleme sistemine entegre edilen elektronik devre işleme girmektedir. Bu esnada C++ ile oluşturulan masaüstü kontrol yazılımı vasıtasıyla RFID birimine bir uyarı kodu gönderilmektedir. RFID birimi de ekipmana entegre edilen elektronik devreye sinyal göndermektedir. Bu sinyal ile ekipmanın elektronik devresinin bağlı olduğu ateşleme sistemi devre dışı bırakılarak ekipmanın hareket kabiliyeti kısıtlanmaktadır. Dolayısıyla ekipmanın kaza yapma riski önlenmektedir.

Sistem; bina, köprü, baraj ve tünel gibi her çeşit şantiyede kullanılabilir nitelikte tasarlanmıştır. Sistemden en iyi performansı elde etmek amacıyla ana bilgisayar ve kör nokta bölgeleri arasındaki mesafelerin 500-1000 m'yi aştığı şantiyelerde her 1000 metrede bir ek RFID cihazlarının kullanılması gerekmektedir. Benzer şekilde binaların her katında, kat sınırlaması olmaksızın, ek RFID cihazların yerleştirilmesi sistemin verimli bir biçimde çalışmasını sağlayacaktır. Sistemin kurulum maliyeti işçi başına yaklaşık 2.000 TL olarak hesaplanmıştır. Şantiyelerde iş kazalarının meydana gelmesi durumunda manevi zararların yanı sıra kazalar sonucu ödenen tazminat ve sigorta maliyetleri göz önüne alındığında sistemin kurulum maliyetinin kaza sonucu ortaya çıkan maliyetlerden daha az olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, sistemin web arayüzünden

sürekli takibi gerektirmemesi, titreşimlerin sistem yazılımı ve RFID vasıtasıyla otomatik olarak gerçekleşmesi ve hareketsizlik durumlarında şantiye sorumlularına mesaj gönderme özellikleri nedeniyle sistem için ek bir işletme maliyetine ihtiyaç duyulmamaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan çalışmaların genel amacı, iş sağlığı ve güvenliği bilincini artırarak çalışanların yaralanmalarını ve can kaybına uğramalarını önlemenin yanı sıra üretim ve işletme maliyetlerini düşürmektir. Günümüzde can ve mal kaybını azaltarak üretim ve işletme maliyetlerini düşürmek ve projeleri daha etkin, güvenli, kaliteli, zamanında ve maliyet-efektif bir biçimde tamamlayabilmek amacıyla inşaat firmalarının özellikle iş sağlığı ve güvenliğine yönelik gelişmiş bilgi teknolojilerini organizasyonlarına dahil etmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen iş sağlığı ve güvenliği sistemi ile şantiyelerde kör noktalardan kaynaklanan mevcut problemlerin çözülmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kör noktalardan kaynaklanan kazaları engellemek amacıyla geliştirilen sistemin programlama ve test edilme işlemleri açıklanmıştır. Günümüzde kör noktalardan kaynaklanan inşaat kazalarını azaltmak için geliştirilen çeşitli sistemler bulunmaktadır. Ancak geliştirilen sistemlerin şantiye uygulamalarında bazı kısıtlamaları mevcuttur. Çalışma kapsamında geliştirilen iş sağlığı ve güvenliği sisteminde RFID ve GPS teknolojileri ile birlikte hareket/hareketsizlik sensörleri de kullanılarak kör nokta kaynaklı kazaların önlenmesine yönelik literatüre ve sektöre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Temsili şantiyede gerçekleştirilen test sonuçlarına göre, sistemin kör noktalardan kaynaklanan iş kazalarını önlemede sektöre önemli katkılar sağlayabileceği öngörülmüştür.

Sistemin inşaat firmalarında etkili bir biçimde uygulanabilmesi için şantiyelerde çalışan tüm personelin kör noktalar konusunda bilinçlendirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu konuda şantiye personeline etkili eğitimler sağlanmadan yeni teknolojilerin kullanımında verimli sonuçlar elde edilmesi mümkün değildir. Bu doğrultuda sistemin kullanılması ile birlikte özellikle inşaat işçilerine kör noktalar ile ilgili verilecek eğitimlerin inşaat kazalarını önemli oranda azaltacağı öngörülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK (Proje No. 112M889) tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Guo H., Yu Y. and Skitmore, M., "Visualization technology-based construction safety management: A review", *Automation in Construction*, 73: 135-144, (2017).

- [2] Kheni N.A., Dainty A.R.J. and Gibb A., “Health and safety management in developing countries: a study of construction SMEs in Ghana”, *Construction Management and Economics*, 26: 1159-1169, (2008).
- [3] Ulubeyli S., Arslan V. and Kıvrak S., “A semiotic analysis of cartoons about occupational health and safety issues in the construction workplace”, *Construction Management and Economics*, 33(5-6): 467-483, (2015).
- [4] Loushine T.W., Hoonakker P.L.T., Carayon P. and Smith M.J., “Quality and safety management in construction”, *Total Quality Management*, 17(9): 1171-1212, (2006).
- [5] Zwetsloot G.I.J.M., Kines P., Ruotsala R., Drupsteen L., Merivirta M.L. and Bezemer R.A., “The importance of commitment, communication, culture and learning for the implementation of the Zero Accident Vision in 27 companies in Europe”, *Safety Science*, 96: 22-32, (2017).
- [6] Bureau of Labor Statistics (BLS), “Census of Fatal Occupational Injuries (CFOI) - Current and Revised Data”, (2011).
- [7] Teizer J., Allread, B.S. and Mantripragada U., “Automating the blind spot measurement of construction equipment”, *Automation in Construction*, 19(4): 491-501, (2010).
- [8] Ray S.J. and Teizer J., “Dynamic blindspots measurement for construction equipment operators”, *Safety Science*, 85: 139-151, (2016).
- [9] Zhu Z., Park M.W., Koch C., Soltani M., Hammad A. and Davari, K., “Predicting movements of onsite workers and mobile equipment for enhancing construction site safety”, *Automation in Construction*, 68: 95-101, (2016).
- [10] Fosbroke D.E., “Studies on heavy equipment blind spots and internal traffic control”, *Roadway Work Zone Safety & Health Conference*, Baltimore, Maryland, (2004).
- [11] Teizer J., Caldas C. and Haas C., “Real-time three-dimensional occupancy grid modeling for the detection and tracking of construction resources”, *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(11): 880-888, (2007).
- [12] Ford Motor Company, 2009. “New Ford Mirror Design and Radar Systems to Minimize Blind Spot Risk”, (2009).
- [13] Hinze J. and Teizer J., “Visibility-related fatalities related to construction equipment”, *Safety Science*, 49(5): 709-718, (2011).
- [14] Lee H., Lee K., Park M., Baek Y. and Lee, S., “RFID-based real-time locating system for construction safety management”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3): 366-377, (2012).
- [15] Ergen E., “İnşaat sektöründe radyo frekanslı tanımlama (RFID) teknolojisi uygulamaları”, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 451(5), (2008).
- [16] Ergen E., Akıncı B. and Sacks R., “Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification”, *Advanced Engineering Informatics*, 21(4): 356-366, (2007).
- [17] Kızıldaş S., Akıncı B., Ergen E., Tang P. and Gordon C., “Technological assessment and process implications of field data capture technologies for construction and facility/infrastructure management”, *ITCon*, 13, (2008).
- [18] GS1 Türkiye, “RFID teknolojisi”, [http://gs1.tobb.org.tr/icerik\\_goster.php?Id=15](http://gs1.tobb.org.tr/icerik_goster.php?Id=15).