

**SANAL GERÇEKLİK YÖNTEMİNİ  
KULLANARAK İNŞAAT PROJELERİNDE  
KÖR NOKTALARIN TESPİTİ: VIBSIM  
MODELİ**

Farrokh ROSTAMI KIA

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2013

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Farrokh ROSTAMI KIA' nun "Sanal Gerçeklik Yöntemini Kullanarak İnşaat Projelerinde Kör Noktaların Tespiti: VIBSIM Modeli" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 19.04.2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Serkan KIVRAK	.....
Üye	: Doç. Dr. Gökhan ARSLAN	.....
Üye	: Yard. Doç. Dr. Kadir KILINÇ	.....

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve .....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SANAL GERÇEKLİK YÖNTEMİNİ KULLANARAK İNŞAAT PROJELERİNDE KÖR NOKTALARIN TESPİTİ: VIBSIM MODELİ

Farrokh ROSTAMI KIA

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Serkan KIVRAK

2013, 70 sayfa

Dünyada inşaat sektörü diğer sektörlere kıyasla neredeyse en tehlikeli sektördür. Avrupa Birliği'nde, inşaat sektöründe ölümcül kaza oranı yaklaşık olarak 100.000 kişide 13 işçidir. Tüm sektörler içinde ise, bu oran ortalama 100,000 kişide 5 işçidir. ABD ve Türkiye de yüksek ölümlü kaza oranlarına sahip ülkeler arasında yer almaktadır. İnşaat sektöründeki ölümlerin yaklaşık olarak %25'i ekipmana bağlı kazalardan kaynaklanmaktadır. Ekipmana bağlı kazaların ise büyük bir bölümünü kör noktalar oluşturmaktadır. Kör noktaların çoğu inşaat malzemelerin çevresinde yaygındır. Bu durumun başlıca nedeni ise; şantiyeler gibi hareketli ve sabit olmayan ortamlarda, iş makinesi operatörlerinin yerdeki personeli ve kullanılan inşaat ekipmanlarını net bir şekilde görememesinden kaynaklanmaktadır. Kör noktaların tespiti için, çeşitli otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. Örneğin, otomotiv sektöründe, kör noktaların tespiti için çeşitli otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. İstatistiksel sonuçlar göstermektedir ki, kullanılan bu otomasyon yöntemleri kör noktalara bağlı kaza oranını otomotiv sektöründe önemli ölçüde azaltmıştır.

Otomotiv sektöründeki gelişmelere rağmen, inşaat sektöründe, kör noktalara bağlı kazalara gerekli önemin verilmemesinden dolayı, kör nokta kaynaklı kaza oranları, yüksek seviyededir. Bu çalışmada, inşaat projelerindeki kör noktalardan kaynaklanan sorunların üstesinden gelmek için Sanal Kör Nokta Tanımlama Sistemi (VIBSIM) tasarlanmıştır. VIBSIM'in ana amacı, ölümcül kazaları önlemek için şantiyelerdeki kör noktaların açığa çıkartılmasıdır. VIBSIM, inşaat ve inşaat ile ilgili alanlarda kör noktalar belirlemek ve incelemek üzere tasarlanmış bilgisayar tabanlı sanal tanımlama sistemidir. VIBSIM'in çalışma mantalitesi, 3Ds Max ve 3Ds Max'in bir eklentisi olan Vray programını kullanarak sanal bir nokta bulutu oluşturmaktadır. Modelinin sonuç dosyaları ve küçük bir yazılım ile birlikte herhangi bir ortamdan erişilebilir. VIBSIM modelinin analiz sonuçlarına göre ekipman operatörlerinin kazalara karşı farkındalık duygusunun geliştirdikleri görülmektedir. VIBSIM henüz başlangıç evresinde olup gelecekte otomatik tam entegre çalışabilen ve tüm çalışma alanlarında kullanabilen bir program olması planlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat, Kör Nokta, İş Kazaları, Güvenlik ve İşçi Sağlığı, VIBSIM, Sanal Gerçeklik, Nokta bulutu, 3B Model.



## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### BLIND SPOTS IDENTIFICATION IN CONSTRUCTION PROJECTS USING VIRTUAL REALITY METHOD: VIBSIM MODEL

Farrokh ROSTAMI KIA

Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Department of Civil Engineering  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan KIVRAK

2013, 70 pages

The Construction sector is nearly the most dangerous land-based work compared to other sectors. In the European Union, the fatal accident rate is nearly 13 workers per 100,000 compared to 5 per 100,000 for the entire sector average. Countries such as the USA and Turkey are in the same situation as well. Equipment related deaths account for about 25% of all construction fatalities in the construction sector. One leading cause for equipment related incidents is blind spots. Blind spots are prevalent around most construction equipment, inhibiting the operator's visibility of personnel and vital materials on jobsites. Among these, the problem is that blind spots are so difficult to handle in such an unstable atmosphere as the construction environment. Automation methods for blind spot identification have been used by other sectors such as automotive for about eight years. Statistical results shows some significant decrease about accident rate in these sectors.

Still these methods are not being used as often as they need to be. In this study, The Virtual Blind Spot Identification System (VIBSIM) has been designed to overcome problems caused by blind spots in construction projects. VIBSIM is aimed to fully clarify construction blind spots in order to prevent hazards. VIBSIM is a totally computer based virtual identification system, with its purpose being to identify and examine blind spots in construction and construction related areas. This model is a virtual point cloud made by using software such as 3Ds Max in integration with a Vray rendering motor. VIBSIM model results are easy to use and fully comprehensible for every user with general knowledge of construction. Furthermore, point clouds are accessible from anywhere just by having result files and a small software. Early testing results show that operators have become more aware of hazards in their job site by examining VIBSIM point clouds. VIBSIM is in its early stage of progress and expected to cover more areas and become fully automatic in the near future.

**Keywords:** Construction, Blind Spot, Work Accidents, Safety and Laborer Health, VIBSIM, Virtual Reality, Point Cloud, 3D Model.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca yardımı ve deneyimleriyle yön gösteren danışman hocam Yard. Doç. Serkan KIVRAK ve değerli Doç.Dr. Gökhan ARSLAN hocama teşekkür eder saygılarımı sunarım. Bu tez, sevgili ailemin ve arkadaşlarımdan desteği olmadan bu aşamaya varamazdı, hepinize sonsuz teşekkür eder hayatınızda başarılar dilerim.

İyi ki varsınız,  
Farrokh ROSTAMI KIA  
Mayıs 2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix

<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ</b>	<b>4</b>
2.1 İş Sağlığı Ve Güvenliği Kavramı.....	4
2.2 İş Sağlığı ve Güvenliği İstatistikleri .....	5
2.3 Türkiye'deki İş Sağlığı Ve Güvenliği .....	11
2.4 İş Kazalarının İnşaat Sektörüne Verdiği Hasarlar .....	14
2.5 Devletin İş Sağlığı Ve Güvenliğine Karşı Sorumlulukları Ve Uygulamaları .....	14
2.5.1. 6331 Sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu .....	16
<b>3. İNŞAAT PROJELERİNDE İŞ KAZALARI VE KÖR NOKTALAR</b>	<b>17</b>
3.1 İnşaat Projelerinde Kaza Tipleri .....	21
3.2 Şantiyelerdeki Kazalara Sebep Olan Görüş Yetersizliği ve Kör Noktalar .....	22
<b>4. KÖR NOKTALARLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR</b>	<b>30</b>
4.1 Kör Noktaların Tespitine Yönelik Yöntemler.....	31
4.2 Kör Noktalardan Kaçınma Yöntemler.....	38
<b>5. SANAL GERÇEKÇİLİK YÖNTEMİNİ KULLANARAK KÖR NOKTALARIN TESPİTİ: VIBSIM MODELİ</b>	<b>43</b>
5.1 Sanal Gerçekçilik Yöntemi ile Şantiyelerdeki Kör Noktaların Tespit Modeli (VIBSIM) .....	44

5.2	VIBSIM Modelinin Uygulanması .....	49
5.2.1.	VIBSIM'in yapı makinelerinde uygulanması.....	49
5.2.2.	VIBSIM'in Şantiyeledeki yaya işçilerin üzerinde uygulanması ....	58
5.2.3.	VIBSIM'in şantiyelerdeki alanların üzerinde uygulanması .....	60
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>		<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>		<b>68</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.	Tüm sektörlerde ölüm sayısındaki değişim (1989–2010) .....	9
2.2.	Tüm sektörlerde 1.000 işçi başına kaza oranı değişim (1989–2009) .....	9
2.3.	Japonyada bir şantiyedeki çevre güvenliği .....	10
2.4.	Dışardan şantiye alanına girmek üzere olan aracın iş güvenliği tedbirleri .....	11
3.1.	Güvensiz davranışlar - Kaynak yaparken gözlük kullanımında yanlış bir uygulama .....	19
3.2.	Güvensiz davranışlar – Yerli üretim Baret .....	19
3.3.	Güvensiz davranışlar - Yığma yapı güvenliği, düşme tehlikesi.....	20
3.4.	Güvensiz davranışlar - İnşaat Merdiven, devrilme tehlikesi.....	20
3.5.	Güvensiz davranışlar - Güvencenebilir bir inşaat iskelesi.....	21
3.6.	Kaza esnasında damperli kamyonun hareket yönü (N=33) .....	23
3.7.	Görme ile ilgili ölümcül kazaların oluşum saati (89 vaka).....	24
3.8.	İnşaat sektöründeki görünürlük veya farkındalıktan kaynaklanan ölümcül kazaların türleri (N = 594).....	25
3.9.	Ölümcül kazalarda kullanılan araç veya ekipmanın sıklığı. ....	26
3.10.	Kaza meydana geldiği zamanda ekipmanın hareketlilik durumu (N594) .....	27
3.11.	Ekipman veya makinelerin iş esnasında geri hareket yapma yoğunluğu. ....	28
4.1.	Zemin seviyesinde Manuel kör nokta hesaplama (taranmış bölgeler kör noktaları temsil ediyor): buldozer (soldaki şekil) ve Kamyonet (sağdaki şekil). ....	31
4.2.	Dozerin kör nokta diyagramı- zemin tabaka .....	33
4.3.	Kepçenin kör nokta diyagramı- zemin tabaka .....	34
4.4.	Lazer tarama cihazının şoför koltuğuna monte edilme şekli .....	35
4.5.	Damperli kamyonun lazer tarama cihazı ile taranıp ızgara modele aktarılmış sunumu . ....	36
4.6.	10m Çapında, Kör noktaların plan görünüşü (mavi bölgeler) – dozer (sol) pikap (sağ) .....	37
4.7.	Lazer tarayıcılar sınırlı alan görünümü (FOV) .....	38
4.8.	Mercedes Benzin Pre-Safe fren sistemi .....	42
5.1.	3Ds Max programın görünüşü .....	45
5.2.	Hidrolik ekskavatör, CAT325B.....	46
5.3.	Damperli kamyon, MAN TGS .....	46
5.4.	Denklem 5.1'in görselleştirmesi .....	47
5.5.	Modelde kullanılan insan gözünün simülasyon görünüşü. ....	50
5.6.	Kullanılan kameranın koltuktan yüksekliği .....	50
5.7.	Modelde kullanılan açı ve yönler.....	51
5.8.	Sağ ve sol aynadan ve CCTV den görünen açılar. ....	52

5.9.	Ekskavatör kör noktalarını hesaplamak için hazırlanan model ve ortam .....	53
5.10.	Ekskavatör kör nokta bulutu .....	53
5.11.	Ekskavatörün kör nokta bulutu .....	54
5.12.	Ekskavatörün kör nokta bulutu .....	54
5.13.	Kamyonun kör noktalarını hesaplamak için hazırlanan model ve ortam.....	55
5.14.	Kamyonun kör nokta bulutu .....	55
5.15.	Kamyonun kör nokta bulutu .....	56
5.16.	Ekskavatordaki kör ve görünen hacimlerin örneği .....	57
5.17.	Şantiyedeki insanların ekskavatör etrafındaki örnek yerleşiminin 3B modeli .....	57
5.18.	Ekskavatörün kör noktasında yer alan insanların nokta bulutu analizi .....	58
5.19.	Bir işçinin ortalama bakış yüksekliği .....	59
5.20.	İnsanın yürüyüşünden kaynaklanan aktif kör noktalar (Sol: hareketten önce kör nokta analizi Sağ: 2m ileri hareketten sonra kör nokta analizi) .....	60
5.21.	Kat boşluğu kenarında çalışan işçinin VIBSIM modeli.....	61
5.22.	VIBSIM’den elde edilen işçinin bakış açısından görünen simülasyon sonucu.....	61
5.23.	Çatı boşluğuna düşen işçinin VIBSIMdeki modeli.....	62
5.24.	VIBSIMin çatı boşluk analizinin sonucu .....	62
5.25.	Kazaya sebep olan köşe kör noktasının modeli sebep olan köşe kör noktasının modeli sebep olan köşe kör noktasının modeli.....	63
5.26.	Kazaya sebep olan köşenin, VIBSIM analizi.....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	Kaza tiplerine göre ölümlü iş kazaları .....	7
2.2.	2004-2008 Yılları arasında meydana gelen iş kazaları sonucu oluşan her 100 bin çalışanda meydana gelen can kaybı oranı .....	8
2.3.	2004-2010 Yılları arasında Türkiye genelinde ve inşaat sektöründe meydana gelen iş kazaları ve iş kazaları sonucu ölüm sayıları .....	12
2.4.	2004-2010 Yılları arasında iş kazası ve meslek hastalıkları sonucu sürekli ve geçici iş göremezlik sayıları .....	12
2.5.	2008-2010 Yılları arasında Türkiye’de meydana gelen iş kazaları ve sonuçları .....	13
2.6.	Kaza Tipleri .....	13
3.1.	Kazalara sebep olan güvensiz durumlar ve davranışlar .....	18
4.1.	İnşaat sektöründeki ölümcül kazalar .....	30
4.2.	Alarm sistemi için farklı teknolojilerin örnek kriterleri .....	41

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

3B	:Üç Boyutlu
BLS	:Amerika İşgücü İstatistikleri Bürosu
CCTV	:Kapalı devre televizyon
CFOI	:Ölümcül Mesleki Yaralanmalar Sayımı
ÇASGEM	:Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi
FOV	:Alan görünümü
ILO	:Uluslararası Çalışma Örgütünün
İSG	:İş Sağlığı ve Güvenliği
İSGGM	:İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İSGÜM	:İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi
İTK	:İş Teftiş Kurulu
MHLW	:Japonya Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı
OSHA	:Endüstriyel ölümler İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı
RFID	:Radyo Frekans Tanımlama
SGK	:Sosyal Güvenlik Kurumu - Sosyal Sigortalar Kurumu
UHF	:RF ultra yüksek frekans
VHF	:Çok yüksek frekans
VIBSIM	:Sanal Gerçekçilik Yöntemi ile Şantiyelerdeki Kır Noktaların Tespit Modeli
WHO	:Dünya Sağlık Örgütü

## 1. GİRİŞ

İnşaat sektörü dünya çapında ölümlü kaza riski açısından en tehlikeli sektörlerin başında gelmektedir. İnşaat işçilerinin günlük aktiviteleri genellikle kalabalık bazen de tehlikeli ortamlarda geçmektedir. İnşaat işçilerinin ölüm ve yaralanma oranları diğer sektörlere kıyasla daha yüksektir. Çalışma ortamının sürekli değişiyor olmasından dolayı inşaat işçileri gözden kaçabilecek yeni tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. [1].

İnşaat sektörü çalışma şartları bakımından tehlikeli, iş kazaları açısından en riskli sektörlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra inşaat sektörü sağlık, güvenlik ve performans açısından düşük seviyede şartlara sahip sektörlerden biri olarak bilinmektedir. Resmi istatistiklerin inceleme sonucunda, inşaat sektörü iş kazası sonucundan meydana gelen ölümlü ve ağır yaralan olay sayısı bakımından tüm sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır [2]. İşin doğası, insan doğasından kaynaklanan davranışlar ve ekipmanların aralıksız çalışması gibi bazı faktörler bu durumun başlıca sebepleridir. Endüstriyel ölümler İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (OSHA) tarafından incelenmiştir [3].

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2004 ve 2006 yılları arasında 600'den fazla inşaat işçisi, yetersiz inşaat ekipmanlarından kaynaklanan kazalar nedeniyle hayatını kaybetmiştir [4]. Manevi hasarların yanı sıra, iş kazaları inşaat sektöründe önemli maddi zararlara da yol açmakta, verimliliği düşürmekte ve sektörün imajını zedeleyerek inşaat firmalarının iflasına neden olabilmektedir.

2009 Ölümcül Mesleki Yaralanma Sayımı'nda yayınlanan güvenlik istatistiklerine göre 2007'de gerçekleşen tüm mesleki ölümlerin yaklaşık %21'i ya da işyerinde meydana gelen ölümlerin 5657'sinden 1204'ü inşaat sektöründe meydana gelmektedir [4].

İş kazaları temelde güvensiz davranışlar ve durumlar ile donanım kazaları vb. nedenlerden dolayı meydana gelmektedir. OSHA'nin verilerine göre, ekipman kazaları tüm inşaat sektöründe meydana gelen kazaların yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır [3].

Ekipman kazalarının oluşmasındaki en büyük etkenin kör noktalar olduğu bilinmektedir [5]. Kör noktalar; kısaca ekipman ve operatörünün göremeyeceği yerler olarak tanımlanabilir. Kör noktalar, operatörlerin görüş açısını kısıtlayarak operatörün, yerdeki malzemelerle beraber iş alanına yakın olan diğer ekipmanları görmesini engelleyerek operatörler için problem yaratmaktadır [4].

2011 yılında inşaat kazalarının sayısı her ne kadar düşse de [6],” iş kazası, nedensellik, soruşturma ve diğer güvenilir istatistiklere dayanarak geçtiğimiz on yıl içinde araçlar tarafından ezilmelerden kaynaklanan ölüm sayısının yüksek olduğu görülmektedir. Yapı sektöründe ölümcül iş kazalarının çoğu, ağır inşaat nesnelere çarpması (tüm inşaat ile ilgili ölümlerin %10) ve taşeron hatalarından (sırasıyla %13) kaynaklanmaktadır. Diğer istatistiklere göre 2007 yılında tüm iş kazalarının %6’sı araçlarda meydana gelmektedir [3].

Bu çalışmanın kapsamında Bölüm 2’de inşaat sektöründe iş güvenliği kavramı ele alınmıştır. Bölüm 3’de inşaat kazalarına sebep olan görüş yetersizliği ve kör noktalar kavramı ele alınmıştır. Bölüm 4’de ise kör noktaların tespiti ve engellenmesi üzere yapılan araştırmalarla ilgili literatür çalışmasına yer verilmiştir. Bölüm 5’de kör noktaların tespiti için hazırlanan “sanal gerçeklik” modelinin uygulamalı analizinden elde edilen veriler yer almaktadır. Bölüm 6 ise çalışmadan elde edilen sonuçları kapsamaktadır.

Bu çalışmanın ana amacı, inşaat sektöründe kör noktalardan kaynaklanan iş kazalarını azaltmak; ölümcül ve ağır yaralanmalı iş kazalarının azaltmasına yönelik sektöre katkıda bulunmaktır. Bunların yanı sıra çalışma, kör noktaların tespitini ve kör noktalar için yeni bir iş güvenliği modeli geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmada, sanal gerçeklik kör noktaların tespitine yönelik teorik olarak araştırılmıştır. Sanal Gerçeklik, bilgisayar tabanlı gerçekliği anımsatan bir ortamdır ve inşaat sahasındaki tüm ihtimallerin analizinde ve incelenmesinde kullanılmıştır. Sunulan model ile ilgili 5. bölümde daha detaylı bilgiler sunulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, inşaat sektöründeki kör noktaların tespitine yönelik farklı metotlar sunmuştur. Bu çalışmada oluşturulan model, kör noktaların önlenmesi için gereken altyapıyı hazırlayarak bir sonraki otomasyonlar için vazgeçilmez bir adım olacaktır. Bu tez çalışması, analizleri ve sonuçları ile

inşaat kazalarını en aza indirgeyebilecek potansiyele sahiptir. Dolayısıyla, tezin sonuçlarının sektöre önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

## 2. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

### 2.1 İş Sağlığı Ve Güvenliği Kavramı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) iş sağlığı ve güvenliğine bakış açısı şöyledir; iş sağlığı ve güvenliği tüm mesleklerde işçilerin bedensel, ruhsal ve sosyal iyilik durumlarının en üst düzeye ulaşılmasıdır. İş sağlığı ve güvenliği işçilerin çalışma koşulları yüzünden sağlıklarının bozulmasını önlemektedir. İşçilerin sağlığını korumak üzere, işçileri çalışma sırasında sağlığa aykırı etkenlerden oluşan tehlikelerden koruyup, onları fizyolojik ve psikolojik durumlarına en uygun mesleki ortamlara yerleştirmektedir. İş sağlığı ve güvenliği bu durumları sürdürmek olarak tanımlamıştır. Tüm bu çalışmaların amacı ise; işçileri korumak, rahat ve güvenli bir ortamda çalışmalarını sağlamak, iş sırasında oluşabilecek kaza riskini minimuma indirgeyebilmektir.

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) konusunu, işin yapılmasından doğan tehlikelerin ortadan kaldırılması veya azaltılması için gerekli yolların araştırılması ve bu yolda getirilen hükümler oluşturmaktadır. İSG, işin tüm süreçlerini etkileyen ve kapsayan bir konudur. Birçok disiplinden etkilenmekte, birçok disiplin bu konuda çalışma yapmaktadır. İşyerinde iş sağlığını etkileyen her faktör bir kaza faktörü olabileceğinden, bilimsel araştırmalar ışığında kaza kaynaklarına gidilmesi ve önlem alınması gerekmektedir [7].

İş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının amaçları arasında çalışanların yaralanmalarını ve can kaybına uğramalarını önlemenin yanı sıra üretim ve işletme maliyetlerini düşürmek de yer almaktadır. Türkiye’de mevcut iş sağlığı ve güvenliği sistemi kapsamında Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı bünyesinde iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde bulunan beş adet birim bulunmaktadır. Bu birimler;

- 1 İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM)
- 2 İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi (İSGÜM)
- 3 İş Teftiş Kurulu (İTK),
- 4 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi (ÇASGEM)
- 5 Sosyal Güvenlik Kurumu - Sosyal Sigortalar Kurumu'dur (SGK).

İşverenlerin iş sağlığı ve güvenliği kültürünü benimsemeleri, sadece iş kanununun getirdiği cezai külfetten kurtulmaları için değil; şirketlerin karlılığını,

itibarını ve rekabet gücünü arttırması açısından da önemlidir. İşverenlerin iş sağlığı ve güvenliği konusundaki duyarlılığı, güvenli bir çalışma ortamı oluşturması iş kazalarını minimuma indirmede önemli bir faktördür. İş sağlığı ve güvenliği konusunda duyarsız olan işverenler, tehlikeler ve risklerle karşı karşıya kalmakta ve ekonomik olarak büyük kayıplara uğramaktadırlar. Bunun ana nedeni işverenlerin ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusunda yeterli bilgiye sahip olmamalarıdır. Dolayısıyla, işverenlerin iş sağlığı ve güvenliği kültürünü kurumlarında yerleştirmeleri hayati önem taşımaktadır [8].

Bir kaza ya da aksilik; kasıtlı ve zorunlu olmayan, beklenmeyen ve planlanmamış bir olay ya da durumdur. Bu genelde kazayı oluşturan, öncülük eden, önlenilecek genellikle olumsuz olaylara işaret eder. İş kazası kavramı, kazanın tamamen çalışma (iş) yaşamından doğan halini oluşturmakta olup, mesleki risklerin başında gelmektedir. İş kazası, iş sırasında, iş yolu ile oluşan kaza olarak basit bir biçimde ifade edilebilir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere ölüm veya yaralanmalara neden olan her kaza iş kazası olarak nitelendirilmemektedir. Sosyal Sigortalar Kurumunun tanımına göre, iş kazası şartı ve tanımı şu şekildedir;

- a) Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,
- b) İşveren tarafından yürütülmekte olan iş dolayısıyla,
- c) Sigortalının işveren tarafından görevle başka bir yere gönderilmesi yüzünden asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,
- d) Emzikli kadın sigortalının çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda,
- e) Sigortalıların işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere toplu olarak götürülüp getirilmesi sırasında meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonrasında bedence veya ruhen arızaya uğratan olaya iş kazası denilmektedir ve olayın iş kazası sayılabilmesi için bu beş durumundan birinin meydana gelmesi yeterlidir.

## 2.2 İş Sağlığı ve Güvenliği İstatistikleri

ILO verilerine istinaden bir gün içerisinde, işle ilgili kazalar ve hastalıklar sonucu 6300 kişi hayatını kaybetmektedir. Bu rakam yılda yaklaşık 2,3 milyon kişinin ölümüne sebep olmaktadır. Benzer istatistiklerden alınan veriler her yıl yaklaşık 317 milyon kazanın, iş esnasında meydana geldiğini göstermektedir ki bunların çoğu uzun süre iş devamsızlıklarına sebep olmaktadır.

Türkiye’de gayri safi milli hasıla’nın %5’i, işverenlerin ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uymamalarından dolayı meydana gelen kayıplara harcanmaktadır. Yine ILO’nun verilerine göre, Türkiye’de sigortalı işçilerde her bin kişide iş kazası sonucu ölüm oranı %5’dir. Bu oran Avrupa ülkelerinde %1’dir [2].

Türkiye Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye, iş kazaları istatistiklerinde Avrupa’da ilk sırada, dünyada ise 3. sırada yer almaktadır. Türkiye’de her 6 dakikada 1 iş kazası olmakta, her 6 saatte 1 işçi hayatını kaybetmektedir. İstatistikler her 2,5 saatte 1 işçinin iş göremez hale geldiğini göstermektedir [9].

İnşaat sektörü çalışma şartları bakımından en ağır, iş kazaları açısından ise en riskli ve tehlikeli sektörlerden biri olarak bilinmektedir. Son yıllarda iş sağlığı ve işçi güvenliği alanında bu sektördeki gelişmelere rağmen inşaat sektörü, istatistiklere göre iş kazası sayısı, kaza sonucu meydana gelen ölümlü ve ağır yaralanmalı olay sayısı bakımından tüm sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Dünyada özellikle son yıllarda inşaat firmalarının iş sağlığı ve güvenliği konusuna daha fazla önem verdikleri görülmektedir [10]. 2009 Ölümcül Mesleki Yaralanma Sayımında yayınlanan güvenlik istatistikleri göstermektedir ki; 2007’de gerçekleşen tüm mesleki ölümlerin yaklaşık %21’i ve işyerinde meydana gelen ölümlerin 5657’sinden 1204’ü inşaat sektöründe meydana gelmektedir [6]. 1992-1998 yılları arasında, Ölümcül Mesleki Yaralanmalar Sayımı (CFOI)’nin rapor ettiği araçla gerçekleşen 465 işçi ölümünün 318’i yaya işçileridir [6]. En yaygın araç tipleri % 60’la kamyonlardır ki bunlar devrilme riski taşımaktadır. İş makinaları ise %30 ile diğer en yaygın araç tipleri arasında yer almaktadır. 465 ölümden 110’u ekipman operatörleri kaynaklı olup bunun yarısından fazlası (%53) kamyon olmayan bir iş makinesi tipini kullanan bir ekipman operatöründen kaynaklanmaktadır [6]. İşgücü İstatistikleri Bürosu (BLS), kör noktaların genellikle aracın arkasında yer aldığından, bu ölümlerin çoğunun (%51) aracın ters durumdayken olduğunu rapor etmiştir [11].

İnşaat sektörü, taşıdığı riskler dolayısıyla iş kazası ihtimalinin en yüksek olduğu, dünyada ve Türkiye’de iş kazalarının ve meslek hastalıklarının en çok karşılaşıldığı sektörlerin başında gelmektedir. Ancak inşaat sektöründe iş sağlığı ve

güvenliği bilinci henüz tam anlamıyla oluşmamıştır. Sektörün büyük bir bölümü bu konuya duyarsız kalmaktadır [12]. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının çok yetersiz olduğu araştırmacılar tarafından da sıkça dile getirilen bir husustur [13]. Firmaların büyük bir kısmında iş güvenliği kültürünün olmadığı görülmektedir ve bu durum iş kazalarının azalması yönünde en önemli engeldir.

Çizelge 2.1, Amerika İşgücü İstatistikleri Bürosu (BLS) [14] tarafından sağlanan, Kuzey Amerika’da iş kazalarından kaynaklanan ölümcül hasarlar ve vakaların oluşması ile ilgili sektör bazında bilgiler vermektedir. Bu çizelgede karayolu, kamu karayolunda, bankette ya da çevresindeki trafik kazalarından meydana gelen araç yolcularının ölümlerini içermektedir. Otoparklardaki ve çiftliklerdeki gibi yolun dışında olan kazaları; eğitim kazalarını; yayaların ya da diğer yolcu olmayanların ölümünü kapsamamaktadır. Bu çizelge, endüstriye bakılmaksızın işçilerin ölümcül yaralanmalarını içermektedir. Bu tabloya göre %16’lık payla inşaat sektörünün ölümcül kazalar açısından lider olduğu açıkça görülmektedir.

**Çizelge 2.1.** Kaza tiplerine göre ölümlü iş kazaları [14]

Sanayi	Ölümcül Yaralanma		Kaza Nedenleri (%)		
	Sayı	Yüzde	Karayolları	Yüksekten düşmeler, kayma, ayağı takılmak	Eşya veya ekipman tarafından ezilme
<i>Toplam</i>	4,609	100	23	14	10
<i>Özel Sanayi</i>	4,114	89	23	15	11
<i>İnşaat</i>	721	16	12	35	10
<i>Bina inşaatı</i>	121	3	8	43	10
<i>Ağır ve İnşaat mühendisliği yapımı</i>	155	3	18	9	14
<i>Özel ticari İnşaatlar</i>	418	9	12	42	9
<i>Doğal kaynaklar ve madencilik</i>	711	15	17	7	19
<i>İmalat</i>	322	7	13	15	14
<i>Hizmet ve Servis</i>	2,360	51	30	11	8
<i>Hükümet</i>	495	11	24	10	3

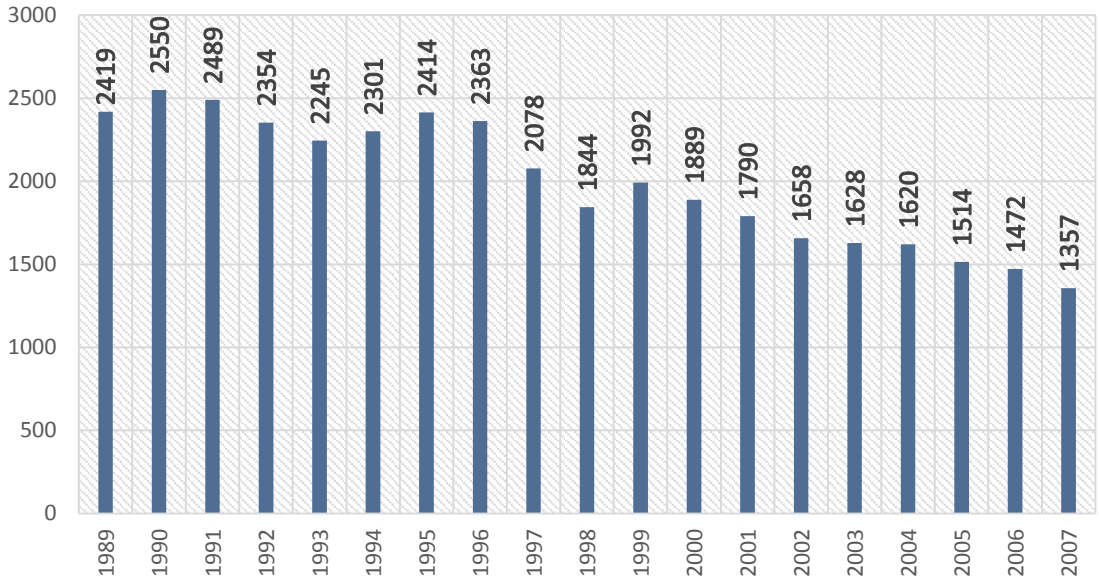
Ülkelerdeki çalışan sayıları dikkate alındığında her 100 bin çalışan için bir oranlama yapıldığında meydana gelen can kaybı oranları Çizelge 2.2' de görülmektedir.

**Çizelge 2.2.** 2004-2008 Yılları arasında meydana gelen iş kazaları sonucu oluşan her 100 bin çalışanda meydana gelen can kaybı oranı [15].

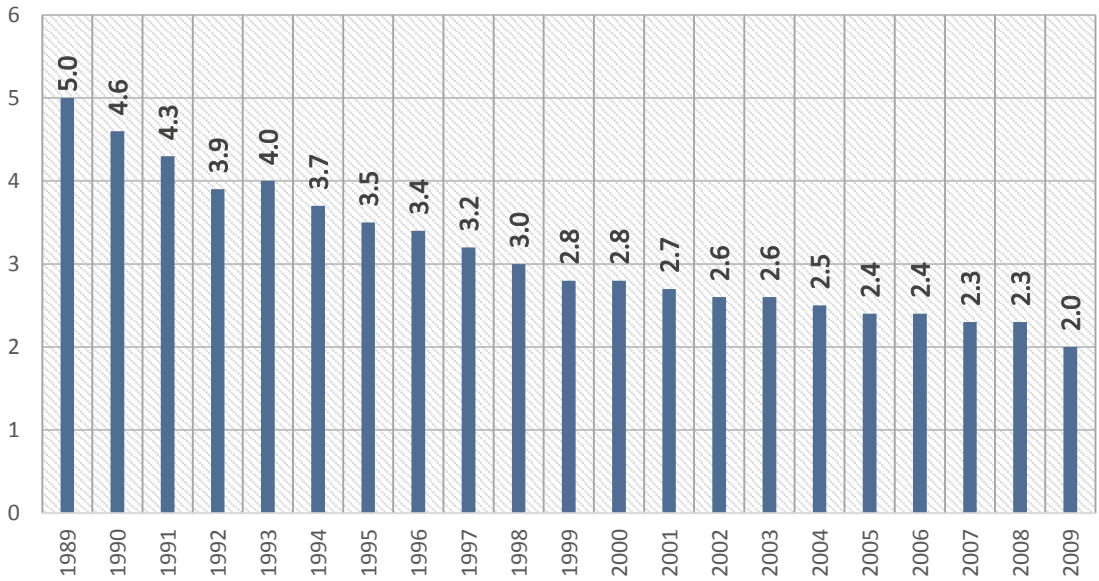
Can Kaybı Oranı	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Türkiye</i>	13,6	15,8	20,5	12,3	10,0
<i>Bulgaristan</i>	6,0	5,8	7,2	7,1	6,0
<i>Kanada</i>	2,9	3,0	2,7	2,3	2,7
<i>Macaristan</i>	4,1	3,2	3,1	3,0	3,0
<i>İtalya</i>	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0
<i>Norveç</i>	1,7	2,1	1,3	1,6	2,0
<i>Romanya</i>	7,0	9,0	7,0	8,0	9,0
<i>İspanya</i>	4,9	4,5	4,4	3,6	3,3
<i>Amerika</i>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<i>Avusturya</i>	5,0	4,6	3,9	3,9	3,8

Çizelge 2.2'nin inceleme sonucu, 2004-2008 yılları arasında ilk sıranın Türkiye'ye ait olduğu görülmektedir. Sırasıyla Romanya ve Bulgaristan, Türkiye'nin ardından 2. ve 3. sıralarda yer almaktadırlar. Bu sıralamada Norveç 2,0 oranla can güvenliği açısından en güvenilir ülkedir. Bunu 2,7 ve 3,0 ile Kanada ve Macaristan takip etmektedir.

Eurostat'in [15] sağladığı istatistiklerdeki en çarpıcı nokta Japonya'nın bu listede yer almamasıdır. Japonya Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı (MHLW) verilerinde çok ilginç rakamlara rastlanmaktadır (Şekil 2.1-2.2).



Şekil 2.1. Tüm sektörlerde ölüm sayısındaki değişim (1989–2010) [16]



Şekil 2.2. Tüm sektörlerde 1.000 işçi başına kaza oranı değişim (1989–2009) [16]

Şekil 2.1, Japonya'daki 1989 ve 2010 yıllarında meydana gelen kazaların sayısını göstermektedir. Şekil 2.2'de ise bu yıllarda 1000'in üzerindeki kazaların oranı verilmiştir. Eurostat'ın verilerinde Norveç 2,0 oranla her 100.000 işçideki en düşük ölümcül kaza oranına sahip olduğunu görüyoruz. Ama Japonya'nın MHLW verileri incelendiğinde Japonya, Norveç'e oranla az farkla daha yüksek orana sahip

olsa bile, Şekil 2.2'deki veriler sadece ölümcül kazaları içermediğinden, Japonya'nın iş kazaları açısından en güvenilir ülke olduğunu söyleyebiliriz.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği konusu, bazı ülkeler tarafından oldukça iyi yönetilmektedir. Japonya, bu konuda sektöre yön veren ülkelerden bir tanesidir. Japonya, en basit şekliyle yönetmeliklerde belirtilen temel kurallara uyarak işçi sağlığı ve iş güvenliği meselelerinde iyi bir ilerleme kaydetmiştir. Şekil 2.3 ve 2.4'de, Osaka (Japonya)'da hali hazırda inşaatın devam ettiği bir şantiyeye ait fotoğraflar görülmektedir. Japonya'nın, ölümlerle ya da yaralanmayla sonuçlanan iş kazalarının oldukça yoğun olduğu Amerika ve Avrupa'yla arasındaki benzerlik oranının oldukça düşük olduğunu belirtmekte yarar vardır.



Şekil 2.3. Japonyada bir şantiyedeki çevre güvenliği



Şekil 2.4. Dışardan şantiye alanına girmek üzere olan aracın iş güvenliği tedbirleri

### 2.3 Türkiye'deki İş Sağlığı Ve Güvenliği

Çizelge 2.3, 2004-2010 yılları arasında Türkiye genelinde ve inşaat sektöründe meydana gelen iş kazaları ve iş kazaları sonucu ölüm sayıları ile ilgili bilgi vermektedir. Türkiye genelindeki iş kazalarının yıllık ortalaması 73,938'dir. İnşaat sektöründe ise bu değer ortalama 7033'tür ki meydana gelen toplam iş kazalarının %10'luk kısmı inşaat sektöründe gerçekleşmiştir. Türkiye genelinde verilen yıllara göre iş kazası sonucu ölüm sayıları ortalama 1152 iken, 320 ölüm inşaat sektöründe meydana gelmiştir. Dolayısıyla Türkiye'deki inşaat sektörü 27,7% ölümcül iş kazası oranıyla ürkütücü bir imaja sahiptir.

**Çizelge 2.3.** 2004-2010 Yılları arasında Türkiye genelinde ve inşaat sektöründe meydana gelen iş kazaları ve iş kazaları sonucu ölüm sayıları [17].

YIL	İş Kazası Sayısı		İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı	
	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü
2004	83.830	8.106	843	263
2005	73.923	6.480	1.096	290
2006	79.027	7.143	1.601	397
2007	80.602	7.615	1.043	359
2008	72.963	6.574	865	297
2009	64.316	6.877	1.171	156
2010	62.903	6.437	1.444	475
<b>Ortalama</b>	73.938	7.033	1.152	320

**Çizelge 2.4.** 2004-2010 Yılları arasında iş kazası ve meslek hastalıkları sonucu sürekli ve geçici iş göremezlik sayıları [18]

YIL	İş Kazası Sayısı + Meslek Hastalığı Sayısı		Sürekli İş Göremezlik Sayıları		Geçici İş Göremezlik Sayıları		İş Göremezlik Sayıları	
	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü	Türkiye Geneli	İnşaat Sektörü
2004	84.214	8.116	1.693	349	1.983.410	280.237	1.985.103	280.586
2005	74.442	6.483	1.639	324	1.745.716	229.048	1.747.355	229.372
2006	79.601	7.148	2.267	428	1.849.010	251.409	1.851.277	251.837
2007	81.810	7.631	1.956	361	1.882.403	266.423	1.884.359	266.784
2008	73.502	5.580	1.694	373	1.802.345	233.517	1.804.039	233.890
2009	64.745	6.886	1.885	282	1.533.749	252.711	1.535.634	252.993
2010	63.436	6.468	2.085	319	1.466.146	229.596	1.468.231	229.915
<b>Ortalama</b>	74.536	6.902	1.888	348	1.751.826	248.992	1.753.714	249.340

İş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu 2004-2010 yılları arasında iş göremezlik istatistikleri inceleme sonucunda Türkiye geneline kıyasla inşaat sektöründe yıllık ortalama yaklaşık 250 bin iş göremezlik vakası olduğu tespit edilmiştir. Bu değer 348'i sürekli iş göremezlik vakası iken, kalan kısmı geçici iş göremezlik vakasıdır. En yüksek iş göremezlik değeri 2004 yılına, en düşük değer ise 2010 yılına aittir. İnşaat sektöründe iş kazası ve meslek hastalıkları sonucu meydana gelen yıllık ortalama iş göremezlik değeri, Türkiye genelinde yaklaşık %14'lük bir paya sahiptir (Çizelge 2.4).

**Çizelge 2.5.** 2008-2010 Yılları arasında Türkiye’de meydana gelen iş kazaları ve sonuçları [18].

	2008	2009	2010	Ortalama
<i>İş Kazası Sayısı</i>	72.963	64.316	62.903	66.727
<i>İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı</i>	865	1.171	1.444	1.160
<i>İş Kazası Sonucu Sürekli İş Göremezlik Sayısı</i>	1.452	1.668	1.976	1.699
<i>İnşaat Sektörü İş Kazası Sayısı Toplamı</i>	5.574	6.877	6.437	6.296
<i>İnşaat Sektörü İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı</i>	297	156	475	309
<i>İnşaat Sektörü İş Kazası Sonucu Sürekli İş Göremezlik Sayısı</i>	373	282	317	324

SGK’dan sağlanan istatistiklere göre 2008-2010 yıllar arasında Türkiye’de ortalama olarak 66.727 iş kazası meydana gelmiştir. Bu yıllar arasındaki iş kazaların sayısı düşüşte olsa bile ölümcül kazaların sayısını yükselişte olduğu görülmektedir. Bu yıllarda inşaat sektöründe toplam 6296 iş kazası meydana gelmiştir. Türkiye ‘de inşaat kazalarının toplam kazalara oranı yaklaşık %10’dur (Çizelge 2.5).

**Çizelge 2.6.** Kaza Tipleri [19]

Kaza Tipleri	İnşaat Türü				
	Bina İnşaatı	Yol İnşaatı	Köprü İnşaatı	Baraj İnşaatı	Tünel İnşaatı
<i>Yüksekten Düşme</i>	49,23	5,76	15,71	11,32	9,62
<i>Elektrik Çarpması</i>	9,08	0,82	0,71	3,61	0,05
<i>Malzeme Düşmesi</i>	9,23	6,79	9,29	21,60	42,36
<i>Yapı Makineleri Kazaları</i>	1,65	25,31	8,57	16,20	7,74
<i>Trafik Kazaları</i>	0,87	18,31	3,57	9,04	5,82
<i>Yapı Kısımının Çökmesi</i>	4,57	0,41	3,57	0,60	0,05
<i>Kazı Kenarının Çökmesi</i>	2,34	1,85	6,43	0,00	1,97
<i>Malzeme Sıçraması</i>	3,79	6,17	5,71	4,22	0,05
<i>Patlayıcı Madde Kazası</i>	0,67	10,49	5,00	4,82	15,43
<i>Diğer Tip Kazalar</i>	18,57	24,07	41,43	26,50	17,36
<b>Toplam</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

2007 yılında yayımlanan bir araştırmada farklı inşaat şantiyelerine göre kaza tiplerinin dağılımı incelenmiştir [19]. Araştırmada 5239 olaya ilişkin veriler incelenerek kaza tiplerine ilişkin bir tablo hazırlanmıştır (Çizelge 2.6). Çizelge 2.6’de en yüksek kaza oranının bina inşaatı işleri kapsamında “yüksekten düşme”, yol inşaatı kapsamında “yapı makineleri kazası”, köprü inşaatı kapsamında “yüksekten düşme”, baraj inşaatı kapsamında “malzeme düşmesi”, tünel inşaatı kapsamında ise “malzeme düşmesi” olduğu görülmektedir.

## 2.4 İş Kazalarının İnşaat Sektörüne Verdiği Hasarlar

Manevi hasarların yanı sıra iş kazaları, inşaat sektöründe önemli maddi zararlara da yol açmakta, verimliliği düşürmekte ve sektörün imajını zedeleyerek inşaat firmalarının iflasına neden olabilmektedir. Ölümlü bir iş kazasının manevi hasarının yanında firmaya olan maddi zararı yaklaşık 200.000 TL'dir. Ayrıca, firmanın sigorta risk priminin yükselmesi ve gelecek projelerdeki rekabet gücünü kaybetmesi inşaat firmasının iflasa gitmesinin diğer bir boyutudur. İş kazaları temelde güvensiz davranışlar ve güvensiz durumlar nedeniyle oluşmaktadır. Ancak etkili bir iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ile kazaların önlenmesi mümkündür. İnşaat sektöründe iş kazalarının en aza indirgenmesi, ülke ekonomisinin zarar görmemesi ve manevi kazanç sağlama potansiyeli bakımından son derece önemlidir.

İş kazalarının yüksek maliyeti, kazalar sonucu ödenen tazminat ve sigorta maliyetleri ve cezalar dünyadaki inşaat firmalarının iş güvenliğine daha fazla odaklanmalarını sağlayan önemli etkenlerdendir. Bunun yanı sıra iş kazaları diğer fiziksel hasarlara rağmen inşaat projelerinde zaman kaybına da sebep olmaktadır [20]. Dünyanın önde gelen inşaat firmaları iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını verimli bir biçimde firmalarına adapte etmekte ve sıfır kaza politikasını kendilerine bir hedef olarak ortaya koymaktadırlar [21]. Ayrıca, dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde inşaat firmalarının başarısı projelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını başarılı bir şekilde tamamlamaları ile değerlendirilmektedir [22].

## 2.5 Devletin İş Sağlığı Ve Güvenliğine Karşı Sorumlulukları Ve Uygulamaları

Devletin işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili olarak görevleri arasında; ilgili mevzuatın hazırlanması, örgütlenmenin ve denetimin sağlanması ve gerektiği zaman ilgililere yaptırımlar uygulanması yer almaktadır. İşveren ise maddi ve manevi çıkarları için iş güvenliği kurallarına uymak zorundadır. İşveren, güvenlikle çalışacak bir işyerini teçhiz etmekten, kanunen ve manen sorumludur. Aynı zamanda herhangi bir başarılı iş güvenliği programını uygulamada ve iş güvenliği politikasını tayin ve takip etmekte yükümlüdür. Bir işveren, işyeriyle ilgili gerekli

güvenlik önlemini almaması durumunda doğacak zararlardan mutlaka sorumlu olmaktadır.

İş kazaları, kaza geçiren kişinin bedeninde oluşan sonucuna göre;

- Geçici iş görmezlik doğuran iş kazaları,
- Sürekli iş görmezlik doğuran iş kazaları. İşçinin meslekte kazan gücünü %10'dan fazla kaybetmesine neden olan iş kazasıdır. Bu durumda işçiye maaş bağlanır. Sürekli tam ve sürekli kısmi iş görmezlik iş kazaları olarak ikiye ayrılır.
- Ölüme sebep veren iş kazaları olarak sınıflandırılabilir.

Bir iş kazasının doğuracağı tazminat miktarı küçük işletmeleri iflasa götürecek rakamlara ulaşabilir. Bir işçinin tek parmağının kopması bile 5000–10.000 TL'lik bir tazminatın doğmasına yol açabilmektedir.

İş kazalarının dolaysız masraflara örnek olarak işletmenin SGK'ya ödediği kaza primleri ile karşılanan;

- Hastane, ilaç, araç, gereç vb. bedelleri
- Geçici ve sürekli iş görmezlik ve ölüm ödenekleri
- Sigortalıya ödenen tazminat bedelleri verilebilir.

İş kazalarının dolaylı masrafları ise işgücü kaybına neden olan durumlardan;

- Kaza geçiren kişinin çalışmaması
- Kazalıya yapılan ilk yardım
- Kazalı ile meşgul olan diğer işçiler ve moral çöküntüsü nedeniyle çalışamayan işçiler
- İşveren ve vekilinin kaza ile ilgilenmeleri, kazanın meydana geldiği işin yeniden oluşturulması ve yeni işçinin seçimi veya yetiştirilmesi ve kaza ile ilgili resmi mercilerle ilişki ve yasal işlemler dolayısıyla kaybedilen zaman
- Kaza nedeniyle üretime ara verilmesi
- Makinelerin durması veya hasar görmesi
- Malzeme veya hammaddenin kaybı
- Kaza geçiren işçinin işe başlaması sonrası verimliliğinde düşme olması
- Resmi merciler tarafından yapılan tahkikat masrafları olarak gösterilebilir.

Kazalarının meydana gelmesine karşı alınmayan tedbirler nedeniyle ortaya çıkan sorunlar çok yönlü ve ağır olmakla birlikte kazaları önlemekten daha fazla masraf çıkarmaktadır.

### **2.5.1. 6331 Sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu**

Yeni dönemde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili uygulama, 20 Haziran 2012 tarihinde TBMM Genel Kurulu'nda kabul edilen ve 30 Haziran 2012 tarihli ve 28339 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun amacı;

1. bölümün 1. maddesinde belirtildiği üzere, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir. İkinci maddesinde kamu ve özel sektöre ait bütün işlere ve işyerlerine, bu işyerlerinin işverenleri ile işveren vekillerine, çırak ve stajyerler de dahil olmak üzere tüm çalışanlarına faaliyet konularına bakılmaksızın uygulanacağı istisnalarıyla belirtilmiştir. Üçüncü maddesinde ise kanun ve iş sektörü ile ilgili tanımlar yapılmış, ilgili kavramlar açıklanmıştır. İş güvenliği kavramında, çalışanların can güvenliği, sağlıkları, makine araç ve gerecin, işyerinin, çevrenin, üretilen malın güvenliği yer almaktadır. Bu kapsamdan, iş dünyasında çalışan çok sayıda insan, büyük miktarlar tutan malzeme, makine, araç ve gereçler, parasal değer, çevre, ekoloji, iş dünyası ile ilgisi olmayan milyonlarca insanın hayatı ve mutluluğu anlaşıldığına göre iş güvenliğinin önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. İkinci bölümde, işveren ile çalışanların görev, yetki ve yükümlülükleri belirtilmiş olup, üçüncü bölümde, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği kapsamında alınacak önlem ve yaptırımların oluşturulacak kurulların yapısı ve koordinasyonundan bahsetmektedir. Dördüncü bölümde ise teftiş, inceleme ve denetlemenin ne şekilde olacağı, buna istinaden işin durdurulması veya muhtelif para cezalarının uygulanma şekli ifade edilmiştir.

İnşaat sektöründeki güvenlik önlemlerini geliştirebilmek için, kazaların altında yatan sebepleri anlamak gerekli. Hedeflenen analizlerle birlikte, olayların gelişimi anlaşılabilir ve sebepler belirlenebilir. Böylece buradan elde edilen sonuçlar, işçi güvenliğinin geliştirilmesi konusunda temel olarak kullanılabilir.

### 3. İNŞAAT PROJELERİNDE İŞ KAZALARI VE KÖR NOKTALAR

İş kazası, belirli bir zarara ya da yaralanmaya neden olan beklenmeyen ve önceden planlanmamış bir olaydır [23]. WHO ise iş kazalarını şu şekilde tanımlamaktadır; önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara, makine, araç ve gereçlerin zarara uğramasına, üretimin bir süre durmasına yol açan bir olaydır [24].

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu 3. maddesinde ise iş kazası kavramını “işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olay” olarak tanımlamıştır.

Bu durum endişe verici olsa da, bağımsız işverenleri, parça başı ya da sigortasız işçileri kapsamıyor olması bu sayıları daha da arttırabilir [14]. Ayrıca, mevcut durumda şantiyelerde çalışan elemanların çoğunluğu güvenlik standartları ana yüklenici firmayla aynı düzeyde olmayan taşeron firmalara bağlı olarak çalışmaktadır.

İş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu meydana gelen kayıplar gelişmekte olan ülkelerin kalkınmasında önemli bir engel olarak göze çarpmaktadır. Diğer yandan, gelişmekte olan ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği, kalkınmanın önemli unsurları arasında yer almaktadır.

2010 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde, inşaat sektöründe 774 adet ölümlle sonuçlanan kaza gerçekleşmiştir. Bu sayı, diğer herhangi bir sektördeki kaza sayısından daha fazla olup Amerika genelinde yaşanan ölümlle sonuçlanan iş kazalarının %17'sini oluşturmaktadır. İnşaat sektörü Amerika Birleşik Devletleri’nde, 2010 yılında 800 milyar dolarlık yatırıma sahip, geniş, dinamik ve kompleks bir sektördür. İnşaat sahaları ise organizasyonel açıdan karmaşık, çok işverenlik bir yapıya sahip ve çeşitli sağlık ve güvenlik sorunlarına sahiptir. [25].

İnşaat kazalarının projede görev alan çalışanlara doğrudan bir etkisi vardır. Kaza geçiren kişinin problemleri, proje sürecinin gecikmesi, verimliliğin düşmesi, yüksek miktarlarda sigorta maliyetleri, kar oranının düşmesi ve çalışanların moralinin düşmesi kazaların neden olduğu etkilere birer örnek olarak verilebilir

[26]. Yukarda sayılan nedenlere ek olarak inşaat sahasındaki kazalar şantiyedeki tüm işçiler üzerinde artan bir psikolojik baskı yaratmaktadır. İş esnasında bir işçi kazaya maruz kalırsa, o kazadan geriye kalan gergin ve dehşet anlar işçinin bir sonraki aşamalarındaki performansın üzerinde kontrolsüz bir baskı üretmektedir. Eğer kaza, işçinin hayatına mal olursa, aynı iş kolunda çalışanlar için her zaman negatif bir psikolojik baskı olarak kalmaya devam edecektir. Aynı iş kolunda çalışan işçiler bu psikolojik baskı nedeniyle yaptıkları doğru işleri bile tereddüt ve kaza tehlikesinden çekinerek yapacaklar ve sonuçta bu tereddüt ve korku, onların çalışma performanslarının bariz bir şekilde düşmesine sebep olacaktır.

İş kazalarının nedenleri güvensiz davranışlar ve güvensiz durumlar olarak iki başlıkta ele alınmaktadır. Güvensiz davranışlar kişilerin davranışlarından kaynaklanan kişisel faktörlerdir. Bu davranışlar içerisinde en önemlisi, tehlikelerin önemsenmemesidir. Bir diğer önemli güvensiz davranış ise, kişisel koruyucu malzeme kullanımı yetersizliğidir. Güvensiz durumlar ise saha koşullarının uygunsuzluğu, ekipmanların niteliği, araç ve ekipmanların bakım ve kontrollerinin yapılmaması ve kör noktalar gibi işyerinde her an kazaya yol açabilecek şartların varlığıdır. Hem güvensiz durumlar hem de güvensiz davranışların birlikte yok edilmesi durumlarında iş kazalarını önlemek mümkün olabilmektedir. Sadece güvensiz durumların veya güvensiz davranışların ortadan kaldırılması iş kazalarını önlemek için yeterli değildir. Güvensiz durumların ve davranışların sayısının, bu durumları dışardan etkileyen doğal nedenlerden dolayı sıfıra inmesi çok zor gözükse de imkansız değildir. Aşağıda güvensiz durum ve davranışlara örnekler verilmiştir:

**Çizelge 3.1.** Kazalara sebep olan güvensiz durumlar ve davranışlar

<b>Güvensiz Durumlar</b>	<b>Güvensiz Davranışlar</b>
<i>Yalıtılmamış elektrik donanımı</i>	<i>Acemilik</i>
<i>Yere dökülmüş yağlı sıvı</i>	<i>Yorgunluk</i>
<i>Yetersiz aydınlatma</i>	<i>Bilgisizlik</i>
<i>Bakımsız veya arızalı el aletleri</i>	<i>Kendini gösterme ihtiyacı</i>
<i>Koruyucusuz makineler</i>	<i>Uykusuzluk</i>
<i>Yetersiz havalandırma</i>	<i>Üretim zorlaması</i>
<i>Uygun olmayan istifleme</i>	<i>Tedbirsizlik</i>
<i>Makine, ekipman yerleşimi</i>	<i>Dalgınlık</i>

<i>Zemin arızaları</i>	<i>Stres</i>
<i>Kör noktaların önlemesindeki ihmaller</i>	<i>İletişim kopukluğu</i>

Şekil 3.1-3.5’de güvensiz davranış ve durumlara örnekler verilmiştir. Şekil 3.5 ise güvenlik önlemi almış çalışanlar görülmektedir.



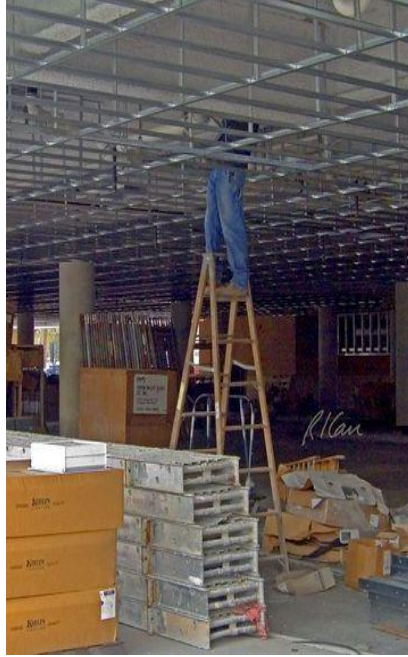
Şekil 3.1. Güvensiz davranışlar - Kaynak yaparken gözlük kullanımında yanlış bir uygulama



Şekil 3.2. Güvensiz davranışlar – Yerli üretim Baret



Şekil 3.3. Güvensiz davranışlar - Yığılma yapı güvenliği, düşme tehlikesi



Şekil 3.4. Güvensiz davranışlar - İnşaat Merdiven, devrilme tehlikesi



Şekil 3.5. Güvensiz davranışlar - Güvencübir inşaat iskelesi

### 3.1 İnşaat Projelerinde Kaza Tipleri

OSHA'nin yaptığı araştırmalara göre inşaat işçilerinin ölümlerinin sebepleri dört ana başlık altında toplanmaktadır: düşmeler, eşya ve malzemelerin çarpması, elektrik çarpmaları ve sıkışma-ezilmeler [3].

İnşaat işçilerinin ölümlerinin dörtte biri çarpışma, devrilen aracın altında kalma, bir aracın çarpması ya da diğer alet, edevatla ilgili kazalar sonucu gerçekleşmektedir. Bir ekipman inşaat sahasına getirildiğinde, ana yüklenici firma, taşeron firma ya da bu ekipmanı kiralayan firma ekipmana uygun çalıştırma koşullarını sağlamakla sorumludur. Ekipmanın kullanım amacına uygun olup olmadığı belirlendikten sonra güvenli olduğu belirtilmelidir [1].

1985-1989 yılları arasındaki OSHA verilerine göre, bir aracın çarpması sonucu gerçekleşen kazalar, inşaat sektöründe gerçekleşen ölümlerin %22'sini

oluşturmaktadır. Bu durumlarda genel sebep, görüşün yetersiz olması ya da işçinin aracın kör noktasında yer alması [3].

Düşme sonucu gerçekleşen ölümler inşaat sektöründeki ölümlerin üçte birini oluşturmaktadır ve son yıllarda sayısı oldukça artmıştır. 2007 yılında en az 442 düşme sonucu ölüm bildirilmiştir [3].

Ekipman, iş makinaları ve alet edevat; taşıyıcıları içeren kamyon, forklift, konveyör, boru hattı, demir yolu, asfalt yol ve hava taşımacılığı gibi alt gruplara ayrılabilir [27]. Kamyonlar, forkliftler ve hafriyat ekipmanları (mini yükleyiciler, kazıyıcılar, yükleyiciler, ön uç yükleyiciler, buldozerler ve kompaktörler) genellikle görünürlükle ilgili yaralanmalara sebep olmaktadır.

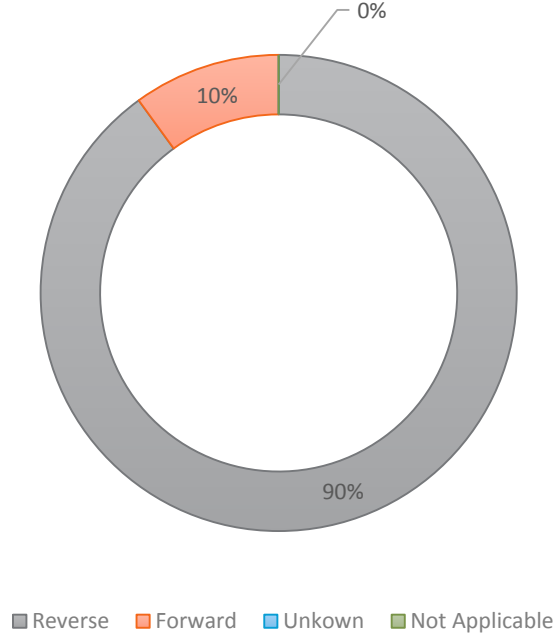
### **3.2 Şantiyelerdeki Kazalara Sebep Olan Görüş Yetersizliği ve Kör Noktalar**

İnşaat ekipmanlarını içeren kazalar, çoğu zaman görüşün yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Yağmur, toz ve çatlamış veya kirli pencereler, sınırlı görüşün sebepleri arasında yer almaktadır. Bir operatör, genellikle uygun koşulların altındaki koşullarda çalışmakta ve ekipmanın hareketi, operatörün görüş alanı, reaksiyon zamanı ve dikkat/odak seviyesinden etkilenmektedir. Bu önemli faktörlerden herhangi birinde bir sorun yaşanırsa, bu kazaya davetiye çıkarmak demektir [28].

Görüşün yetersiz olmasından kaynaklanan ölümler, 1990-2007 yılları arasındaki toplam inşaat ölümlerinin yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır [1]. Son yapılan çalışmalar ve araştırmalara göre, kör noktalar, engeller ve aydınlatma koşulları görüş oranının düşüklüğünden kaynaklanan ölümlerin en yaygın nedenleri olmuştur. Görüşün düşük olmasından kaynaklanan kazaların nedenleri 5 farklı kategoride incelenebilir;

- 1 Atmosferik Engeller
- 2 Genel Engeller
- 3 Çok Karanlık
- 4 Çok Aydınlık
- 5 Kör Noktalar

Hava durumuyla ilgili sebepleri değerlendirmeye almayan Hinze ve Teizer [1], görüş oranının düşük olmasından kaynaklanan kazaların nedenlerini incelemek için karşılaştırmalı bir grafik oluşturmuşlardır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kaza esnasında damperli kamyonun hareket yönü (N=33)

İnşaat faaliyetleri sıklıkla dış ortamda gerçekleşir. Bu ortamlar yağmur, kar ve sis gibi hava koşullarından direkt olarak etkilenmektedir. 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 düşürmektedirler.

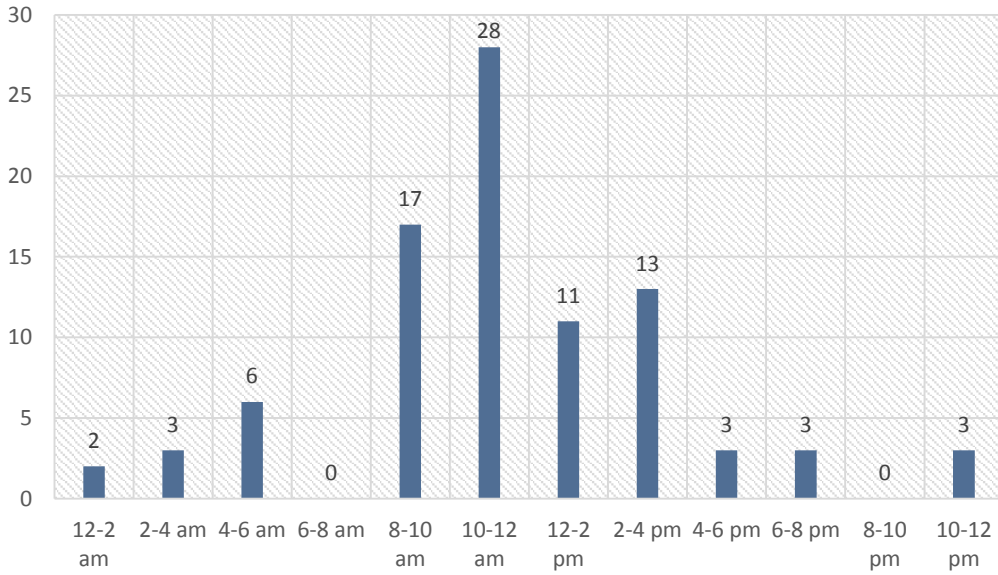
"Çok parlak" kategorisi, ani parlaklık ya da karanlık bir ortamdan aydınlık bir ortama geçmenin göz kamaşmasının yarattığı çevrede yer alan objelere dair referans noktasını yitirmenin sebep olduğu kazaları içermektedir.

Üçüncü kategori olan "çok parlak", aydınlatmanın yetersiz olduğunda gözlenmektedir. Bu kategori, çoğunlukla gün doğumu ve batımı zamanı yetersiz aydınlatma eşliğinde yapılan çalışmalarda işçi yaralanmalarını ya da ölümlerini kapsamaktadır [1].

İkinci kategori "engeller" ve operatörün çevresindeki işçilerle arasındaki görüşü bloke eden durumları kapsamaktadır. Böyle bir engele örnek olarak işçinin görüşünü engelleyen toprak yığınlarını veya dolgu malzemelerini verebiliriz.

Beşinci kategoriye "kör noktalar" oluşturmaktadır [1]. Kör noktalar, operatörün görüş alanını kısıtlayarak yerdeki malzeme ve çalışma alanlarındaki diğer ekipmanları görmelerini engelledikleri için sorun yaratmaktadırlar [5].

Kör nokta ve diğer görünürlükle ilgili faktörlerin yanı sıra dikkat edilmesi gereken başka bir neden daha vardır. Zaman, olayların ortaya çıkması üzerinde etkisi olan başka bir faktördür. Şekil 3.7, görüşün düşük olmasıyla ilgili ölümlerin ve onların gün içinde meydana geldiği saatleri göstermektedir. Yalnızca bazı kazaların sebebi oluş zamanıyla açıklanabilmektedir. Gündüz 10-12 arası görüş düşüklüğü ile ilgili en çok kazanın yaşandığı zaman dilimidir [1]. Ancak gündüz 10-12 saatleri arasının, aynı zamanda iş yoğunluğunun en yüksek olduğu zaman dilimi olduğunun da belirtilmesi gerekmektedir.

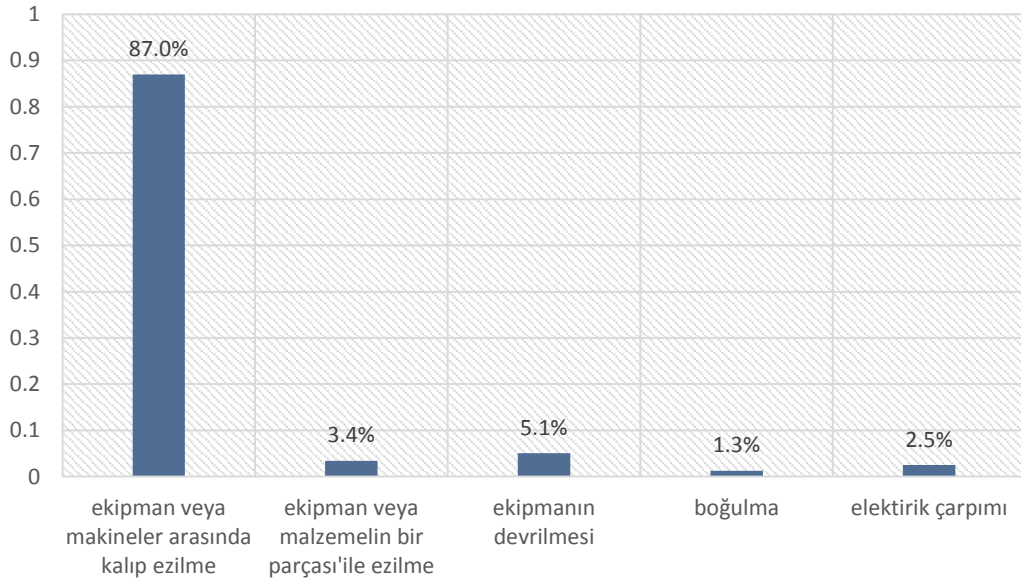


Şekil 3.7. Görme ile ilgili ölümcül kazaların oluşum saati (89 vaka).

Bir inşaat işçisi ağır makine başındayken veya diğer görevleri gerçekleştirirken yaşanan bir parlamaya, gözün kamaşması ile objelerin görünürlüğünü ciddi oranda azaltabilmektedir. Bu olay, düşük kontrasta sahip nesnelere içeren durumlarda daha sık yaşanmaktadır [29]. Göz kamaşması, uluslararası ışık sözlüğü tarafından konforsuz kamaşma ve bozucu kamaşma olarak ikiye ayrılmıştır. Konforsuz kamaşma, rahatsızlık vermekte ancak görüşü engellememektedir. Bozucu kamaşma ise objelerin görünürlüğünü etkilemektedir, ancak rahatsızlık verici olmak zorunda değildir [29]. Göz kamaşması, özellikle

güneş alçaktayken yaşanmaktadır. Genç ve yaşlı işçiler üzerindeki etkisi aynıdır. Göz kamaşmasının sebep olduğu kazaları engellemek için, koruyucu gözlük kullanmanın yanı sıra, güvenlik önlemleri veya işin tamamlanması için ayrılan zaman arttırılmalıdır [29].

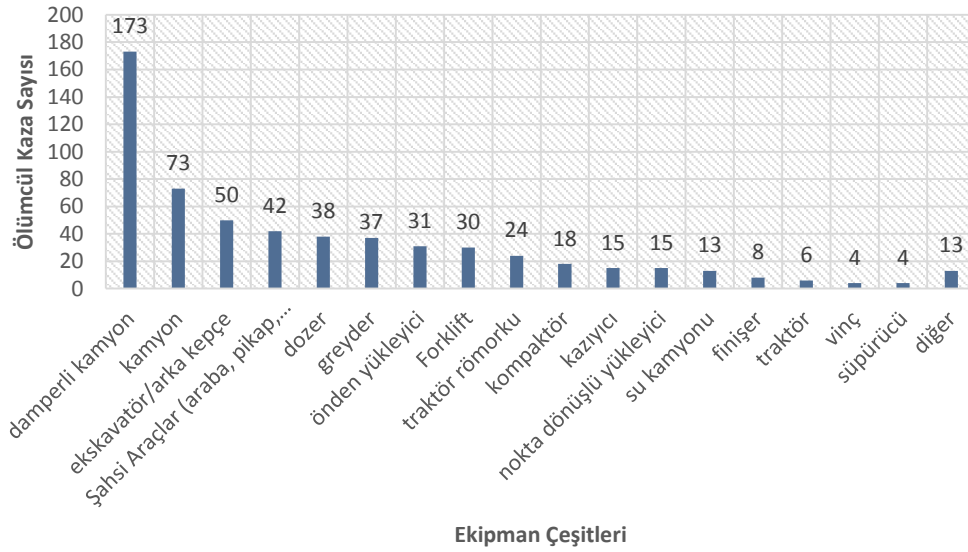
Hinze ve Teizer [1] tarafından görüş/dikkat eksikliği ve ekipman sorunlarından kaynaklanan 594 ölümlü inşaat kazası incelenerek yapılan bir başka çalışmanın sonucu Şekil 3.8'de verilmiştir. İşçiler, hareket halindeki bir aracın çarpması dışında, araç parçalarının çarpması, üstlerine malzeme düşmesi, araçların elektrik hatlarına zarar vermesi sonucu oluşan elektrik çarpmaları, eğimin dik olduğu yerlerde yapılan çalışmalar sırasında yaşanan devrilmeler ve aracın bir göle ya da derin bir suya yuvarlanması sonucunda da hayatlarını yitirmişlerdir.



**Şekil 3.8.** İnşaat sektöründeki görünürlük veya farkındalıktan kaynaklanan ölümcül kazaların türleri (N = 594).

Şekil 3.9, 594 örnek olayın incelenmesiyle, spesifik ekipmanların sebep olduğu ölümlü kaza oranlarını göstermektedir [1]. Damperli kamyonun açık ara listenin lideri olması, bu konuda ne kadar dikkatli olunması gerektiğini gözler önüne sermektedir. Bunu kamyonlar (bazı damperli kamyonlar dahil olabilir) takip etmektedir, ancak kamyonların türü açıkça ifade edilmemiştir. Çoğu durumda ikisini birbirinden ayırt etmek imkansız olduğu için, hidrolik ekskavatörler ve kazıcı yükleyiciler aynı başlık altında incelenmiştir [1].

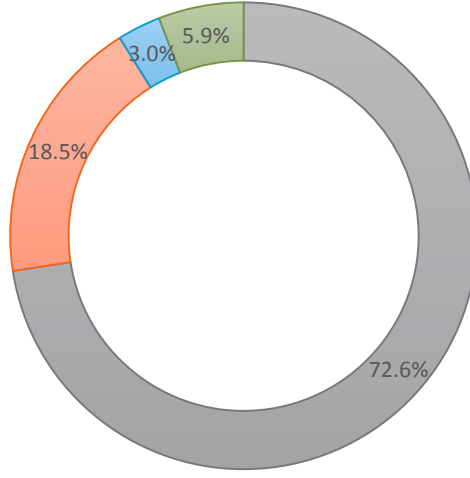
Kamyonlar nispeten yerden yüksek sürüşü olan ve büyük lastik üzerinde konumlandırılmış taşıma araçlarıdır. Damperli kamyon, malzemenin düşmesini engellemek için her tarafı kapalı olan bir taşıma alanına sahiptir. Bu alan "kör nokta" yaratarak operatörü sınırlı görüş alanı sağlayan dikiz aynalarını kullanmayı zorunlu kılar. Dikiz aynalarının civarında ve kasanın arkasında kalan objeler çoğunlukla görüşün dışında kalmakta ve geri gitmenin gerekli olduğu zamanlarda tehlikeli durumlar yaratmaktadır [1].



Şekil 3.9. Ölümcül kazalarda kullanılan araç veya ekipmanın sıklığı.

Kaza esnasında makinenin ne yönde ilerlediği de diğer bir kaza sebebi olabilmektedir. Hinze ve Teizer'in çalışmalarının başka bir sonucu olan Şekil 3.10, kaza esnasında makinenin yönüne dair bazı istatistikler sunmaktadır. Bunlar 4 başlıkta incelenebilir;

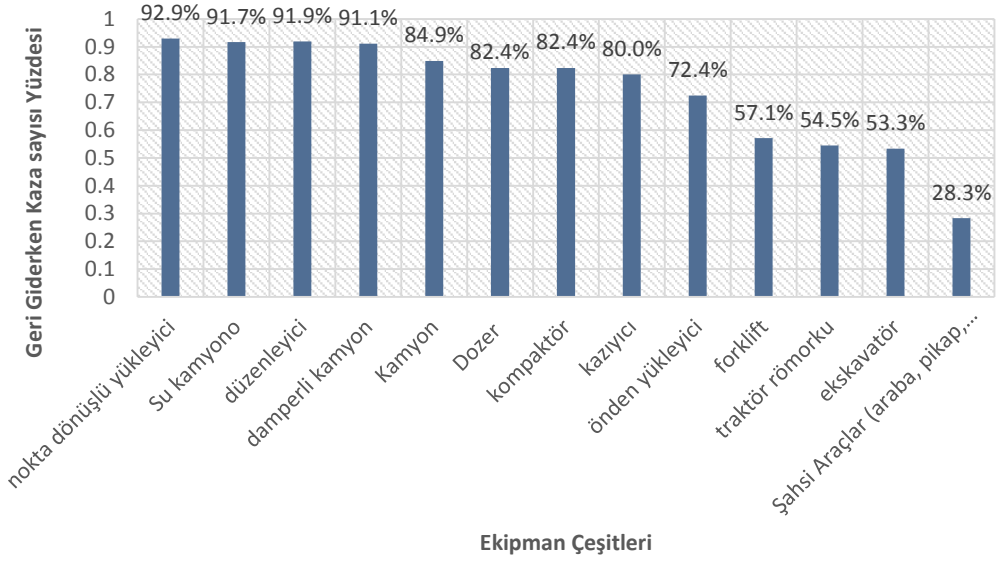
- 1 Geri hareket
- 2 İleri
- 3 Yön belirtilmemiş
- 4 Hareket halinde değil



■ Geri Hareket ■ İleri ■ Yön Belirtilmemiş ■ Ekipmanın çalışır ama Hareket Halinde Olmaması

**Şekil 3.10.** Kaza meydana geldiği zamanda ekipmanın hareketlilik durumu (N594) [1]

Sonuçlar gösteriyor ki, araç geri hareket ederken gerçekleşen kazaların sayısı (431), araç düz giderken gerçekleşen kazaların sayısının (110) neredeyse dört katıdır [1]. Araç geri manevra yaparken gerçekleşen kazaların sayısının yüksek oluşu, bu durumdaki tehlikenin büyüklüğüne işaret etmektedir. Kör nokta oranı karşılaştırıldığında, geri hareket esnasında araçlarda yaşanan kaza sayısının yüksek olması oldukça normaldir. Yönün belirtilmediği kazalar, kaza raporunda kaza esnasındaki yönün açıkça belirtilmediği veya tahminde bulunulamayacak durumları içermektedir. "Çalışmaya devam ediyor fakat hareket etmiyor" denilen durumlar ise aracın operatör tarafından hareket ettirilmediği durumları kapsamaktadır. Ekskavatörün kazı yaparken veya vincin malzemeyi kaldırırken bir işçiyi yaralaması bu duruma örnek teşkil etmektedir [1].



**Şekil 3.11.** Ekipman veya makinelerin iş esnasında geri hareket yapma yoğunluğu.

Hinze ve Teizer'in çalışmalarından bir başka örnek olan Şekil 3.11, araç geri manevra yaparken yaşanan kazalar hakkında detaylı istatistikler sunmaktadır. Bu kazaların büyük bir kısmı nokta dönüşlü yükleyici, kamyon, greyder, damperli kamyon, dozer, kompresör ve kazıyıcı gibi kör nokta miktarı yüksek ve kör nokta algılama konusunda daha hassas sistemlere sahip olması gereken araçlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Kör noktalardan kaynaklanan kazaların büyük bir kısmının damperli kamyonlar tarafından gerçekleştiriliyor olması sebebiyle bu durumları daha detaylı olarak incelemek gerekmektedir. Görüşün düşük olmasından kaynaklanan kazaların çoğunun çarpışmayla sonlandığı ortaya çıkmıştır. Bu kazaların %29'u damperli kamyonlar nedeniyle gerçekleşmiştir [1]. Damperli kamyonlar inşaat malzemesi tedarik zinciri içinde belirli bir görevi yerine getirmek için tasarlanmıştır. Tedarik inşaat sektöründeki ana unsurlardan biri olduğu için, damperli kamyon sayısı da oldukça fazladır. Hinze ve Teizer [1] tarafından sağlanan verilere göre, damperli kamyonlar çarpmadan kaynaklanan kazaların %31'ine sebebiyet vermiştir. Bu kazaların %90'ı araç geri hareket ederken yaşanmış, bu damperli kamyonların geri manevra yapma sıklığına bağlanabileceği gibi, kör nokta alanının geniş olmasıyla da açıklanabilir.

Bazı işlemler gerçekleştirilirken geri manevra yapmak durumu daha tehlikeli hale getirirse de, bazı araçlar düz giderken daha yüksek kaza oranlarına sahiptir. Buna özellikle ekskavatör operasyonlarında rastlanmıştır. Bu, aracın uzantılarının yarattığı, hareketli kör noktalarla açıklanabilmektedir. Ekskavatör kepçesi sürekli bir ayarlama gerektirdiğinden, sürekli hareket, potansiyel bir kurbanın görüş alanının dışında kalması tehlikesini barındırmaktadır [1].

Şantiyelerdeki farklı ekipmanların çeşitli kaza sebepleri ve onlara ilişkin yüzdelerle inceledikten sonra, sıra bu kazaları önlemek için yapılan deneyler ve araştırmaların incelenmesine gelmektedir. Bir sonraki bölümde kazaya sebep olan faktörlerin tespit yöntemleri ve kazaların önlenmesine yönelik şimdiye kadar yapılan en önemli çalışmalar özet olarak sunulup pozitif ve negatif yanları tartışılacaktır.

#### 4. KÖR NOKTALARLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

OSHA, ILO ve benzeri organizasyonlar, şantiyelerde sağlık ve güvenlik koşullarını kontrol etmek için büyük bir insan ve para kaynağını seferber etmektedir. Ancak şantiyeleri tehlikeden arındırmak için inşaat pazarının gelişme oranı, organizasyonların bu tarz durumlarla başa çıkabilme yeteneğinin gelişme oranından daha yüksektir. Ayrıca şantiye koşulları sabit kalmamakta ve sürekli değişmektedir. Dolayısıyla tahminler her zaman doğru olmayabilir.

Günümüz koşullarında, inşaat sektörünün hızına yetişebilmek için teknolojinin yardımını kabul etmeliyiz. Bu durum, tehlike tespit ve önleme sistemlerini otomatikleştirmenin önemini göstermektedir. Bu bölümde iş sağlığı ve güvenliği ve kör noktalar ile ilgili diğer proje ve çalışmalara yer verilecektir. Ayrıca, bu çalışmalar hem pozitif hem de negatif yönleriyle incelenecektir.

1971 yılında kurulduğundan bu yana, OSHA, işçilere güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacı ile kamuya bildirim ve yaptırımlarda bulunan bir devlet kuruluşudur. OSHA; son yıllarda sektör üzerinde ölümlerin %62 ve yaralanmaların %42 oranında azaltılmasını sağlayan olumlu bir etkiye sahip olmuştur [30]. Ancak, çizelge 8'e göre, OSHA'nin faaliyetleri ölüm oranlarını düşürse de bu oranı sıfıra indirmek için başka yardımcı metotlara ihtiyaç vardır.

Çizelge 4.1. İnşaat sektöründeki ölümcül kazalar [14].

Yıl	Ölümcül Kazalar
2003	1131
2004	1272
2005	1224
2006	1226
2007	1204
2008	969
2009	607

Kör noktalar üzerine yazılan makaleler ve yapılan araştırmalar iki ana gruba ayrılmaktadır;

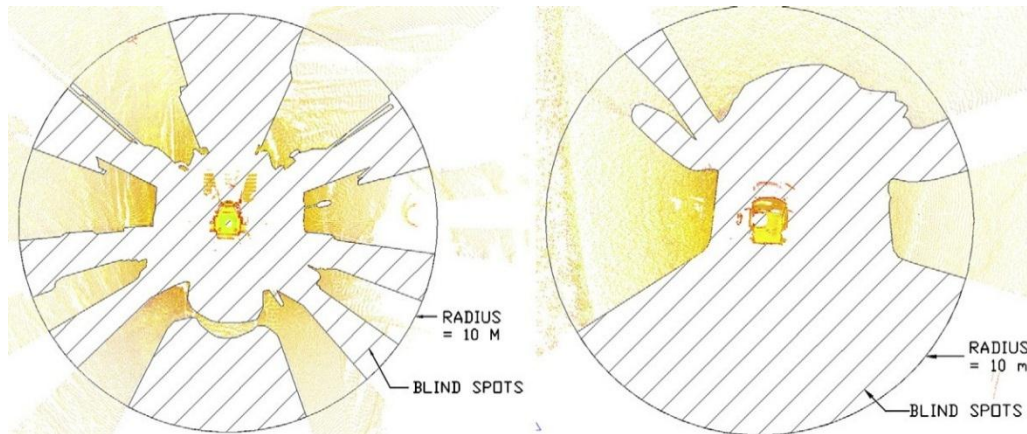
- 1 Kör noktaların tespitine yönelik yöntemler
- 2 Kör noktalardan kaçınma yöntemleri

#### 4.1 Kör Noktaların Tespitine Yönelik Yöntemler

İlk grup kör noktaların ortaya çıkmasına sebep olan durumları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Genellikle makine, teçhizat, saha koşulları ve operatörlerin fiziksel özelliklerini analiz etmekte ve bunların hangisinin kör nokta oluşumunda asıl rolü oynadığını kontrol etmektedir. Son olarak da diyagramlar ve istatistikler ortaya çıkararak bu faktörlerin sebebiyet oranlarını tespit etmektedir.

İlk grubun kör noktalar üzerine yaptığı çalışmalar sayesinde 4 farklı metot geliştirildi. Kör noktaların yerini saptamak için, araç bir diyagramın ortasında konumlandırılmaktadır. Karanlık alanlar kör noktaları göstermektedir, sarı gölgeli ya da çatlaklı alanlar ise ayna yardımıyla kör noktaların azaltıldığı alanları göstermektedir. Açık ve kesintisiz görüş ise beyaz alanlarla gösterilmektedir [31]. Bu yöntemler, açısal ve doğrusal uzaklıkların iki-boyutlu düzlemlerde algılanmasını sağlamaktadır.

İlk yöntem araç kabininin içine göz hizasında bir ya da iki parlak ışık çubuğu koymayı ve yer hizasında noktalar belirlemeyi kapsamaktadır. Işığın düştüğü yerler elle kaydedilmekte ve daha sonra bilgisayar tabanlı bir şebeke sisteme aktarılmaktadır (Şekil 4.1). Bu yöntem aynı zamanda, ISO 5006 standardının bir parçası olarak hafriyat makinesi operatörlerinin etrafı görebilme yeteneğini değerlendirmek için de kullanılmaktadır [32]. ISO 5006 standardı yıllar süren deneyimlere dayanarak gözlem yarıçapını 12 m olarak belirlemiştir ve operatörün en az 0,7 m genişliğindeki objeleri algılamasını değerlendirmektedir.

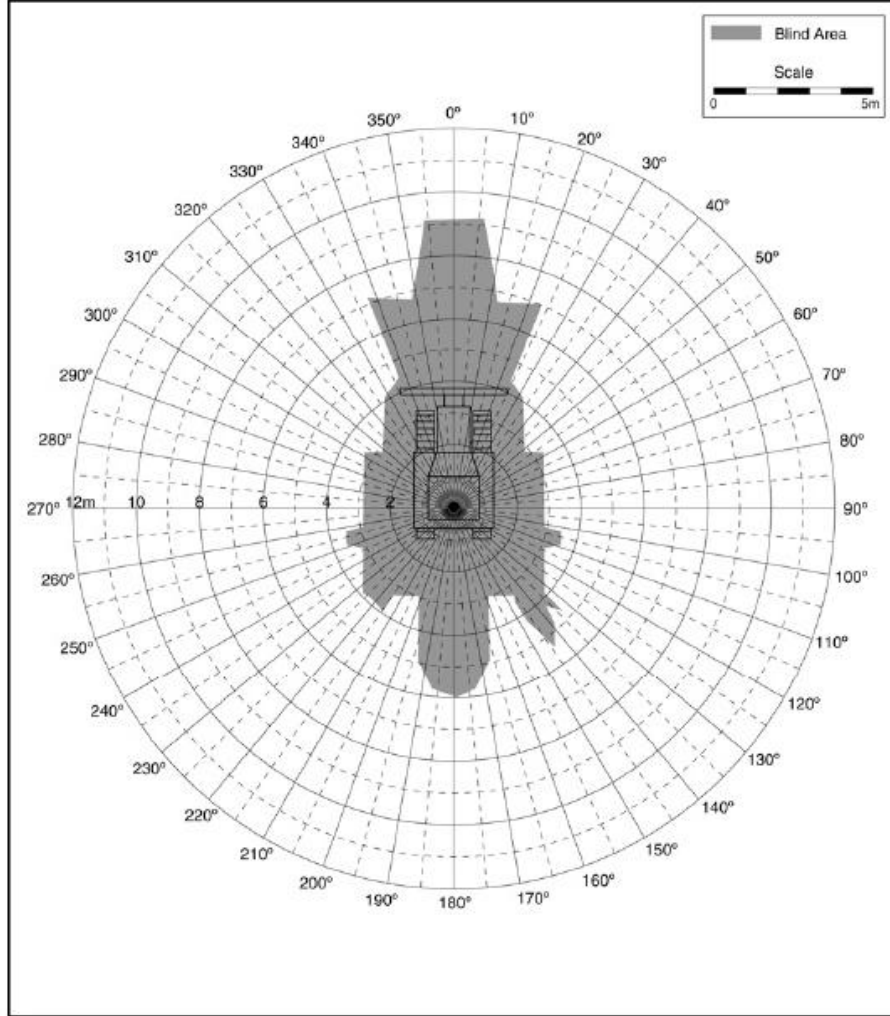


Şekil 4.1. Zemin seviyesinde Manuel kör nokta hesaplama (taranmış bölgeler kör noktaları temsil ediyor): buldozer (soldaki şekil) ve Kamyonet (sağdaki şekil).

İkinci yöntem, kabinde oturan bir operatörün rehberliğini kullanmaktadır. İlk yöntemdeki şebeke sistemi burada da kullanılmaktadır. Bu yöntemde deney ekibi işçi olarak davranmakta; aracın etrafında dolaşmakta ve operatörün onları göremediği noktaları not etmektedir. Sırasıyla kullanılan üçüncü ve dördüncü yöntemler bilgisayar destekli canlandırma ve yüksek kaliteli fotoğraflardır. Ekipman dışardan lazerle taranmaktadır. Deney ekibi bu sayede aracın 3 boyutlu bir CAD modelini yaratmaktadır [31].

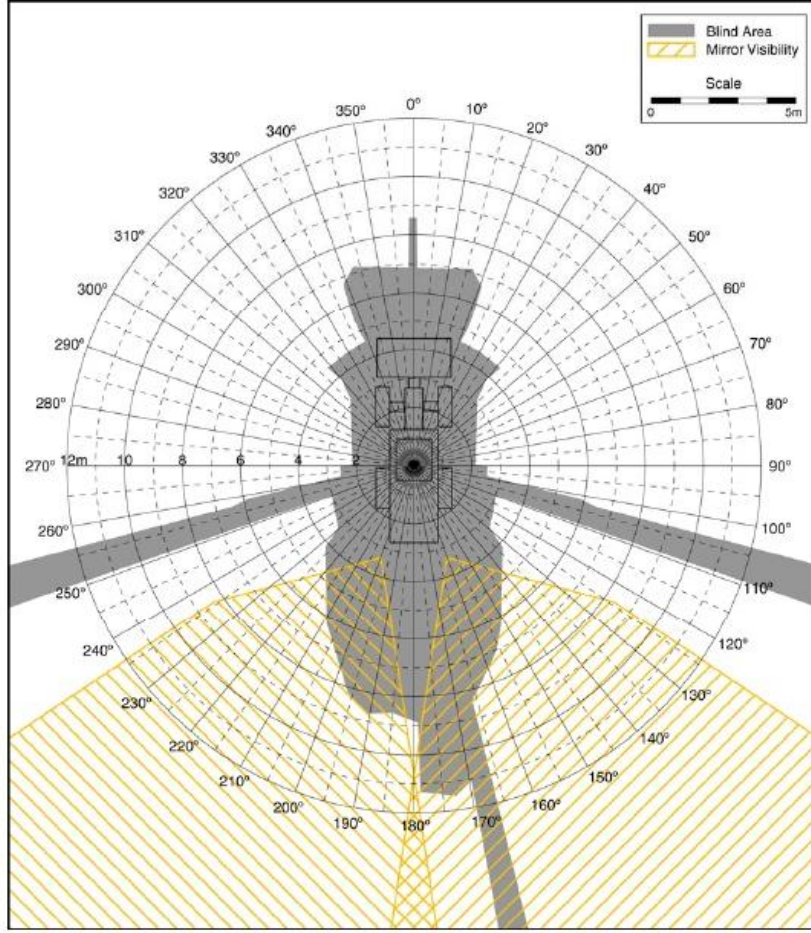
Ek olarak Hefner [33], inşaat sektöründe kullanılan 38 farklı aracın (yükleyiciler, kazıcı yükleyiciler, greyderler/kazıyıcılar ve damperli kamyonlar gibi) kör nokta diyagramını yayınlamıştır. Hefner'in çalışmasının sonuçları Şekil 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

<b>Dozer (Manufacturer and Model)</b>	John Deere 700H
<b>GVW</b>	25,800 lb
<b>Serial #</b>	T0700HX906617
<b>Machine Dimensions</b>	10' wide (blade) 14' 11" long
<b>Operator Enclosure</b>	Closed ROPS
<b>Attachments</b>	10' wide, 3'11" high Power Angle & Tilt Blade
<b>Other Information</b>	None
<b>Measurement Technique</b>	Physical



Şekil 4.2. Dozerin kör nokta diyagramı- zemin tabaka [33]

<b>Loader (Manufacturer and Model)</b>	Caterpillar 924Gz
<b>GVW</b>	22,500 lb
<b>Serial #</b>	6YW00704
<b>Machine Dimensions</b>	7' 7" wide (bucket) 22' 11" long
<b>Operator Enclosure</b>	Closed ROPS
<b>Attachments</b>	None
<b>Other Information</b>	None
<b>Measurement Technique</b>	Physical



Şekil 4.3. Kepçenin kör nokta diyagramı- zemin tabaka [33]

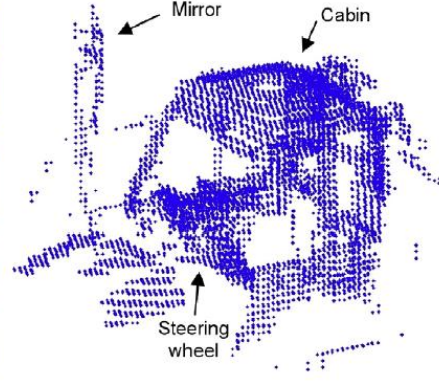
Son zamanlarda lazer tarayıcılar inşaat alanlarında kör nokta belirleme aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Teizer da yaptığı kör nokta çalışmasında bu yöntemi kullanmıştır [5]. Ekskavatörler, damperli kamyonlar, greyderler, silindirler, lastikli yükleyiciler ve küçük ağır ekipmanlar gibi araçların dışından ve kabinin içindeki sürücü koltuğuna lazer tarayıcı monte edilerek lazer taraması yapılmıştır (Şekil 4.4). Piyasada bulunan yüksek çözünürlüklü üç boyutlu (3D) lazer tarayıcı (Leica ScanStation 2) görüş alanında olan tüm nesnelere için otomatik mesafe

ölçümü yapmaktadır. Belirlenen tüm noktalar (tarama başına ortalama 1,5 milyon) kaydedilmekte ve nokta bulutu dosyasında saklanmaktadır. Elde edilen nokta bulutu dosyası virgülle ayrılmış değişken (CVS) bir dosya formatına çevrilmiştir. Bu dosya formatındaki her satır x,y ve z koordinatına içermektedir. Bu CVS dosyası kör noktaların analizi için hazırlanan araç için bir aktarım formatı olarak kullanılmıştır [5].

Teizer 3D lazer tarayıcı tarafından toplanan verilerin analiz edilmesi için ışın izleme algoritması kullanılmıştır. Işın izleme, sürücünün durduğu yerden mükemmel bir ışık kaynağı kullanma fikrine benzemektedir. Teizer'in araştırmasından bir damper kamyon modeli Şekil 10'de gösterilmiştir ( $O = (0, 0, 0)$ , ve  $R = 2,5$ , tüm sayılar metre cinsinden). Yarıçapı 'R' olan bir alanda ışın izlemenin uygulanması için, lazeri sağlayan kaynak  $(0, 0, 0)$  konumuna konmakta ve  $(r, \theta, \varphi)$  küresel koordinatları kullanılmaktadır. Kör noktaları belirlemek için kullanılan yöntem şöyledir; lazer herhangi bir kübik yüzeye (kabin, aynalar ya da kabinin içi ya da dışındaki objeler) çarparsa bu alan kör nokta olarak belirlemekte, eğer hat üzerinde herhangi bir cisim yoksa bu çizgi üzerindeki bütün noktalara görüşün açık olduğu kabul edilmektedir [5].



Şekil 4.4. Lazer tarama cihazının şoför koltuğuna monte edilme şekli



Şekil 4.5. Damperli kamyonun lazer tarama cihazı ile taranıp ızgara modele aktarılmış sunumu [5].

Hesaplama aşamasında Teizer aşağıdaki formülü önermiştir;

$$\text{Mekansal Kör Nokta Oranı} = \frac{\text{Kör hacimlerin toplamı} \times 100}{\text{toplam hacimler}} \quad (4.1)$$

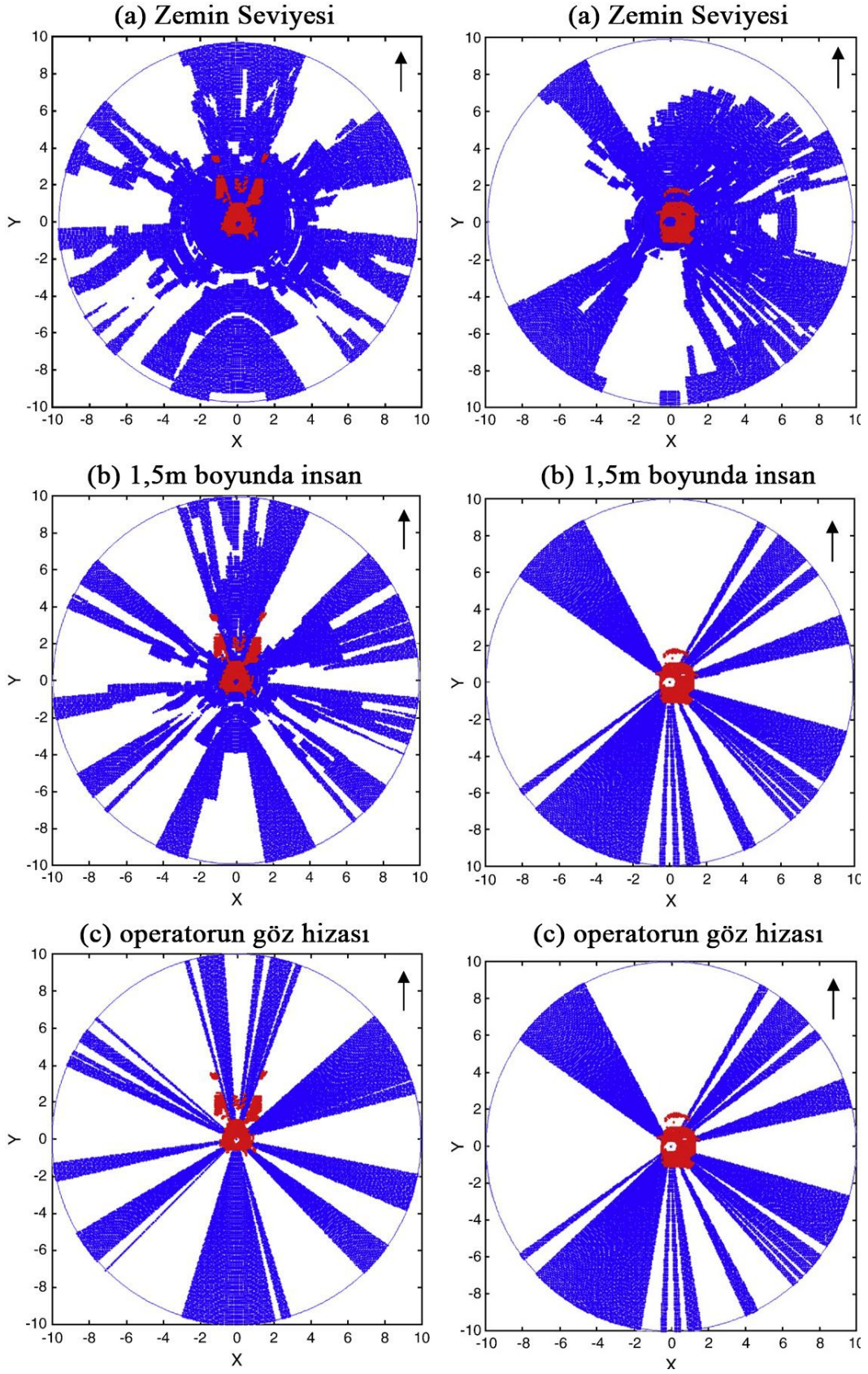
Teizer ayrıca formülün yöntemini şu şekilde açıklamıştır; "geliştirilen araştırmanın bir yararı, izleme ışını algoritmasının geliştirilmesidir, yoğun nokta bulutu elde edilince, istenen herhangi bir yerden tekrar başlatılabilir." Ayrıca bu ölçüm aletinin kontrol ofislerine yerleştirilebileceğini ve böylece asıl aracın zamanlamasının azaltılabileceğini belirtmiştir.

Teizer tarafından sağlanan Şekil 4.6, iki farklı makinenin (dozer ve kamyonet) 10 metrelik bir yarıçap içindeki kör noktalarını göstermektedir. Mavi alanlar 3D lazer tarayıcı ile ölçülen kör noktalar göstermektedir.

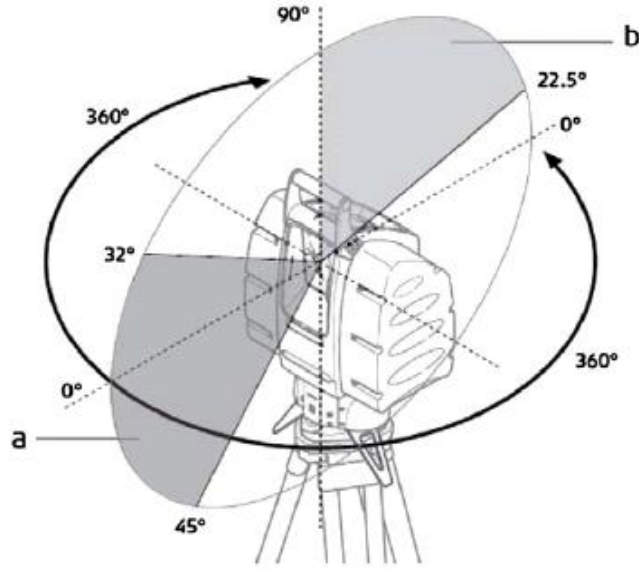
3D tarama yöntemi farklı araçlar arasındaki görünürlük farklarını hesaplamak için de yararlıdır. Teizer bu deneyi farklı aralıklara silindirik objeler koyup, bunların görünürlüğünü değerlendirmek için de 4.1 denklemini kullanmıştır. Bu uygulama, işçi ve ekipman operatörü eğitim ve öğretiminde güçlü bir görsel araç olarak kullanılabilir.

Teizer yönteminin de bazı kısıtlılıkları vardır. Önemli bir problem kör noktaları tespit eden lazerin uzaklık ve açısal kısıtlamalarıdır. Örneğin:

(1) Çok yakındaki noktalar (Lazeri küçük kabinlerin içine yerleştirmekten kaynaklanır), (2) Lazer tarayıcı alanının dışı. Çoğu ticari lazer tarayıcılar, 0,6 m'den daha yakın ve  $3\pi/4 \leq \theta \leq \pi$  aralığında olan noktaları okuyamaz, bu bölge Şekil 4.6'de "a" ve "b" olarak görülebilir.



Şekil 4.6. 10m Çapında, Kör noktaların plan görünüşü (mavi bölgeler) – dozer (sol) pikap (sağ)  
[5]



Şekil 4.7. Lazer tarayıcılar sınırlı alan görünümü (FOV)

#### 4.2 Kör Noktalardan Kaçınma Yöntemleri

İkinci grup ise kör noktaları oluşmasını önleyebilecek yöntemler üzerinde durmaktadır. Bu yöntemler genellikle ilk grup tarafından sağlanan verilere dayanmaktadır. Çalışma alanları işçilerden ekipmanlara, kompleks elektronik aletlerden basit ve pratikçe giyilebilen çözümlere birçok şeyi kapsamaktadır.

OSHA'nin geri geri makine kullanımı ile ilgili özel düzenlemeleri vardır. OSHA yönetmelikleri, özellikle Başlık 29 CFR 1.926,601 (b) (4) altında incelenmektedir:

Hiçbir işveren aşağıdaki koşullar sağlanmadan araçların geri geri kullanımına izin vermemelidir:

- Araç geri geri giderken çevredeki ses seviyesinden üstünde bir alarm seviyesine sahip olmalıdır
- Araç ancak güvenliği denetleyen biri olduğunda geri manevra yapabilir

Reflektörlü yelekler görünürlükle ilgili tehlikeleri gidermek için kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yelekler floresan ve parlak renklerdedir. Güvenlik yelekleri aydınlatmanın az olduğu alanlarda ışığı yansıtır ve aynı zamanda gün ışığında da çalışanların daha görünür olmasını sağlar. Görüş düşüklüğünden kaynaklandığı belirtilen kazaların bazılarında çalışanların yansıtıcı yelek giymiş oldukları

kaydedilmiştir. Buna rağmen önceki araştırmalardan toplanan bazı veriler, kaza anında önemli sayıda işçinin, inşaat yeleşini giymediğini göstermektedir.

Şantiyelerde işçi sağlığı konusunda çalışmalar yapan Mcpherson [34], bu konuda bazı önerilerde bulunmaktadır. Mcpherson'a göre, koruyucu kıyafet giymenin asıl amacı işçileri tehlikelerden korumak olmalıdır. Genellikle işçilerin bu kıyafetleri giymemesinin sebebi, bunların rahat, üste uyan ve de estetik kıyafetler olmamalarıdır. Bu faktörler, işçilerin güvenlik düzenlemelerine uymamaları ve güvenliğin olmadığı çalışmalar yapmalarıyla sonuçlanmaktadır [34]. Bu bağlamda, Teizer "güvenilir ve de tam otomatikleşmiş bir alarm sistemi kullanılmaya başlandığında, işçi ve operatör eğitimi şantiyelerde güvenliğin sağlanmasının ilk adımı olacak" demiştir [5].

OSHA'nin şantiyelerde yansıtıcı yelek kullanımı konusunda da bazı yönetmelikleri vardır. OSHA'ya göre kör nokta oluşması ihtimali olan bölgelerde yansıtıcı yelek giymek, operatörün aşağıdaki işçileri fark etme oranını arttıracak ve yaşanabilecek kazaların olasılığını düşürecektir. Bölgesel aydınlatma veya uyarı sinyallerinin (otoyol inşaatları) kullanımı, potansiyel kurbanların operatörler ve sürücüler tarafından görülme olacağını artırmaktadır [34].

Araç kabinlerinin tasarımlarında değişiklik yaparak operatörün görüş alanını genişletmek ise bir başka yaklaşımdır [4] bu yaklaşım kör noktalardan kaynaklanan kazaların sayısını oldukça düşürebilir. Bu yüzden de inşaat makineleri üreten firmalar aracın yapısından kaynaklanan kör nokta oluşumlarını azaltmak için sürekli bir araştırma halindedirler. Aynı zamanda araca giriş çıkışı da güvenli hale getirmek için de çalışmalar yapmaktadırlar.

Araç geri hareket ederken operatörleri kör noktalar konusunda uyarmak için geliştirilmiş uyarı sistemleri mevcuttur [4]. Görsel ya da radar tabanlı algılama ve uyarı sistemleri inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akademik araştırmaların yanı sıra otomobil üreticileri, kör noktalara çözüm üretmek için en az üç farklı çözüm geliştirmiştir. İlk çözüm, standart aynaların içine eklenmiş, görüş alanını genişleten dışbükey şeklindeki küçük kör nokta aynalarının kullanımınıdır [35].

Daha kullanışlı ve düşük maliyetli olan ikinci yöntem ise kapalı devre televizyon sistemiyle operatöre yardım etmektedir. Bu çözüm araç kabini içindeki

ekrana dikkat etmeyi gerektirdiğinden operatör için dikkat dağıtıcı olabilmektedir [36].

Daha kullanışlı ve düşük maliyetli olan ikinci çözüm ise kapalı devre televizyon sistemidir. Bu çözüm, araç kabini içindeki ekrana dikkat etmeyi gerektirdiğinden operatör için dikkat dağıtıcı olabilmektedir [37].

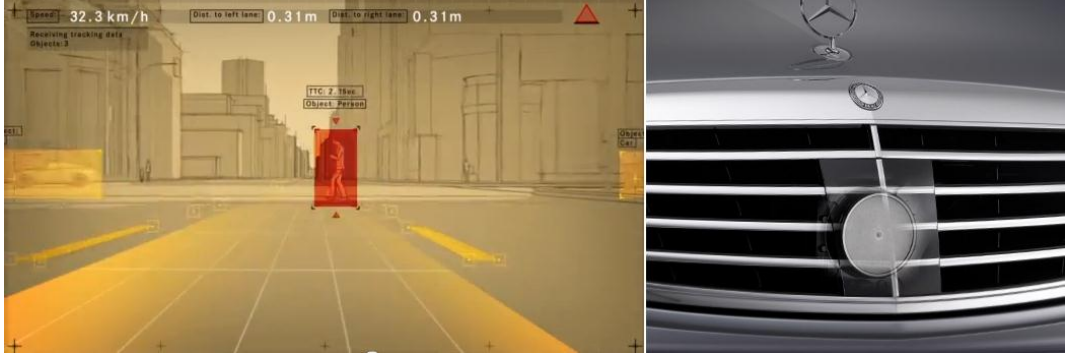
Teizer, alarm sistemlerinin tüm inşaat makineleri ve ekipmanlarında kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Kör noktalar, görüşün düşük olmasından kaynaklanan kazaların en yaygın sebepleri arasındadır [4]. Aracın arkasına kurulan kapalı devre televizyon sistemleri, operatörün arkasında olanlara dair eş zamanlı bir görüntüye sahip olmasını sağlamaktadır. Buna göre, kör nokta tespit yöntemleri, objelerin yakınlığını tespit eden sistemlerin iş makineleri ve operatör arasındaki ilişkiyi nasıl etkilediğini de test etmiştir [5].

Kör noktalardan kaynaklanan kazaların doğruluğunu tespit etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ultrason, RF ultra yüksek frekans (UHF), kızılötesi, optik göz lazeri ve benzeri, bu tarz mesafe ikazı ve uyarı teknolojilerine örnektir. Teizer tarafından sağlanan Çizelge 4.2, mevcut uyarı teknolojilerinin özelliklerine dair bir karşılaştırma sunmaktadır. Bu tablo bir model oluşturmak için gerekli bilgiyi vermektedir.

**Çizelge 4.2.** Alarm sistemi için farklı teknolojilerin örnek kriterleri [4]

<i>Teknoloji Kriterleri</i>	<b>Ultrason</b>	<b>RF ultra yüksek frekans (UHF)</b>	<b>Çok yüksek frekans (VHF)</b>	<b>(Stereo)/video</b>	<b>Optik göz koruyucu lazer (1D/2D/3D)</b>	<b>Kızılötesi</b>
<i>Objektif</i>	Mesafe	Yakınlık	Yakınlık	Yakınlık /mesafe	Konum	Yakınlık
<i>Aralık [m]</i>	0-10	0-40	0-500	0-500	0-50	0-30
<i>Veri doğruluğu</i>	Düşük	Orta	Düşük / Orta	Orta	Orta /Yüksek	Düşük
<i>Sinyalin sıçraması</i>	Yüksek	Small	Orta / Yüksek	Düşük	Düşük	Orta
<i>Veri işleme durumu</i>	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük /Yüksek	Düşük / Yüksek	Düşük
<i>Güvenli sinyal</i>	Gürültü	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
<i>Gündüz vs. Gece</i>	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Zayıf	Çok iyi	Makul/iyi
<i>Sinyal güncelleme oranı</i>	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
<i>Boyut ve Ağırlık</i>	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük	Orta	Küçük
<i>Kurulum / Bakım</i>	Küçük/orta	Küçük/orta	Küçük/orta	Küçük/orta	Küçük/orta	Küçük/orta
<i>Alım Fiyatı</i>	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
<i>Ana engeller</i>	Kısa Mesafe Engeller, Gürültü	Yakınlık	Çok yönlü sinyal, Yakınlık	Görüş mesafesi, Bölümleme	Görüş mesafesi, Bölümleme	Görüş mesafesi, Gürültü
<i>Temel faydaları</i>	Ucuz	Yüksek metal Alanlarda çalışması	Uzak mesafe	Konum, Mesafe	Konum	Ucuz

Sektörünün liderlerinden Mercedes Benz, Aktif Kör Nokta Tespit sistemini 2007'den beri ürettiği otomobillerde kullanmaktadır. Bir kamera ve orta-kısa aralığa sahip bir radar sistemi aracın ön kısmını görüntülemektedir. Bilgiler bir araya getirilmekte ve kontrol ünitesinde analiz edilip olabildiğince hızlı sürücüyü sunulmaktadır. Aynı zamanda bu veriler herhangi bir riskin mevcut olup olmadığı ve bu riski tanımlamak için de kullanılmaktadır. İşitsel ve görsel bir alarm, olası riski haber vermektedir. Sürücü fren yaparak tepki verirse, BAS PLUS duruma göre fren basıncını artırmakta, hatta gerektiğinde fren basıncını maksimuma çıkarmaktadır. Sürücü frene basmazsa, PRE-SAFE ® fren otomatik olarak devreye girmektedir [38].



Şekil 4.8. Mercedes Benzin Pre-Safe fren sistemi

Kör noktaların diğer tipi, hareket halinde olan kör noktalardır. Hareketli kör noktalar operatörün çok daha dikkatli bir şekilde çalışmasını, tekrar tekrar etrafını kontrol etmesini ve sahadaki işçilere ve engellere karşı dikkatli olmasını gerektirmektedir [1]. Hinze ve Teizer operatörün alışmamış olduğu ortamlar için denetim yapılması gerektiğini önermektedir. Hinze ve Teizer tarafından incelenmiş birçok olayda sorun bir işçinin ekipmanın altında veya kazı alanında bulunmasından kaynaklanmıştır. Operatörler genel olarak işçilerin belirli konumlarda bulunmasına alışkın değildir. Güvenlik eğitimleri, operatörleri sahada işçi bulunma durumuna alıştırmalıdır. Ekipmanın altı, görev alanının etrafındaki bütün yerler dahil olmak üzere bütün operasyon alanlarında potansiyel sorunlara karşı hazırlıklı olunmalıdır. Bu önlem daha önce personelin bulunmadığı bölümlerin kontrol edilmesini de içermektedir.

## 5. SANAL GERÇEKLİK YÖNTEMİNİ KULLANARAK KÖR NOKTALARIN TESPİTİ: VIBSIM MODELİ

Bir önceki bölümde, şantiyelerdeki kör noktaların tespiti için farklı yöntemlerin bulunduğu bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin hepsinin, kör noktaların tespitinde önemli rol oynadıklarını belirtmek gerekir. Bölüm 3’de bahsedildiği gibi şantiyedeki kazalara sebep olan kör noktalar arasında yüksekten düşmek, sıkışıp ezilmek inşaat boşluklara düşmek gibi nedenler yer almaktadır.

Bunlardan bir kısmı ekipmandan ve bir kısmı da inşaatın genel ortamından kaynaklanan kaza nedenleridir. Ekipmandan kaynaklanan kör noktaların tespitine yönelik farklı manuel ve otomatik yöntemlerden Bölüm 4’de bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri incelenmiş, bazılarının duyarlılığının yanı sıra maliyetinin de yüksek olduğu belirtilmiştir. Manuel yöntemlerin maliyeti ve duyarlılığı düşüktür. Maliyet ve duyarlılıktan öte, yapılan araştırmalarda inşaatın fiziki ortamından kaynaklanan kör noktaları tespit ve analiz eden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bahsedilen dinamik kör noktalar ya da alanın analiz için fazla büyük olmasından kaynaklanan nedenler, daha önce bu yönde bir çalışma yapılmamış olmasının nedenleri olabilir.

Bahsedilen alanda az sayıda araştırmanın olması, bu tez çalışmasının bu alanda yapılmasında ana etkenlerin başında gelmektedir. Ancak bu alanda bir çalışma yapılmasının mümkün olabilmesi için farklı bir yaklaşımda bulunulması gerekmektedir.

Maliyet, zaman ve kapsama alanı gibi ön etkenler, üretilmesi gereken modelin esas faktörleridir. Maliyet ve zaman faktörünü en aza indirmek ve kapsam alanını en yüksek seviyeye ulaştırmak bu tez çalışmasının hedefleri arasında yer almaktadır.

Hefner ’in [33] iş makinelerinin kör noktaları analiz raporunu incelendiğinde, bazı şartlardan dolayı iş makinelerinin gerçek yerine o makinelerin 3 boyutlu (3D) modellerini tedarikçi fabrikadan temin edip bilgisayar ortamında analiz edenlerle ilgili anlatımlar bulunmaktadır. Hefner’in makine modellerinin analizi için kullandığı yöntem, yapılan el hesaplamalarından farklı değildir ve aynı anda yöntemin otomatik olmamasından dolayı zaman alıcıdır.

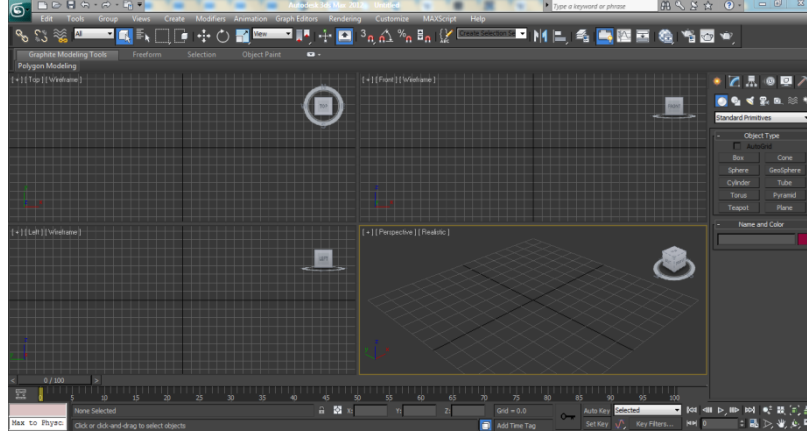
## 5.1 Sanal Gerçekçilik Yöntemi ile Şantiyelerdeki Kör Noktaların Tespit Modeli (VIBSIM)

Bu çalışmada şantiyelerde kör noktaları tespit etmek amacıyla VIBSIM (Sanal Gerçekçilik Yöntemi ile Kör Noktaların Tespit Modeli) geliştirilmiştir. Modelin ana faktörlerinin gerçekleştirilmesi için model, bilgisayar tabanlı olarak tasarlanmıştır. Bu modelde, ilk olarak şantiye ve o şantiyede kullanılan ekipmanlar 3 boyutlu (3B) olarak tasarlanmıştır. 3Ds Max program yardımı ile inşaat aşamasında yaşanabilir senaryolar canlandırılarak onlara ait tehlike oranları ve noktaları tespit edildi. Sonuçlar bir sonraki aşamalardaki önleme sistemine uygun ve kullanılabilir bir şekilde tasarlanıp hazırlanmıştır. İleriki bölümlerde bu tezin sonucu olarak tasarlanan VIBSIM'in nasıl çalıştığı ile ilgili bilgiler verilecektir.

VIBSIM'in nasıl çalıştığının anlaşılması için bazı temel hesaplama yöntemleri ile ilgili bilgiler sunmak gerekmektedir. Bunun için ilk başta 3Ds Max programından bahsetmek yerinde olacaktır.

Bu çalışmada, Autodesk'in en güçlü programlarından biri olan 3Ds Max 2012 kullanılmıştır (Şekil 5.1). 3Ds Max, üç boyutlu tasarım ve görselleştirme sektöründe önde gelen programlardan biridir. 3Ds Max güçlü motoru sayesinde, tüm mühendislik programlarından veri alma ve değiştirme gücüne sahip olan bir programdır. Bu çalışmada 3Ds Max'in kullanım alanlarını bunlardan ibarettir;

- İnşaat sahasını 3B modellemek
- İnşaat ekipmanlarını 3B modellemek
- Hazır inşaat modelini 3B ortamına aktarmak
- Hazır ekipmanların 3B modellerini bir sonraki aşamalar için bir ana temele aktarmak.
- İnşaatteki hareketliliğinin simülasyonunu gerçekleştirmek
- Çalışma kapsamında kullanacak diğer programlara bir altyapı hazırlamak.
- Kör noktaların hesaplaması için bir temel oluşturmak.



Şekil 5.1. 3Ds Max programının görünüşü

Bu modelle kullanacak olan tüm ortam üç boyutludur. Kör noktaların tespiti için inşaat sahasının çoğu yeniden 3Ds Max ortamında modellenmiş ve hazır farklı formatlar altında olan 3B modeller 3Ds Max'e aktarılmıştır. 3Ds Max'in kullanabileceği formatlardan en yaygınları aşağıda listelenmiştir;

- DWG
- DXF
- FBX
- 3DS
- XML
- OBJ
- SAT
- SKP

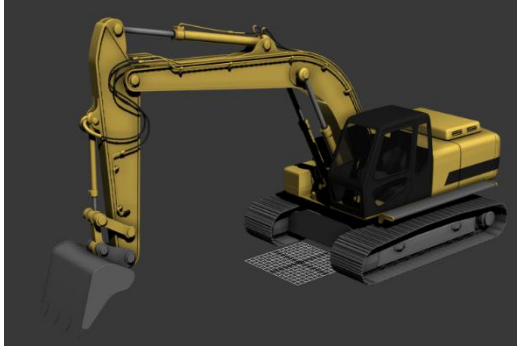
Son yıllarda inşaat projelerinin tasarımında 3B ortamı yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. 3Ds Max programının dışında başka programlarda çizilen projelerin aktarımı için en yaygın format DWG'dir. DWG formatı 3Ds Max tarafından desteklendiğinden inşaat sahasının 3B modeli, 3Ds Max ortamına rahatlıkla aktarılabilir. 3B model 3Ds Max ortamına aktarılıp üzerinde gereken düzenlemeler yapılarak bir sonraki aşamalar için hazırlanmıştır.

VIBSIM'de kullanılan analiz yöntemi, tamamen gerçek hayattaki kurallar ve etkenler üzerine kurulmuştur. O yüzden projenin temelini oluşturan 3B modellerin mümkün olduğunca gerçeğe yakın olması gerekmektedir. Dolayısıyla projenin 3Ds Max programına aktarım aşamasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar şunlardır;

- 1 Proje ve ekipmanlarının modelinin ölçülerinin gerçek ölçülerle aynı olması.
- 2 Projenin modelinin gerçek inşaat sahasının boyutları ile uyuşması.
- 3 Ekipmanların 3B modelindeki görünen parçaların gerçek model ile birebir aynı olması gerekmektedir.
- 4 Modelleme hatalarının kontrolü ve gereken düzeltmenin yapılması.
- 5 Aynalı ve cam yüzey dokularının sorunsuz olması gerekmektedir.
- 6 Gereksiz hatların ve yüzeylerin temizlenmesi.

Ekipmanların üç boyutlu modelleri, genellikle tedarikçi firmalar tarafından temin edilmektedir. Bu modellerin olmaması durumunda o makinenin, 2B proje çizimi üzerinden bire bir modellenmesi gerekmektedir. Bu tezde, sadece bir model sunmak üzere inşaat makineleri üreten firmalardan iki farklı 3B model tedarik edilip onlar üzerinde analizler yapılmıştır.

Şekil 5.2 ve 5.3 bu model ile ilgili örnek ekipmanlar sunmaktadır.



Şekil 5.2. Hidrolik ekskavatör, CAT325B



Şekil 5.3. Damperli kamyon, MAN TGS

Projenin analiz kısmında “Chaos” firmasının sık kullanılan ürünü Vray’den (3Ds Max’in en güçlü render motorlarından) faydalanılmıştır. Önceden belirtildiği gibi 3Ds Max bu modelin temeli ve ana yazılımı olarak kullanılmıştır. Vray gibi programların çalışması için 3Ds Max’in gerekli olduğunu belirtmek yerinde olacaktır.

V-Ray’in anlaşılabilmesi için ilk başta render motoru ve render kavramını açıklamak gerekmektedir. Render, bilgisayar programları aracılığıyla bir modelden (ya da toplu bir şekilde sahne haline gelecek modellerden) bir görüntü yaratma işlemidir. Bir olay yeri dosyası çok iyi tanımlanmış dil veya veri yapısıyla oluşturulmuş objeler içermektedir. Bunlara sahne geometrisi, bakış açısı, deseni, ışıklandırması ve gölge bilgileri ve detaylarıyla birlikte sanal olay yerinin tüm

tanımı dahildir. Sahne dosyasında bulunan veriler işlem görmek için render programına aktarılmakta ve dijital imaj veya taramalı grafik imaj dosyasına çıkartılmaktadır [39].

Sanal olarak bütün modern Global illumination (GI) tabanlı renderler James T. Kajiya tarafından 1986'daki "Render Denklemi" makalesinde ortaya konmuş render denklemini temel almaktadır. Bu denklem ışığın bir olay yerine nasıl yayıldığını tanımlamaktadır. Makalesinde, Kajiya iz takibi adı verilen bir Monte Carlo yöntemini kullanan bir render denklemini temel alan bir görüntü hesaplama metodu ortaya koymuştur [40].

Render denkleminin değişik formülasyonları da mümkün olmakla birlikte Kajiya tarafından ortaya koyulan denklem şu şekildedir:

Kajiya render denklemi

$$L(x, x_1) = g(x, x_1) \left[ e(x, x_1) + \int_S r(x, x_1, x_2) L(x_1, x_2) dx_2 \right] \quad (5.1)$$

ki:

$L(x, x_1)$ ,  $x$  noktasından  $x_1$  noktasına geçmekte olan ışığı ile ilgilidir;

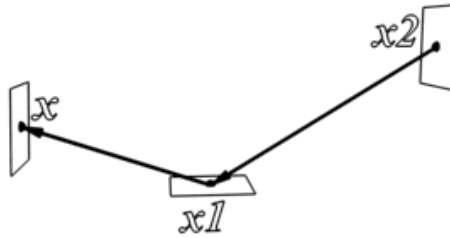
$g(x, x_1)$  bir geometridir (veya görünürlük terimidir);

$e(x, x_1)$   $x_1$  noktasından  $x$  noktasına yayılan ışığın yoğunluğudur;

$r(x, x_1, x_2)$   $x_2$  den  $x_1$  vasıtasıyla  $x$  saçılan ışık ile ilgilidir;

$S$  sahnedeki bütün yüzeylerin birliğidir.  $x$ ,  $x_1$  ve  $x_2$   $S$ 'nin üzerindeki noktalar.

Denklemin anlamı: olay yerindeki verili  $x$  noktasına  $x_1$  noktasından gelen ışık diğer tüm noktalardan yayılan  $x_2$  den  $x_1$  e gelen ve  $x$  e doğru yansıyan ışığın toplamıdır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Denklem 5.1'in görselleştirmesi

V-Ray, 3D sahnelerin fiziksel olarak doğru bir şekilde aydınlatılması için Işıklanım Haritalama (Irradiance Map) ve Işık Önbelleği (Light Cache) gibi Dolaylı Aydınlatma (Indirect Illumination) yöntemlerini kullanmaktadır. Bu iki tekniği birincil ve ikincil ışık sıçramalarının hesaplanmasında çeşitli kombinasyonlar ile kullanabilir [40].

V-Ray, resim örnekleme için Schlick örnekleme yönteminin değiştirilmiş bir hali olan DMC (Deterministic Monte Carlo) örnekleme yöntemini kullanmaktadır. Aydınlatma hesaplanması sırasında birincil ve ikincil ışık sıçramaları için Işık Önbelleği yöntemini kullanarak İlerlemeli Yol İzleme (Progressive Path Tracing) yapabilir.

Bu çalışmada V-Ray'in kullanılış amacı, bu render motorunun gerçekçi ve net hesaplama gücünü kullanıp gerçeğe en yakın kör noktaların simülasyonunu yapmaktır. Ancak istenen sonuca ulaşmak için Vray'in normal render yönteminde bazı değişiklik yapılması gerek. Normalde Vray'den elde edilen render 2 boyutludur. Yani bir sayfa düzleminde 3 boyutlu olarak algılanır. Buna, herhangi bir sahnenin (çevremizdeki ortam 3B'dir) fotoğraf makinesi ile çekilen bir karesi örnek olarak verilebilir. Ortam her ne kadar 3B olsa da çekilen fotoğraf 2 boyutludur.

Amaç, görülemeyen bölgeleri bilgisayar ortamında tespit etmektir. Ancak iki boyutlu bir kareden nasıl bu amaca ulaşılabilir? İki boyutlu kareler sadece gözükken bölgelerden ibarettir. Bununla ilgili Vray'in "parlaklık haritası (Irradiance map)" yöntemi kullanılmıştır. "Parlaklık Haritası" adlı ışık takip ve hesaplama metodu sanal fotonların ortamda dağıtım simülasyonudur.

"Parlaklık Haritası" hesaplama yönteminde istendiği zaman fotonların gözüktüğü koordinatlarda nokta bulutu olarak kaydedilmektedir. Bu nokta bulutu lazer taramalardan çıkan sonuç ile neredeyse aynıdır. Fakat bu noktalar tamamen bilgisayar ortamında ve her hangi bir fiziki modele ve ortama gerek kalmadan hazırlanmıştır.

VIBSIMi kör noktaların tespitine yönelik kullanmak için bu modeli makineler, inşaat sahası ve işçilerin üzerinde uygulanması gerekmektedir. İnşaatla farklı iş makineleri kullanılmaktadır ve her makine kendine özel fiziki ve görsel parametrelere sahiptir. İnşaat sahası da bu durumdan farklı değildir. Hatta

makinelerin aksine inşaat sahalarını bir birimsel modele çevirmek mümkün değildir. Bu yüzden her inşaat projesi için farklı modellerin taranması veya modellenmesi gerekmektedir. İşçiler de kısmen aynı durumda sayılmaktadır, inşaat işçilerinin nokta bulutları üretilirken boy ve görme mesafesi ön plandadır ki her işçinin farklı boy ve görme mesafesine sahip olduğu göz önünde bulundurulursa, tek tek farklı ölçümler yapılması gerektiği açıktır.

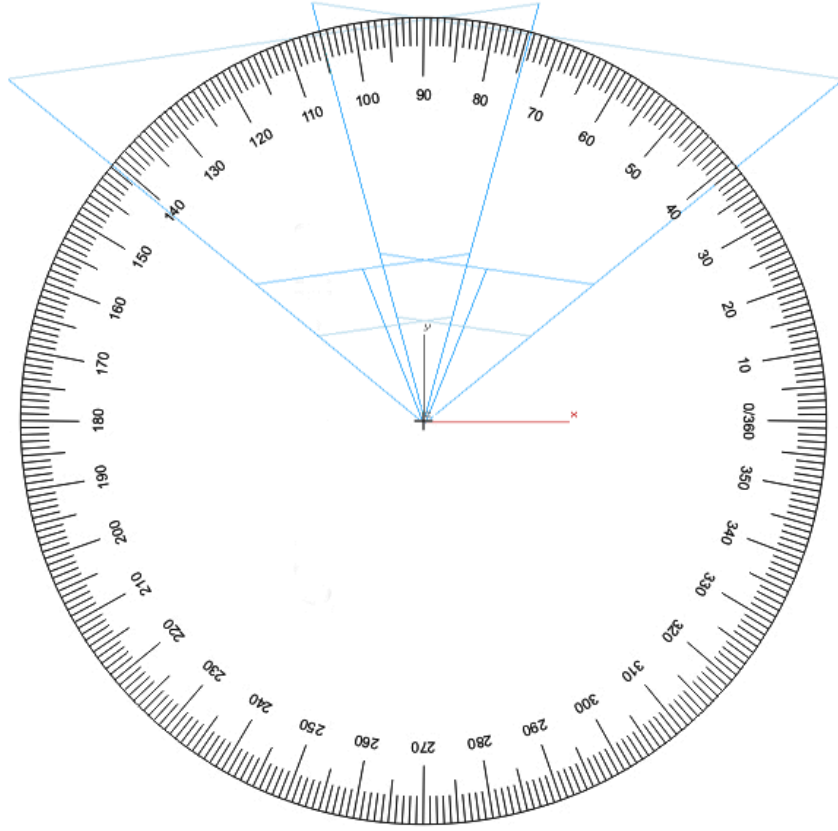
VIBSIM'in inşaat makinelerinin, inşaat şantiyesi ve elemanlarının kör nokta analizinde nasıl uygulandığı şöyle açıklanabilir;

## 5.2 VIBSIM Modelinin Uygulanması

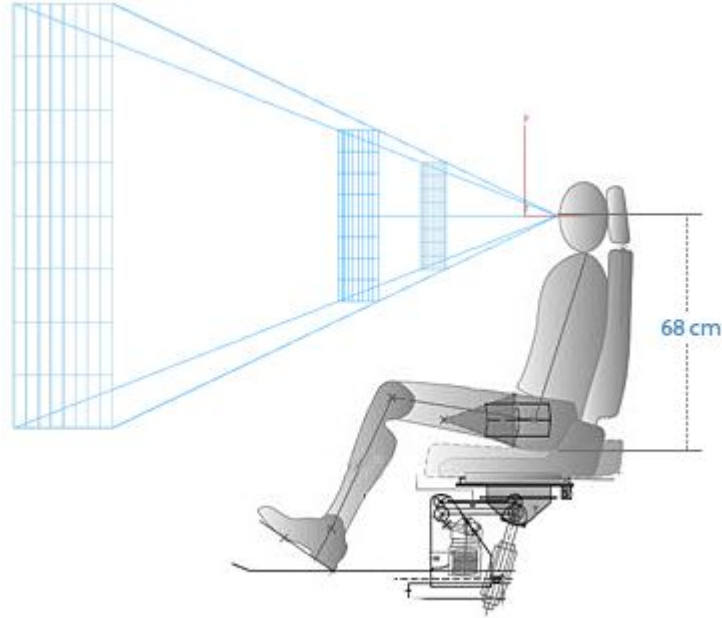
### 5.2.1. VIBSIM'in yapı makinelerinde uygulanması

Şantiyelerde kullanılan makinelerin kör nokta analizinde ilk başta model tedarik edilmektedir. Önceden bahsedildiği gibi bu modellerin hazırlanması tedarikçi fabrikalar tarafından veya hazır olan 2B proje çizimleri ile baştan 3B olarak modellenmektedir. Model hazır olduktan sonra sıra analiz aşamasına gelmektedir. ISO 5006 ayarlarında deney çemberi 12 metre olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada bu standartlara uyum sağlamak açısından modeldeki analiz çemberi 12 metre olarak ayarlanmıştır.

Bir insanın görüşünün merkez açısı, gözlerini hareket ettirmeden nesnelere algıladığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı genelde 40-60 derece olarak kabullenmektedir. Tesadüfen, insanın gördüğü görüntü bir 50mm'lik (Kesin konuşmak gerekirse 43mm) normal odaklama uzunluğu sahip olan bir kameraya yakın bir görüntüye sahiptir [41]. Operatörün gördüğü alanın simülasyonu için 65mm aralıkta iki kamera kullanılmıştır. Bu modelde kameraların odak uzaklığı (focal length) 43mm, film gate 45,429 ve görüntü oranını (aspect ratio) 3:2 olarak ayarlanmıştır. Kameranın yükseklik açısından ISO 5006 standartlarına dayanarak operatör koltuğundan 68cm yüksekte ayarlanmıştır. Böylece yaklaşık olarak bir insanın bakış modeli elde edilmiştir (Şekil 5.5 ve 5.6).

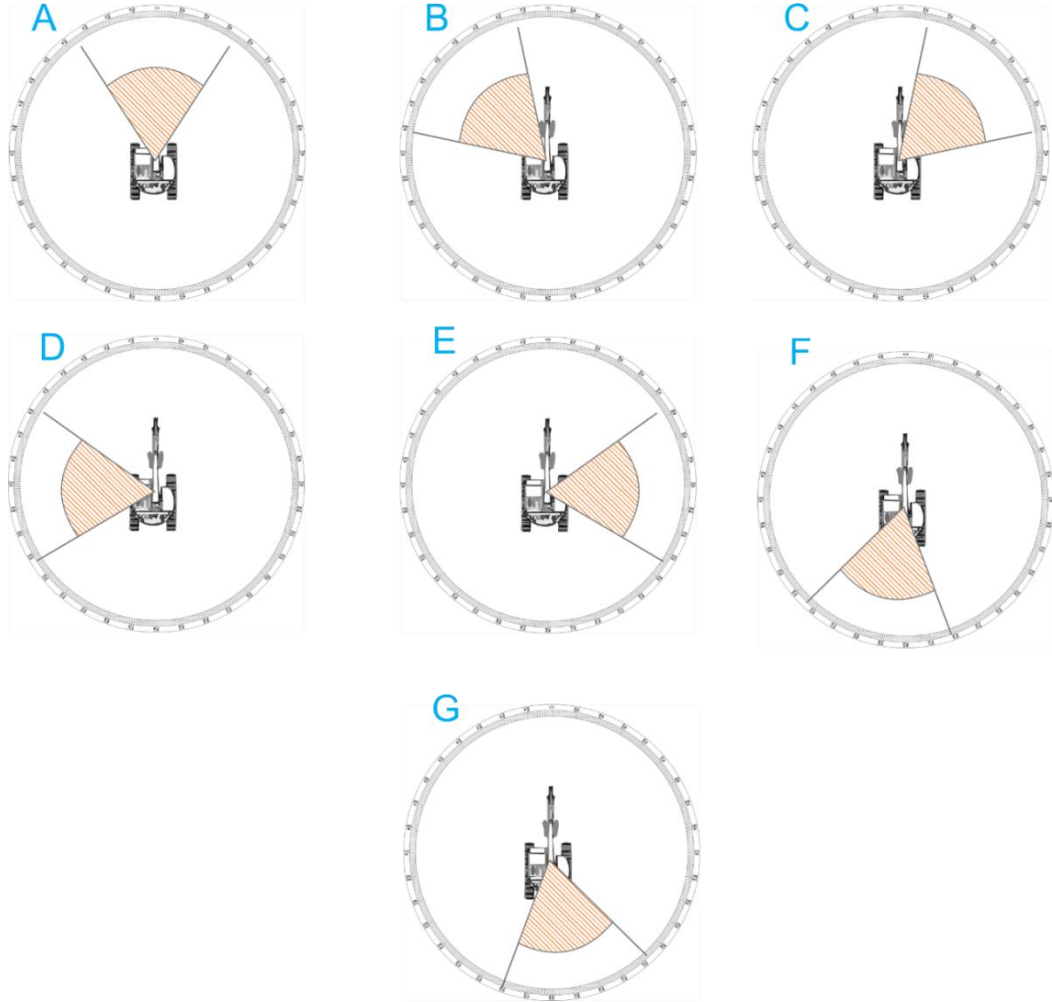


Şekil 5.5. Modelde kullanılan insan gözünün simülasyon görünüşü.



Şekil 5.6. Kullanılan kameranın koltuktan yüksekliği

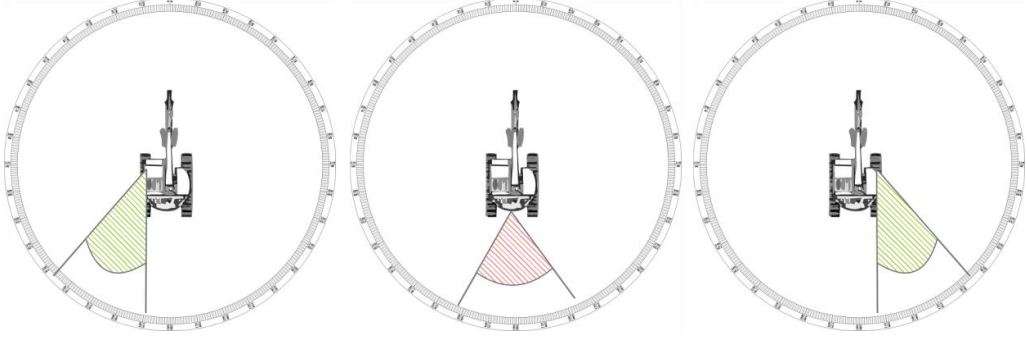
Kamerayı yerine yerleştirdikten sonra analiz açısı ayarlanmıştır. Bir insanın, kafasını vücudunu döndürmeden en fazla 80-95 derece çevirebildiği açığa çıkmıştır. Vücut çevrildiği zaman bu açı 160-175 dereceye kadar artabilir [42]. Bu rakamlara dayanarak Şekil 5.7’de modelde kullanılan yön ve açılar görülmektedir:



Şekil 5.7. Modelde kullanılan açı ve yönler

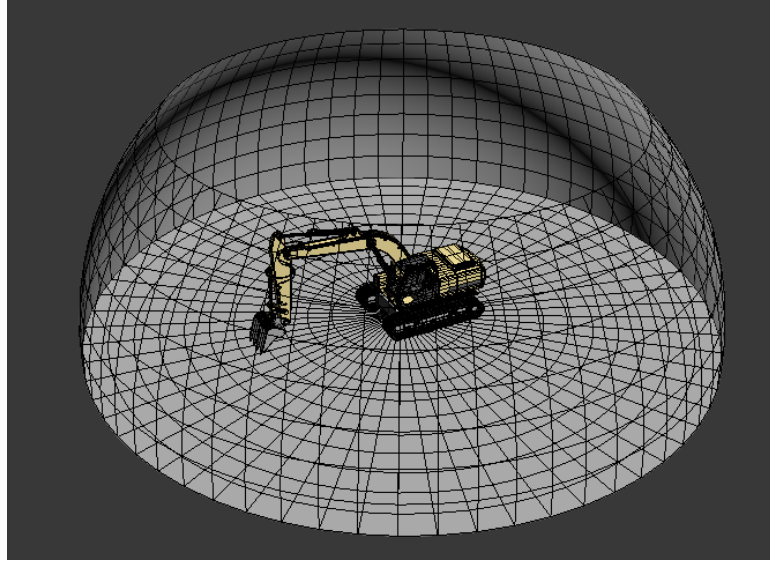
- 1 Kuzey bakışı - açı 0
- 2 Kuzey batı bakışı - açı 45
- 3 Kuzey doğu bakışı - açı -45
- 4 Batı bakışı - açı 87,5
- 5 Doğu bakışı - açı -87,5
- 6 Saat yönü güney bakışı - açı -167,5
- 7 Saat tersi yönü güney bakışı - açı 167,5

Bu açılara ek olarak aynalardan veya kapalı devre televizyon (CCTV) den kaynaklanan görünüş açılarda ilave edilmelidir (Şekil 5.8).

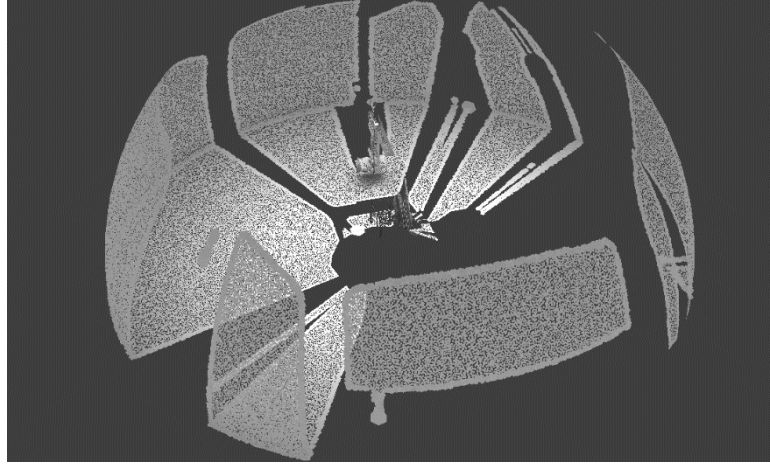


**Şekil 5.8.** Sağ ve sol aynadan ve CCTV den görünen açılar.

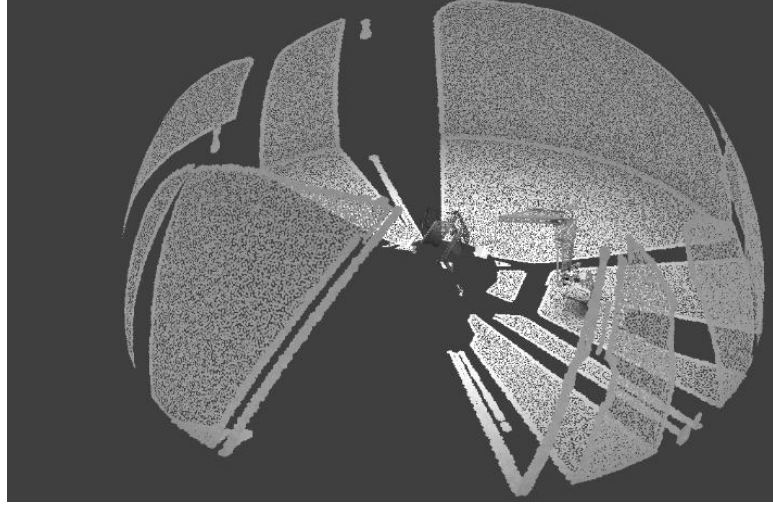
Belirtilen açılara kamerayı yerleştirdikten sonra sıradaki işlem, her kameraya ait analiz yapılmasıdır. Nokta bulutları oluşturma aşamasında Vray'in "indirect illumination" hesaplama metodlarından biri olarak, parlaklık haritası kullanılmıştır. "parlaklık haritası" 3 boyutlu uzayda herhangi bir nokta için tanımlanmış ve bu noktaya muhtemelen bütün yönlerden gelen ışığı temsil eden bir fonksiyondur. V-Ray'de, parlaklık haritası terimi olay yerindeki objelerin ışığı dağıtıcı yüzeylerinin parlaklığını etkili bir biçimde hesaplama yöntemi için kullanılmaktadır. Dolaylı aydınlanma durumunda olay yerinin her kısmı aynı detaya sahip olmadığından, önemli kısımlar (örneğin, objelerin birbirine yakın olduğu veya keskin GI gölgelerinin olduğu yerler) için GI'yı daha tutarlı hesaplama yapıp önemsiz kısımlar (örneğin büyük ve düzgün aydınlatılmış alanlar) için daha az tutarlı bir hesaplama yapmak mantıklı olacaktır. Parlaklık haritası 3 boyutlu uzayda (nokta bulutu) noktaların birleşimi ve bu noktalar için yapılmış hesaplanmış detaylı aydınlatma verileridir. Daha iyi bir sonuç elde etmek için tüm açılardan hazırlanan parlaklık haritaları birleşmesi öngörülmüştür. Her bir makineye ait tek bir sonuca varmak için "haritaları birleştir" seçeneği ile tek parça halinde bir 3B nokta bulutu üretilmiştir. Şekil 5.9-5.15'de, şantiyede kullanılan ekskavatör ve kamyon için hazırlanan 3B nokta bulutlarının ekran görüntüleri verilmiştir.



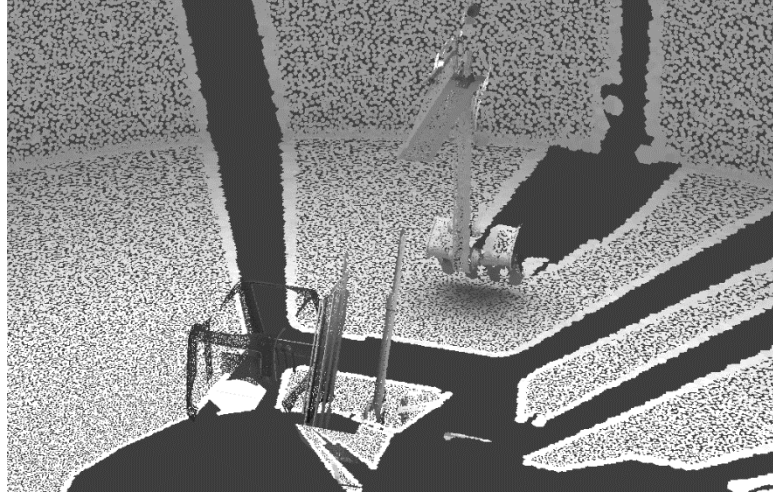
Şekil 5.9. Ekskavatör kör noktalarını hesaplamak için hazırlanan model ve ortam



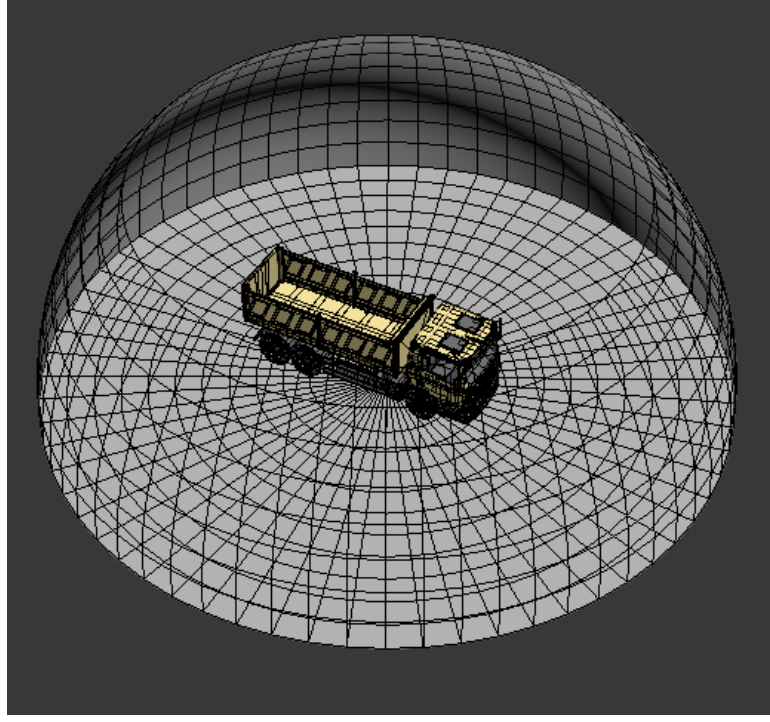
Şekil 5.10. Ekskavatör kör nokta bulutu



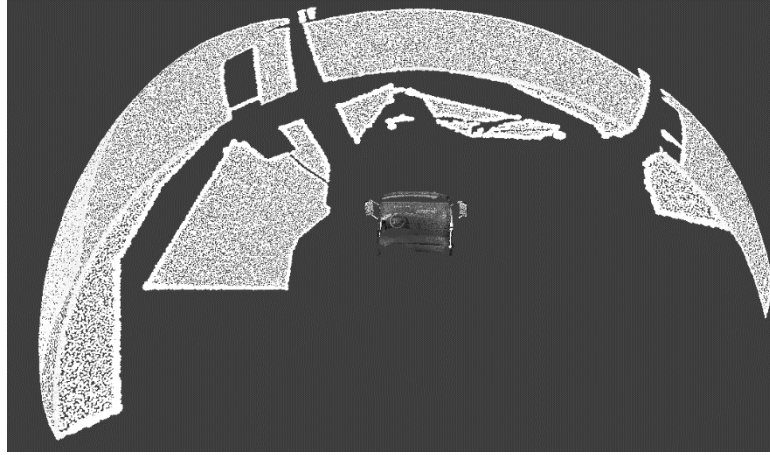
Şekil 5.11. Ekskavatörün kör nokta bulutu



Şekil 5.12. Ekskavatörün kör nokta bulutu



Şekil 5.13. Kamyonun kör noktalarını hesaplamak için hazırlanan model ve ortam



Şekil 5.14. Kamyonun kör nokta bulutu



Şekil 5.15. Kamyonun kör nokta bulutu

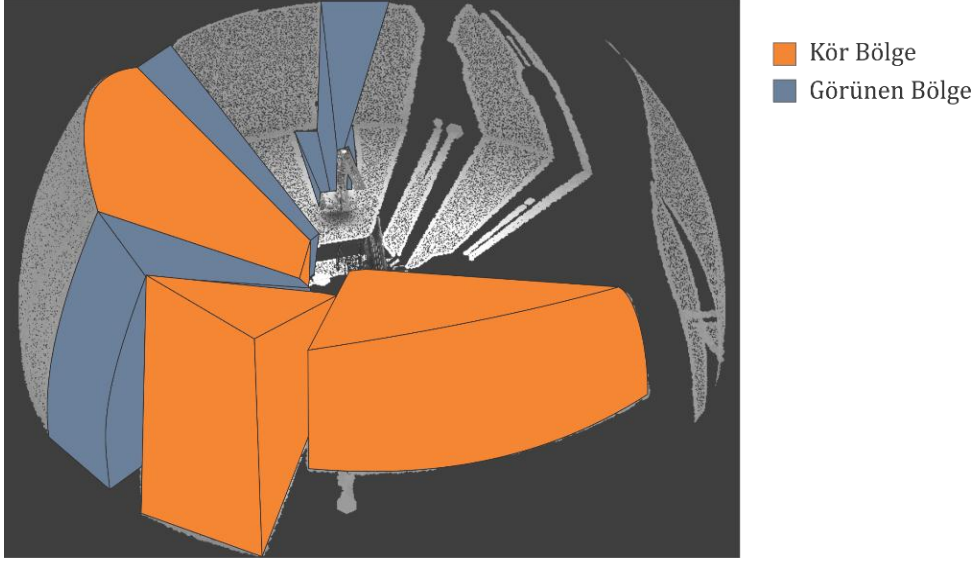
Hazırlanan kör nokta atlası 3B olduğundan farklı noktalardan kör nokta durumu analiz yapabilmeye imkanı sağlamaktadır. Elde edilen bu 3B harita ile elemanların ve hatta farklı makinelerin hangi mesafede risk alanına girdikleri tespit edilebilmektedir.

3Ds Max'ten faydalanarak kör noktaların görünen noktalara oranını hesaplamak mümkündür. Şekil 31'de görüldüğü üzere her alanın hacmi şu formül kullanılarak hesaplanabilmektedir:

kör noktaların yüzdesi

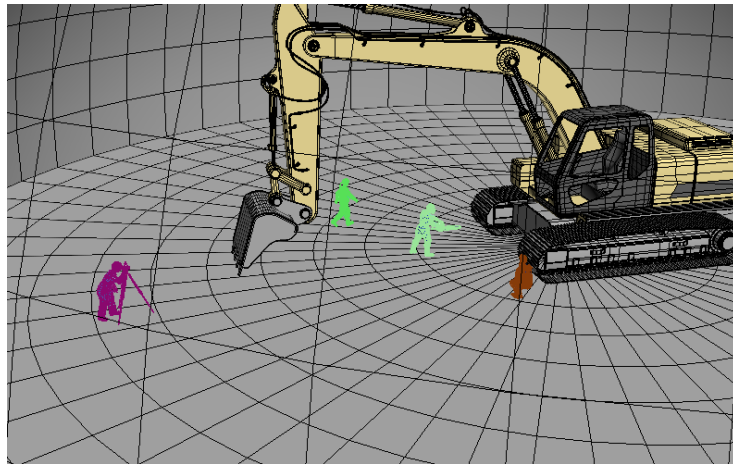
*kör noktaların yüzdesi*

$$= \frac{\text{Kör Bölgenin hacmi} \times 100}{\text{toplam hacim (Kör Bölge + Görünen Bölge)}} \quad (5.2)$$

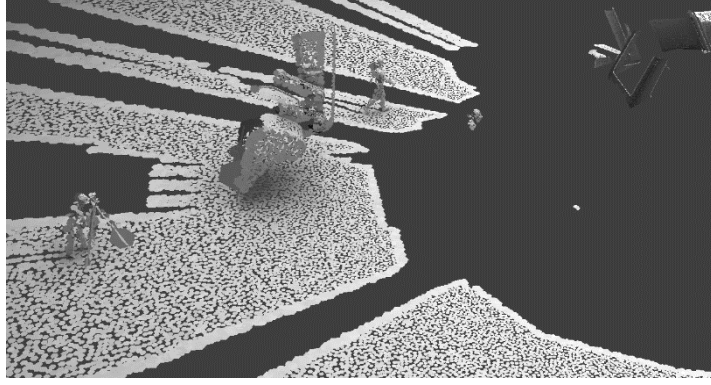


Şekil 5.16. Ekskavatordaki kör ve görünen hacimlerin örneği

Bu 3B analizleri elde edildikten sonra, her makine için tehlikeli bölgeler kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Buna dayanarak bir işçinin ne zaman tehlike alanına girdiği tespit edilip bu veri, bir sonraki aşamalarda kullanılabilir. 3B analizlerin bir başka avantajı, bu analizlerin tekrarlanmasına gerek kalmadan farklı deneylerin yürütülebilmesidir. Örneğin; boyu 175 cm olan bir işçinin hangi bölgelerde tehlikede olduğu tespit edilebilmektedir. Bu bağlamda, önceden tek seferde elde edilmiş olan 3B nokta haritasını kullanarak istenen boyda insan modelinin farklı noktalarda ne kadar görünmez olduğu tespit edilebilmektedir.



Şekil 5.17. Şantiyedeki insanların ekskavatör etrafındaki örnek yerleşiminin 3B modeli



**Şekil 5.18.** Ekskavatörün kör noktasında yer alan insanların nokta bulutu analizi

Şekil 5.17 ve 5.18 şantiyedeki işçilerin iş makinesine karşı farklı noktalarda yerleşimini ve analizini göstermektedir. Şekil 5.18'den anlaşıldığı üzere; bazı işçiler %100, bazıları %85 ve bazıları ise %0 kör nokta alanında yer almaktadırlar. Bu deneyle hangi bölgelerde ve hangi mesafelerde işçilerin iş makinelerinin tehlike alanına girdikleri anlaşılabilir ve bu veriler sonraki önlem aşamalarında kullanılabilir.

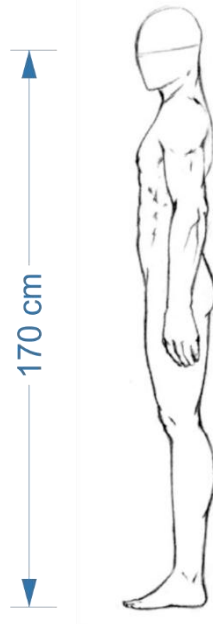
OSHA'nin güvenlik kurallarına [3] uymak üzere deneydeki modellerin kabin camları temiz olarak düşünülmüştür. Etiketler veya asılı oyuncaklar gibi herhangi bir kusurlar kabin de mevcut olmadan.

Bir sonraki adım, yaya bir çalışanın operatörün perspektifinden görünürlüğünün nasıl ölçüldüğünü anlatmaktadır.

### **5.2.2. VIBSIM'in Şantiyelerdeki yaya işçilerin üzerinde uygulanması**

Yaya işçiler; inşaat alanında güvenliği etkileyen en önemli unsurlardan biridir. İş güvenliğinin hedefleri arasında, şantiyedeki yayaları olası her tehlikeden korumak da vardır.

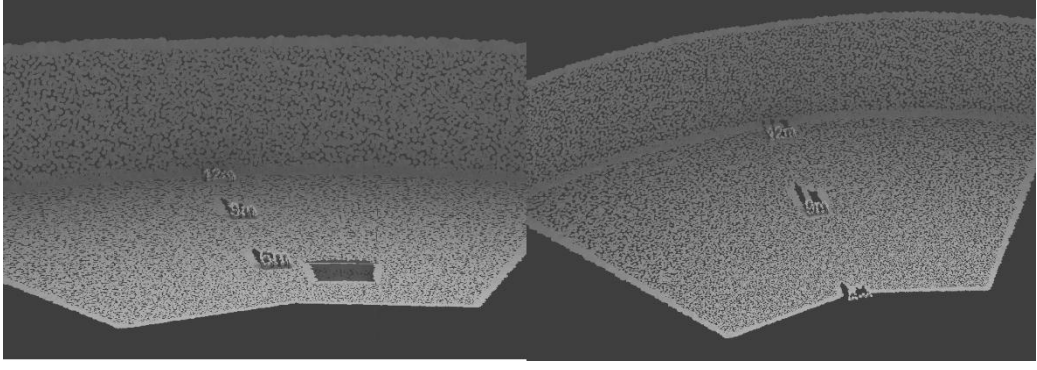
Deneylerde, inşaat makinelerinde kullanılan kameraların aynısı olan 65mm aralıkta iki kamera kullanılmıştır. Bu kameraların odak uzaklığı 43mm, "film gate" değeri 45 ve açı oranları 3:2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Kameranın yüksekliği standart bir işçinin boyu olarak kabul edilen 170 cm'ye ayarlanmıştır Şekil 5.19. Böylece bir insanın yaklaşık bakış modeli elde edilmiştir.



**Şekil 5.19.** Bir işçinin ortalama bakış yüksekliği

İnsan gözbebeğinin özelliği ona interaktif bir bakış açısı sağlamaktadır. VIBSIM'in insan üzerinde kör nokta analiz sonuçları, işçinin normalde bir noktaya odaklanmadığı zaman ortalama 60-100 derece bir bakışa sahip olduğunu göstermektedir. Bu yüzden insanın sabit kör nokta alanı 260-300 derecedir. İnsanların bakış açısı her zaman sabit olmasına rağmen genellikle öne doğru yürüyüş esnasında kör noktaların koordinatlarının değişmesi, interaktif bir kör nokta alanı yaratmaktadır. Bir insan yürüdüğünde, kör nokta bulutunu kendisi ile birlikte hareket ettirmektedir. Bu nedenle tehlike bölgeleri, kişinin hareketi ile belirlenmektedir.

Şekil 5.20'de bu durum görsel olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 5.20.** İnsanın yürüyüşünden kaynaklanan aktif kör noktalar (Sol: hareketten önce kör nokta analizi Sağ: 2m ileri hareketten sonra kör nokta analizi)

Yapılan deneyde ilk başta bir insanın önünde algılaya bilecek en yakın nokta görünmektedir. Şekil 5.20'den (sol fotoğraf) anlaşılan algılanabilecek en kısa mesafe 4,5m dir. Şekil 5.20'de görüldüğü üzere işçinin durma noktasından 5,35-6m aralıkta olan bir boşluk, 2m yürüyüş mesafesinde tamamen algı alanından kaybolmaktadır. İnsanlar, değişen tehlike bölgelerini analiz yapmaksızın tespit etme yeteneğine sahip olmadığından, yanlış hesaplamalar işçilerin hayatını tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle insanlar için sabit kör noktalara ilaveten aktif kör noktalar da hesaba katılmalıdır.

### 5.2.3. VIBSIM'in şantiyelerdeki alanların üzerinde uygulanması

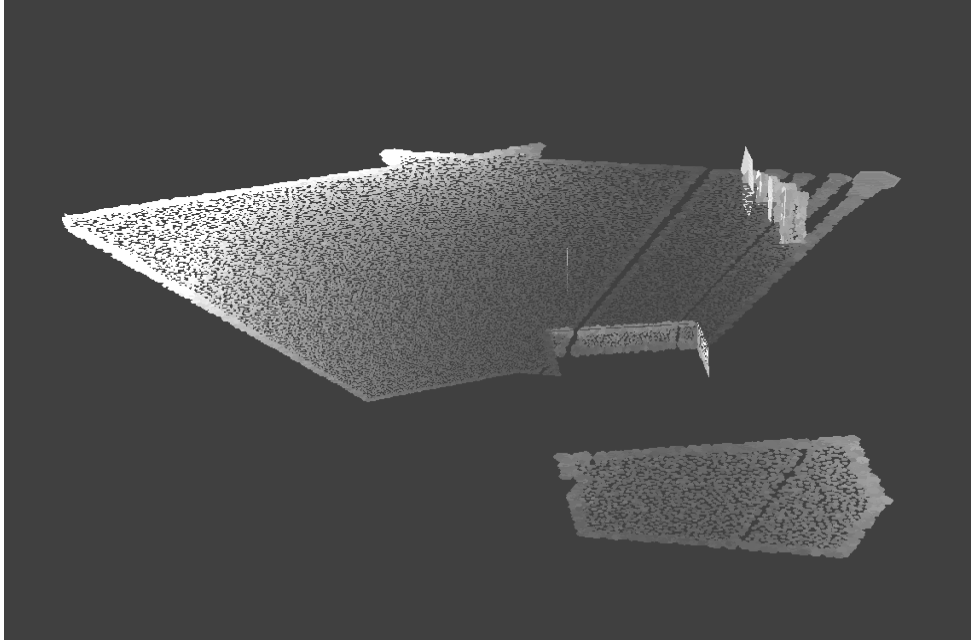
İnşaat makineleri ve işçilerin dışında şantiyenin kendi fiziki şartlarından kaynaklanan kör noktalar mevcuttur. Şantiyedeki kör noktalar genellikle proje uygulama planları ya da yapım aşamalarından kaynaklanan bölgelerdir. İnşaatin özelliklerinden kaynaklanan kör noktalar her ne kadar kör nokta kaynakları listesinde bir üçüncü parametre olsa bile tek başına ölçülememektedir. Bu nedenle, bu bölgeleri farklı bir alt başlık yerine farklı durumlarda ortaya çıkma nedenleri ile birlikte incelenmesi gerekmektedir.

Kat boşlukları, inşaattaki inşaat işlerinin aşamalı yapılmasından kaynaklanan nedenlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu boşlukların diğer türü, çatının yapım esnasında ortada bulunan büyük korumasız boşluklardır. Bu boşluklar genelde işçilerin kazaya maruz kaldığı bölgelerden biridir. Önceden incelendiği gibi işçilerin insani fiziki hallerinden veya hata algılama yetilerinin düşüklüğünden kaynaklanan nedenler bu tip kör noktalarda kazaya neden

olmaktadır. Bu durumu daha iyi algılamak üzere basit bir inşaat modeli hazırlanmıştır. Bir önceki deneyden elde edilen insan bakış değerlerini kullanarak gerçek ortam simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyondan elde edilen sonuçlar Şekil 5.21 ve 5.22’de gösterilmiştir.



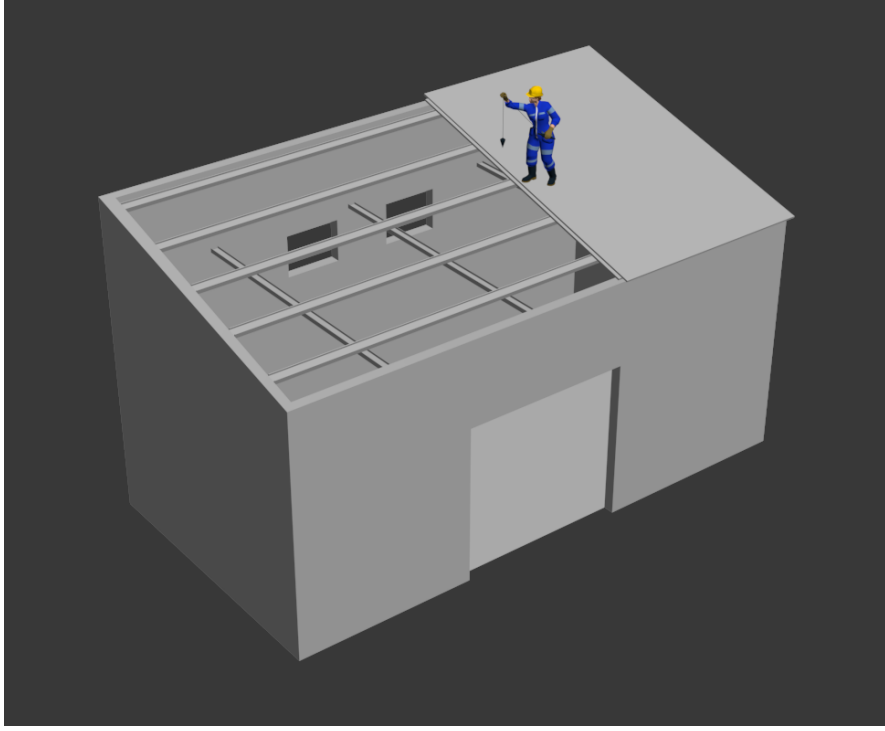
Şekil 5.21. Kat boşluğu kenarında çalışan işçinin VIBSIM modeli



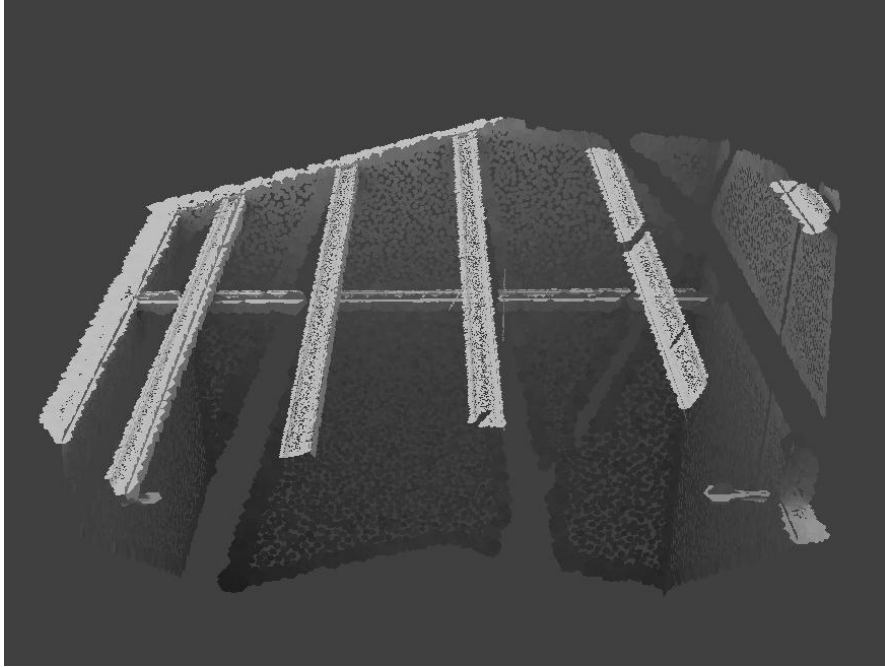
Şekil 5.22. VIBSIM’den elde edilen işçinin bakış açısından görünen simülasyon sonucu

Şantiyedeki kazalara neden olan diğer boşluk tipi çatıda olan boşluklardır. Bu tip kazalar genelde çatının döşenmesi esnasında ya da tamir aşamasında işçinin kontrol ve dengesini kaybedip boşluğa düşmesi suretiyle meydana gelen can kayıpları veya ciddi hasarlardır. Bu tip kazalara neden olan sebeplerin başında

işçinin bakış açısından kaynaklanan kr nokta alanı veya zihnin iř dışında başka konulara odaklanması gelmektedir. Bu durumun simülasyonu, Şekil 5.23 ve 5.24’de daha net bir Şekilde gösterilmiştir.

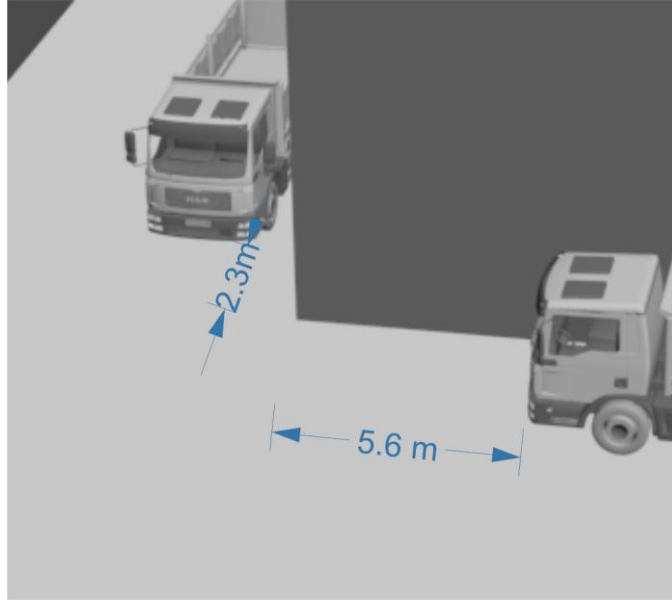


Şekil 5.23. atı boşluğuna düşen işçinin VIBSIMdeki modeli

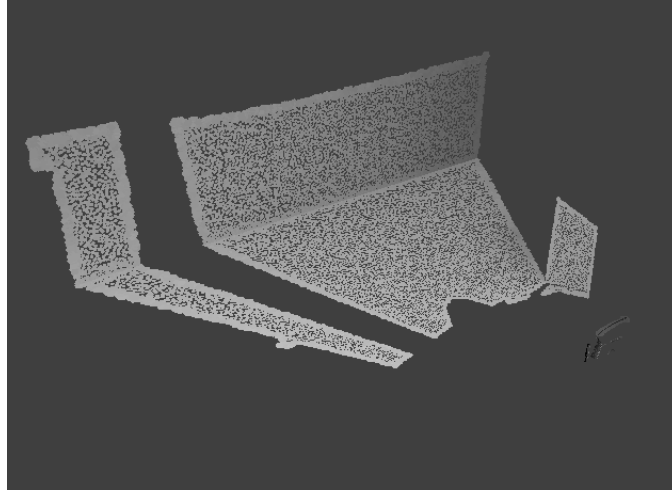


Şekil 5.24. VIBSIM’in çatı boşluk analizinin sonucu

İnşaatın fiziki şartlarından dolayı meydana gelen diğer kaza tipleri, kaza makinelerini içeren kazalardır. Önceden analiz edildiği gibi iş makinelerinin belli birer kör nokta alanları vardır. Bu kör noktalar, inşaat sahasında daha da artmaktadır. Bu kazalara örnek olarak şantiyedeki kör köşeler örnek verilebilir. Şantiyedeki herhangi bir olumsuz durum, kör noktaların oluşumuna neden olmaktadır. Bu olumsuzluklar, şantiyedeki duvar veya malzeme birikimi, hatta iş makinelerinin sabitliği ya da hareketliliğinden meydana gelebilmektedir. Yapılan VIBSIM analizinde, bir iş makinesinin kör nokta alanının, makinenin köşe bölgeye yaklaşımı ile birlikte arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.25 ve 5.26’de bu analizden ortaya çıkan kör nokta modeli ve bulutu görülmektedir. Şekil 5.26’de anlaşıldığı üzere kaza oluşumuna çok az mesafe kalmasına rağmen diğer kamyonun hala köşe noktaya hareket etmekte olduğu fark edilmemektedir.



Şekil 5.25. Kazaya sebep olan köşe kör noktasının modeli sebep olan köşe kör noktasının modeli  
sebeo olan köşe kör noktasının modeli



**Şekil 5.26.** Kazaya sebep olan köşenin, VIBSIM analizi

Bu bölümde anlatılan analiz yöntemi, kör noktaların tespiti için bir alternatif niteliğindedir. Analiz sonuçlarının bilgisayar ortamında sunulması, sonraki aşama ve tespitler için büyük bir avantaj sunmaktadır. Bu metodun hata payı  $\pm 0,1$  m dir. ISO5006 standartları temel alınarak yapılan deneyler, 12 metrelik bir yarım çember içerisinde gerçekleştirilmiştir. Buna rağmen kabul edilecek bir hata payı ile bu deney 25 m genişlikte bir çember alan için genişletilebilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada inşaat kazalarında insan hata payının birincil etken olduğu belirlenmiştir. Bu kazaları bazen şantiyede işçilere verilen iş güvenliği eğitimleriyle bazen de iş güvenliği tedbirleriyle önlemek mümkündür. Ancak işçiler her ne kadar eğitim alsalar da insanların düşünce dağınıklığından ve insan vücudunun fiziki sınırlarından dolayı kazaların sifra indirgenemeyeceğinin farkında olmak gerekmektedir. Bu nedenle iş kazalarının minimuma indirgenebilmesi için sadece eğitim ve tedbirlerin yeterli olmadığı söylenebilir. Otomatik kaza önleme sistemleri yaklaşık olarak 2005 yılından beri uygulanmaktadır. Buna rağmen otomatik kaza önleme sistemleri inşaat sektöründe hissedilen en önemli iş güvenliği ve sağlığı kriterlerinden biri olarak görünmektedir. Otomatik kaza önleme sistemi araçları, insanların ve ortamın özelliklerinden aldığı veriler ile kaza anından önce devreye girerek kazayı önleyebilmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan VIBSIM modelinin sonuçları bir 3B nokta bulutu olarak sunulmaktadır. VIBSIM'in uygulanışı nispeten basittir ve inceleme aşamasına varduktan sonra kolayca şantiyedeki operatörün vasıtasıyla incelenebilmektedir. Bir önceki bölümde söz edildiği gibi ilk başta şantiyedeki ortam, malzemeler ve gerektiği takdirde işçilerin katı 3B modelleri hazırlanması gerekmektedir. VIBSIM sistemi ile 3B modellerinin üzerinde uygulanan analizler sonucu 3B nokta bulutlar elde edilmektedir. Şantiye ya da şantiye herhangi bir noktada bulunan operatör ya da iş güvenliği uzmanı 3B nokta bulutlarını kullanarak inceleme ve analiz işlemlerini gerçekleştirebilir.

Bu aşamada görsel veriler, iş güvenliği görevlisi tarafından incelenip, şantiyedeki elemanlardan kaynaklanan tehlike potansiyeline sahip noktalar tespit edilmektedir. Bir sonraki adım bu bölgelerde, gereken bilgi ve eğitimleri işçilere vermek ve şantiyedeki tehlikeli bölgeleri korumaktır. Bu esnada elde edilen analizlerin sonuçları ile yapılabilecek bir diğer yöntem, sensörlerin ayarlanmasıdır. İş güvenliğini arttırmak amacı ile şantiyelerde kullanılan sensörlardaki ayarları elde edilen analiz sonuçları ile uyumlu olup olmadığını kontrol edip, uygun olmadığı takdirde hassasiyeti artırmak veya gereken ayar değişikliğinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, gelecekte hazırlanacak olan otomatik kaza önleme sistemleri için bir temel veri tabanı hazırlamak üzere tamamen bilgisayar tabanlı olan bir kör nokta analiz sisteminin temel araştırmaları yapılmıştır. Bu çalışmaya benzer şekilde manüel olarak ya da lazer tarama ile yapılan kör nokta tespitleri ve analiz yöntemleri piyasada kullanılmaktadır. Bu sistemin diğer sistemlere karşı avantajları aşağıda listelenmiştir:

- Tamamen bilgisayar tabanlı olduğundan makinelerin gerçek modellerinin hazırlanmasına gerek yoktur. Bu nedenle zaman, mekan, insan gücü ve maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır.
- Bu modeldeki kör nokta bulutları üç boyutlu ortamda hazırlandığı için istenen açı ve noktadan analizler yapılabilmektedir.
- Kör nokta bulutları bilgisayar ortamında olduğu için diğer makine ve işçilerin kör nokta bulutları ile karşılaştırmak mümkündür. Ayrıca ikinci bir deneye ihtiyaç duymadan tek bir deneyde hepsinin analiz edilebilmesi mümkündür.
- Veriler kolaylıkla farklı makinelere adapte edilebilmektedir.
- Sonuçların analizine herhangi bir bilgisayardan ulaşılabilmektedir. Ancak, çalışmada kullanılan yazılımların o bilgisayar üzerinde kurulu olması gerekmektedir. Böylece farklı kişiler farklı yerlerden aynı proje üzerinde çalışabilmekte ve değişiklik yapabilmektedir.
- Farklı inşaat sahaları için veri tabanının yenilenmesine gerek yoktur. Nokta bulutları bağımsız olduğu için (her makine ve işçinin kendine özel ve bağımsız bir nokta bulutu dosyası olduğundan) yeni bir şantiyenin analizinin yapılması için sadece o iş sahasının modelinin üzerinde hazır temel nokta bulutları ile o mekana özel bir analizin yapılması yeterlidir.

Bu modelin insansız olarak tamamen bilgisayar üzerinde yürütülmesi şimdilik mümkün görünmemektedir. Ancak teknolojinin ilerlemesi ile birlikte tamamen bilgisayar tabanlı olabilmesi öngörülmektedir.

Bilgi kaynağının artırılması ve kör noktalarda kazaya sebep olacak potansiyel bölgelerin tespit edilmesi, etkili bir güvenlik modeli uygulaması ile inşaat işlerinde planlama ve yönetim sistemlerinin geliştirilmesinde yardımcı olabilir.

Bu tezde sunulan yöntemlerin sonuçları, gelecekte üretilecek olan otomatik iş güvenliği sistemleri için çok önemli bir kaynak niteliğindedir. Radyo Frekans Tanımlama (RFID) tabanlı otomatik iş sağlığı ve güvenliği gündemimizde olan bu yöntemlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu tezin analiz sonuçlarına dayanarak şantiyede kullanılan hiçbir makinenin aynı kör nokta bulutuna sahip olmadığı ve operatör veya makinenin kendiliğinden kaynaklanan nedenlerden dolayı farkı sonuçların çıktığı anlaşılmaktadır. Buna ek olarak işçiler, farklı boy ve görme mesafelerine sahip olduklarından, farklı kör nokta algılamasına sahiptirler. Bu nedenle işçilerin ve makinelerin özelliklerini dikkate almadan tipik otomatik bir iş güvenliği sisteminin, doğru sonuçlar vermeyeceği söylenebilir. Bu yüzden kullanılacak olan sensörler kişiye ve makineye özel olarak tasarlanmalıdır. Dolayısıyla kişiye özel kör nokta analizlerden faydalanmak gerekmektedir.

Yapılan analiz ve deneylerin tümü, bu modelin birinci versiyonlarıdır. Bu modelin geliştirilecek sistemlerle daha uyumlu olması için bu alanda araştırmalara devam edilmesi gerekmektedir. Böylece model, diğer iş güvenliği aşamaları ile birlikte bir paket sistem haline gelebilecek ve yaygın bir şekilde kullanılacaktır. Bu çalışmada sunulan VIBSIM modeli şantiyelerde daha güvenli iş ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlamayı öngörmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] J.W. Hinze ve Teizer, J., Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety Science*, 2011. 49(5): s. 709-718.
- [2] ILO, World of work report 2012: Better jobs for a better economy, 2012, International Labour Office, International Institute for Labour Studies: Geneva.
- [3] OSHA. Regulations (Standards - 29 CFR). 2012 [cited 2012; <http://www.osha.gov>.
- [4] Teizer, J., B.S. Allread, Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system. *Automation in Construction*, 2010. 19(5): s. 630-640.
- [5] Teizer, J., B.S. Allread, ve U. Mantripragada, Automating the blind spot measurement of construction equipment. *Automation in Construction*, 2010. 19(4): s. 491-501.
- [6] BLS, Census of Fatal Occupational Injuries (CFOI) - Current and Revised Data, 2011.
- [7] Arıcı, K., İş Sağlığı ve Güvenliği Dersleri. TES-İŞ Eğitim Yayınları, 1999. 3.
- [8] Şahin, T. Kurumlar için iş güvenliği. 2009; [www.osg.com.tr](http://www.osg.com.tr).
- [9] Bakanlığı, T.C.Ç.v.S.G. 2010; <http://www.csgb.gov.tr/csgbPortal/csgb.portal?page=istatistik>.
- [10] Wilson, Jr, J.M. ve Koehn E., Safety management: Problems encountered and recommended solutions. *Journal of Construction Engineering & Management*, 2000. 126(1): s. 77.
- [11] Pratt S.G. ve Marsh S.M., Building Safer Highway Work Zones: Measures to Prevent Worker Injuries From Vehicles and Equipment, 2001, Department of Health and Human Services.
- [12] Kazaz, A. ve Ulubeyli, S., İnşaat sektöründe iş sağlığı ve iş güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu 2009, İMO Sakarya Şubesi.
- [13] Kheni, N.A., Dainty, A.R.J. ve Gibb, A., Health and safety management in developing countries: a study of construction SMEs in Ghana. *Construction Management and Economics*, 2008. 26(11): s. 1159-1169.
- [14] BLS, Fatal occupational injuries by industry and selected event or exposure, 2011, Bureau of Labor Statistics: New York City.
- [15] Eurostat, Health and safety at work statistics, 2009.
- [16] JICOSH, Industrial Accidents Statistics in Japan, 2010, Japan Ministry of Health, Labour and Welfare
- [17] Ceylan, H., Türkiye'deki İş Kazalarının Genel Görünümü ve Gelişmiş Ülkelerle Kıyaslanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2011. 3: s. 21-23.
- [18] Sosyal Güvenlik Kurumu, S., İstatistik Yıllığı, 2004-2011.
- [19] Gürcanlı, G.E. ve Müngen, U., İnşaat Şantiyelerine Özgü Bir İş Güvenliği Risk Analizi Yöntemi, 4. İnşaat Yönetimi Kongresi 2007.
- [20] Anumba, C. ve Bishop, G., Importance of safety considerations in site layout and organization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1997. 24(2): s. 229-236.

- [21] Hinze, J. ve Wilson, G., Moving toward a zero injury objective. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2000. 126(5): s. 399-403.
- [22] Loushine, T.W., et al., Quality and safety management in construction. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2006. 17(9): s. 1171-1212.
- [23] ILO, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, in ILO's Encyclopaedia of Occupational Health and Safety 2012, International Labour Office, International Institute for Labour Studies.
- [24] Senekerim, B. Sağlık ve İş Güvenliği. 2011; [http://www.takimceligi.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=317&Itemid=289](http://www.takimceligi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=317&Itemid=289).
- [25] NIOSH. 2010-2012]; <http://www.cdc.gov/niosh/construction/>.
- [26] Coble, R.J., J.W. Hinze, ve Haupt, T.C., Construction safety and health management 2000, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. xix, 234 s.
- [27] MacCollum, D.V., Construction Safety Planning 1995: Wiley.
- [28] Walia, A. ve Teizer, J., Analysis of Spatial Data Structures for Proximity Detection. *Tsinghua Science & Technology*, 2008. 13, Supplement 1(0): s. 102-107.
- [29] Gray, R. ve Regan, D., Glare susceptibility test results correlate with temporal safety margin when executing turns across approaching vehicles in simulated low-sun conditions. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2007. 27(5): s. 440-450.
- [30] OSHA. Falls in Construction. 2012 [cited 2012; [http://www.osha.gov/dts/vtools/construction/skylight\\_fnl\\_eng\\_web\\_transcript.html](http://www.osha.gov/dts/vtools/construction/skylight_fnl_eng_web_transcript.html)].
- [31] Fosbroke, D.E., Studies on Heavy Equipment Blind Spots and Internal Traffic Control, in Roadway Work Zone Safety & Health Conference 2004: Baltimore, Maryland.
- [32] ISO, Earth-moving machinery — operator's field of view, in Part 2: Evaluation method 2009, International Standard.
- [33] Hefner, R.E., Construction Vehicle and Equipment Blind Area Diagrams, 2002-2004, Caterpillar Inc.
- [34] McPherson, D., Balancing PPE Protection with Comfort, Fit & Style. *Professional Safety*, 2008. 53(3): s. 50-52.
- [35] Şirket, F.M. NEW FORD MIRROR DESIGN AND RADAR SYSTEMS TO MINIMIZE BLIND SPOT RISK. 2009; [http://media.ford.com/article\\_display.cfm?article\\_id=28026](http://media.ford.com/article_display.cfm?article_id=28026).
- [36] Teizer, J., Caldas, C., ve Haas, C., Real-Time Three-Dimensional Occupancy Grid Modeling for the Detection and Tracking of Construction Resources. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2007. 133(11): s. 880-888.
- [37] Hagebeuker, B., A 3D TIME OF FLIGHT CAMERA FOR OBJECT DETECTION. *Optical 3-D Measurement Techniques*, 2007.
- [38] Benz, M. Radar Based Braking. 2012; [http://www5.mercedes-benz.com/en/innovation/radar\\_based\\_braking/](http://www5.mercedes-benz.com/en/innovation/radar_based_braking/).
- [39] Pharr, M. ve Humphreys, G., Physically Based Rendering: From Theory to Implementation 2004: Elsevier Science.
- [40] Chaos-Group, The rendering equation, in V-Ray rendering system 1.5 SP52011.

- [41] Maunder, de F., M.J. ve S. Moore, Lights in the Sky: Identifying and Understanding Astronomical and Meteorological Phenomena2007: Springer-Verlag London Limited.
- [42] Edward L. Barber, C., Strength ve Range-of-Motion Examination Skills for the Clinical Orthotist. Journal of Prosthetics and Orthotics, 1993. 5(4): s. 49-51.