

İŞ KAZASI VERİLERİNİN OLASILIK DAĞILIMLARI İLE MODELLENMESİ

Nihal Erginel^{1*}, Şura Toptancı¹

¹Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İş güvenliği,
İş kazası,
Kaza sıklığı,
Olasılık dağılımı,
Kontrol grafiği.

Özet

Dünya'da her yıl milyonlarca insan iş kazaları nedeniyle yaralanmakta, yaşamını yitirmekte ya da işle ilgili meslek hastalığına yakalanmaktadır. İş kazalarının, meslek hastalıklarının ve olay sonucu ortaya çıkan maliyetlerin azaltılması ve işyerlerinde sağlıklı ve güvenli çalışma koşullarının oluşturulması, iş güvenliği yönetimiyle mümkündür. İş Güvenliği faaliyetlerinin yönetiminde, iş kazası istatistiki verilerinin incelenip analiz edilmesi yapılacak iş güvenliği çalışmasına yön vermektedir. İş kazası verilerinin analiz edilmesiyle iş güvenliği performansını değerlendirme, kazalardan kaynaklanan riski modelleme ve kaza olasılıklarını tespit etme sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, iş kazaları verilerinin risk analizi kaza sıklığı ve etki derecesi açısından ele alınmaktadır. Bu iki göstergenin risk analizi, belirsizlik ve değişkenlikleri ele alan uygun olasılık dağılımlarıyla sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)'dan alınan İç Anadolu Bölgesi inşaat sektörüne ait 2005 - 2015 yılları iş kazası verileri, şehir, yaş ve kazaların sebepleri gibi bilgilere göre tasnif edilmiş olup göreceli önemleri ortaya çıkarılmıştır. @Risk programı ile kaza meydana gelme sıklığı ve etki derecesi için uygun olasılık dağılımları ve parametreleri belirlenmiştir. Benzetim yardımıyla yıllık toplam kayıp iş günü riski elde edilmiştir. Daha sonra, en önemli kaza sebepleri için kaza oranı fonksiyonu ve birikimli risk fonksiyonu parametreleri hesaplanmıştır. Belirlenen dağılımlardan hareketle inşaat sektörü için iş kazalarının risk tahmini yapılmıştır. Son olarak, iş güvenliği performansının izlenmesi ve kaza sebeplerinin kontrol altında tutulması adına kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada İç Anadolu Bölgesi inşaat sektöründeki toplam kayıp iş günü risk seviyesinde son 2 yılda azalma yaşanmasına rağmen kaza ve kaza kaynaklı iş günü kaybı sayılarının kabul edilemez sayılarda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca inşaat işlerinde kişilerin düşmesinin, makine, ekipman ve alet kullanımlarında kontrol kaybının ve maddi araçla ilgili patlama, düşme vb. tehlikelerin çok sık meydana geldiği gözlemlenmiştir. Oluşturulan kontrol grafikleri iş kazası sayılarında yıllara göre genel olarak artan bir eğim göstermiş, özellikle "kontrol kaybı" ile ilgili kazalarda Nisan-Kasım ayları arasında belirgin bir artış olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar inşaat firmalarının kazaları ve etkilerini azaltıcı daha etkin programlar geliştirmesi ve uygulaması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmadaki analiz sonuçları İç Anadolu Bölgesi'ndeki inşaat firmalarının yürürlükte olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili mevzuatları ne derecede uyguladığının bir göstergesi olarak kullanılabilir. Bununla beraber inşaat firmaları ya da diğer sektörler kendi iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerinin yeterliliğini ölçmek için çalışmada kullanılan metotsal yaklaşımlardan faydalanabilir.

* İlgili yazar: nerginel@anadolu.edu.tr,+90-222-321-3550

* Corresponding Author: nerginel@anadolu.edu.tr,+90-222-321-3550

MODELING OCCUPATIONAL ACCIDENT DATA WITH PROBABILITY DISTRIBUTIONS

Nihal Erginel^{1†}, Şura Toptancı¹

¹Anadolu University, Faculty of Engineering, Dept. of Industrial Engineering, Eskişehir, Türkiye

Keywords

*Occupational safety,
Occupational accident,
Frequency of accident,
Probability distribution,
Control chart.*

Abstract

Every year, millions of people in the world get injured, die or catch diseases related to the work. By the occupational safety management, it is possible to form healthy and safe working conditions, to decrease the occupational accidents and the cost. In the management of the occupational safety activities, analyzing of the occupational accident data directs the study of occupational safety to be done. With analyzing the data of the occupational accidents, the assessment of the occupational safety performance, modeling the risk caused by the accidents and retaining probabilities of the accident are able to be provided. In addition to this, the risk analysis of the occupational accident data is approached in terms of the frequency and severity of the accidents. The risk analysis is provided by the proper probability distribution which considers uncertainty and variability.

In this study, 2005 – 2015 occupational accident data, taken from Social Security Institution and belonging to the construction sector of Central Anatolia Region, are categorized as well as their relative importance are revealed. With @Risk programme, the proper probability distributions and the parameters are determined for the incidence frequency of the accidents and severity. By the help of simulation, the total annual lost workday risk is obtained. Afterwards, accident rate and cumulative risk function values are calculated for the most important accident causes. The risk of occupational accidents for the construction sector is estimated from determined distributions. Finally, control charts are made in favor of keeping the causes of the accident under control and monitoring the occupational safety performance. Although in the last 2 years the total lost workday risk level in the construction sector of the Central Anatolia Region decreases, the number of accidents and workday loss due to accidents is unacceptable. In addition, the results indicate that the most important accident causes are person falls, loss of control in the use of machinery, equipment and tools and hazards such as explosion, falls etc. related to materials means. In general, the control charts shows an increasing trend in the number of occupational accidents compared to the years, and it is determined that between April-November there is a significant increase in the accidents which are related to “loss of control”. Therefore, the construction firms should develop and implement more effective programs to reduce accidents and their effects. The analysis results obtained from this study can be used as an indicator of how the construction firms in the Central Anatolia Region apply the Act No.6331 on Occupational Health and Safety and related legislation. Besides, construction firms or other sectors may benefit from the methodological approach used in this study to measure the adequacy of their occupational health and safety activities.

1. Giriş

İş kazası, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3.maddesine göre “İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay” olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, iş kazası kavramı 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 13. Maddesinde, sigortalının (çalışanın) işyerinde bulunduğu sırada, işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle,

bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda, emziren kadın sigortalının iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, sigortalıların işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedence veya ruhça arızaya uğratan olay olarak daha geniş bir tanımla yer almaktadır.

Heinrich, Fine, Levitt ve Hinze gibi bilim adamları iş kazaları ve meslek hastalıklarının sebeplerini bulmaya çalışmışlardır (Baradan vd., 2016). Bu sebeplerin belirlenmesi ve gerçekleştirilen iş güvenliği

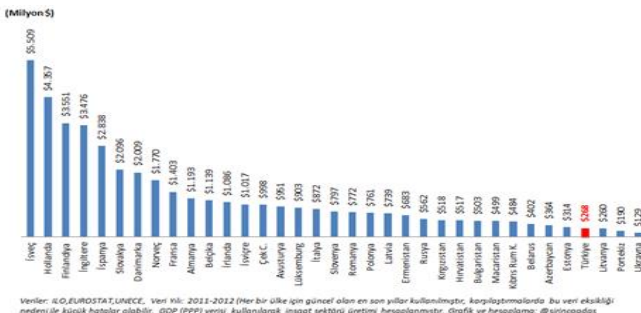
çalışmalarının amacına ulaşması için iş kazası ve meslek hastalıklarıyla ilgili istatistiksel bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)'nün tahminlerine göre dünya'da 1,34 milyar kadın olmak üzere 3,4 milyar iş gücü bulunmaktadır (ILO, 2015). ILO verilerine göre her 15 saniyede bir çalışan iş kazası veya meslek hastalıklarına bağlı olarak hayatını kaybetmekte ve her 15 saniyede 153 çalışan iş kazası geçirmektedir. Bunun yanı sıra, her yıl 317 milyon çalışanın iş kazası geçirdiği ve 2,3 milyondan fazla insanın iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle hayatını kaybettiği bilinmektedir (ILO, 2016).

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) iş kazaları ve meslek hastalıklarına ait istatistik verilerine göre ülkemizde 2014 yılında 221.366 adet iş kazası bildiriminde bulunulmuştur. Bu kazalar sonucu 1.421 çalışan malul kalmış ve 1.626 çalışan hayatını kaybetmiştir (SGK, 2014).

İş kazaları çalışanların yan sıra işverenleri, çalışanların yakınlarını, toplumu ve ülkeyi etkileyerek üzerlerinde ciddi yükler oluşturmaktadır (Boden, vd., 2001). Ayrıca büyük miktarda maliyetlerin, işte devamsızlığın, gelir ve iş kayıplarının zaman kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır (Boden, vd., 2001; Linacre, 2007; Goetsch, 2008). ILO verilerine göre zayıf iş güvenliği ve sağlığı uygulamalarının ekonomik yükü her yıl küresel gayri safi yurtiçi hasılabın yaklaşık %4'üdür (ILO, 2016). Bu nedenlerden dolayı, iş kazalarının önlenmesi, meydana getirdiği etkilerin azaltılması ve işyerlerinde daha sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının oluşması için iş güvenliği kültürünün yaygınlaştırılması ve iş güvenliği yönetiminin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Bütün ülkelerde iş kazalarının sık rastlandığı işkollarından biri olan inşaat endüstrisi emek yoğun ve geniş istihdam alanları sağlayan bir endüstridir. İnşaat endüstrisi bir ülkenin gelişiminde önemli rol oynamakta ve diğer ilgili endüstrilerin gelişimini doğrudan etkilemektedir (Liu ve Tsai, 2012). Şekil-1'de ülkelere göre toplam inşaat üretiminin ölümlü iş kazasına oranları sunulmuştur. Buna göre İsveç'te 5.509 milyar dolarlık ülkemizde ise 268 milyon dolarlık bir inşaat üretiminde bir kişi hayatını kaybetmektedir (Şirin, 2015).



Şekil 1. Toplam inşaat üretiminin ölümlü iş kazasına oranı (milyon \$)

Tablo 1'de 2014 SGK istatistik verilerine göre, yaşanan iş kazalarının %21,55'ini oluşturan metal sektörünün ülkemizde iş kazalarının en yüksek yaşandığı iş kolu olduğu tespit edilmiştir. Ancak iş kazası sonucu ölüm vaka sayılarının iş kollarına göre dağılımları incelendiğinde inşaat sektörünün ilk sırada yer aldığı ortaya çıkmaktadır. İnşaat iş grubunda 29.699 iş kazası meydana gelmiştir. Bununla birlikte, inşaat iş kolu toplam istihdamın %12,09'unu karşılmasına rağmen Türkiye'deki iş kazalarının %13,42'sini ve ölümlerin %30,81'ini oluşturmaktadır.

Tablo 1. 2014 yılı iş kazası ve ölüm hızları en yüksek olan dört sektör (Üçüncü, 2015).

Kod	İşkolu	Kaza sayısı	Ölüm	Sigortalı sayısı	Ölüm Hızı 100.000 kişiye	Kaza Hızı 100 kişiye
5	KOMÜR VE Linyit ÇIKARTILMASI	10.026	335	41.058	816	24,4
7	METAL CEVHERİ MADENCİLİĞİ	1.030	7	23.422	30	4,4
8	DİĞER MADENCİLİK VE TAŞ OCAK	1.557	38	56.250	68	2,8
9	MADENCİLİK DESTEKLEYİCİ HİZMET	271	1	8.232	12	3,3
	MADENCİLİK SEKTÖRÜ	12.884	381	128.962	295	10,0
24	ANA METAL SANAYİ	12.357	14	4.840	289	255,3
25	FABRİK METAL ÜRÜN (MAK.TEC.H.AR)	18.529	31	30.609	101	60,5
28	MAKİNE VE EKİPMAN İMALATI	5.415	22	58.860	37	9,2
29	MOTORLU KARA TAŞI TI VE RÖMÖRK İM.	6.375	5	10.616	47	60,1
30	DİĞER ULAŞIM ARAÇLARI İMALATI	1.446	5	539.701	1	0,3
33	MAKİNE VE EKİPMAN KURULUMU VE ON.	3.592	23	15.545	148	23,1
	METAL/MAKİNA SEKTÖRÜ	47.714	100	660.171	15	7,2
41	BİNA İNŞAATI	13.508	260	760.098	34	1,8
42	BİNA DIŞI YAPILARIN İNŞAATI	7.675	143	754.773	19	1,0
43	ÖZEL İNŞAAT FAALİYETLERİ	8.516	98	85.988	114	9,9
	İNŞAAT SEKTÖRÜ	29.699	501	1.600.859	31	1,9
49	KARA TAŞIMACILIĞI SEKTÖRÜ	7.287	172	82.693	208	8,8
	DÖRT SEKTÖR TOPLAMI	97.584	1.154	2.472.685	47	3,9
	Dört sektörün genel toplam içindeki oranı	44,1%	71,0%	18,7%		
	GENEL TOPLAM	221.366	1.626	13.240.122	12,3	1,67

Yılmaz (2014) çalışmasında İstanbul'da bulunan bir inşaat alanının kaza istatistik verilerini analiz ettiğinde iş kazası olay oranının Türkiye'deki ve bütün Avrupa ülkelerindeki diğer sektörlerle göre yüksek olduğunu tespit etmiş ve ülkemizdeki inşaat güvenlik performansının gelişmiş ülkelere göre daha kötü olduğunu belirtmiştir. İş kazası istatistik verilerinden de anlaşıldığı gibi, ülkemizde inşaat iş grubu kaza sayısı ve ölüm oranları yüksektir. Bu nedenle, bu çalışmada ülkemizde son yıllarda meydana gelen inşaat iş kolundaki iş kazalarının araştırılması amaçlanmıştır.

İnşaat sektörünün çalışma alanı, çalışma şartları ve işçi yapısı diğer sektörlerden farklı olarak dinamik bir yapıya sahiptir. İnşaat faaliyetlerinde ayrıca dağınık çalışma alanları, farklı hava şartları altında çalışma zorunluluğu, taşeron firmanın ve küçük ve kurumsallaşmamış inşaat firmalarının varlığı söz konusudur (Öcal, 2006). İnşaat işkoluna ait belirtilen koşullar yanında inşaat işçilerinin eğitim seviyesinin düşüklüğü, inşaat işinin doğası gereği yüksek riskli özelliği ve var olan teknolojik ve bilimsel imkânlardan yeterince yararlanmama, inşaat işkolunun çok tehlikeli sınıfta yer almasının ve bu işkolunda yaşanan iş kazalarının sayısal çokluğunun ana nedenlerini oluşturmaktadır. Bu durum, iş güvenliği yönetiminin her bir inşaat firmasında inşaat alanının özelliklerine göre değişmesine neden olmaktadır ve diğer sektörlerle göre inşaat işkolunu iş kazalarını önleme sürecinde dezavantajlı bir konuma getirmektedir. Bununla beraber, inşaat işkolunda yaşanan iş

kazalarının ve bu kazalar sonucu oluşan maddi ve manevi kayıpların ortadan kalkması ya da azaltılması için iş güvenliği çalışmalarının ve beraberinde kaza önleme faaliyetlerinin sistematik bir şekilde yürütülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu gereksinimin yerine getirilmesi için, öncelikle inşaat işkoluna ait iş kazası verilerinin istatistiksel analizinin yapılması, kaza sebeplerinin belirlenmesi, kaza risklerinin modellenmesi, kaza olasılıklarının tespit edilmesi ve iş güvenliği performansının değerlendirilmesi gerekmektedir. Sektörde meydana gelen kaza durumlarının davranışının daha iyi anlaşılmasına yönelik kaza verilerinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar, kaza önleyici çalışmalara yön vermede ve aynı tür yeni kazaların oluşumunu önlemede önem teşkil etmektedir.

Kaza verilerinin nicel analizinde, iş kazalarının incelenmesi ve kazalarla ilgili kıyaslamaların yapılması için yaygın olarak Kaza Sıklık Hızı (KSH) ve Kaza Ağırlık Hızı (KAH) göstergeleri kullanılmaktadır. Genel olarak, KSH ve KAH değerleri sırasıyla Eşitlik 1 ve 2'deki gibi hesaplanmaktadır (SGK, 2014).

$$KSH = \frac{\text{İş kazası sayısı} * 1,000,000}{\text{Toplam prim tahakkuk eden gün sayısı} * 8 \text{ saat}} \quad (1)$$

$$KAH = \frac{(\text{İş kazası sonucu toplam gün kaybı} * 8 \text{ saat}) * 100}{\text{Toplam prim tahakkuk eden gün sayısı} * 8 \text{ saat}} \quad (2)$$

KSH ve KAH göstergeleri, küçük işletmeler için yüksek sonuçlar vermektedir (Sadullah, 1997). Aynı zamanda, kazaların oluşumundaki belirsizliği ve değişkenliği içermemektedir (Sari vd., 2009). Literatürde, kaza verilerinin gösterdiği belirsizliği ve değişkenliği içerecek şekilde iş kazası verilerinin uygun olasılık dağılımlarıyla modellendiği görülmektedir. Tablo 2'de iş kazalarının risk analizinde incelenen değişkenleri ve bu değişkenlerin uyum gösterdiği olasılık dağılımlarını ele alan bazı çalışmalar yer almaktadır.

Tablo 2. Literatürde iş kazası verilerinin dağılım analizi

Çalışma	İncelenen Değişkenler	Dağılım
Hanayasu, 1983	İnşaat iş kazası sayısı	Poisson dağılıma uygun
Düzgün ve Einstein, 2004	Yeraltı kömür madenlerinde kaza sayısı ve kazalar arası süre	Kaza sayısı poisson, kazalar arası süre üstel dağılıma uygun
Coleman ve Kerkering, 2007	Yeraltı kömür ve metal/metal olmayan madenlerde iş günü kaybı	İş günü kaybı beta dağılıma uygun
Ural vd., 2007	İnşaat iş kazası sayısı ve iş günü kaybı	Kaza sayısı poisson, iş günü kaybı lognormal dağılıma uygun
Sarı vd., 2009	Yeraltı kömür madeninde iş kazası sayısı, kazalar arası süre ve iş günü kaybı	Kaza sayısı poisson, kazalar arası süre üstel, iş günü kaybı lognormal dağılıma uygun
Khanzode vd., 2011	Yeraltı kömür madeninde meydana gelen her bir	Kaza sayısı poisson, kazalar arası süre

	kaza türü için kaza sayısı ve kazalar arası süre	weibull dağılıma uygun
--	--------------------------------------------------	------------------------

Modelleme sürecinde gerçekleştirilen iş kazası risk analizi, kaza sıklığı ve etki derecesinin uygun olasılık dağılımlarının oluşturulması ile mümkün olmaktadır (Ural vd., 2007). Genel olarak, kaza sıklığı; belirli bir zaman aralığında meydana gelen kaza sayısı, iş günü kaybı ise etki derecesi olarak ele alınmaktadır. Bununla birlikte, iş kazaları kontrol ve önleme tekniği olan kontrol grafikleriyle izlenebilmektedir (Khanzode vd., 2011; Schuh, 2014).

Bu çalışmada, inşaat işkoluna ait Türkiye'deki geçmiş veriler analiz edilerek kaza risklerinin kaza sıklığı, etki derecesi ve kazalar arası süre, en önemli kaza sebeplerini ayrıca içerecek şekilde değerlendirilerek istatistiksel modeller ve kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Böylece, elde edilen araştırma sonuçlarıyla iş güvenliği çalışmalarının doğru yönlendirilmesi ve iş kazalarının önlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca firmalar çalışmada yer alan analiz yaklaşımından faydalanarak kendi iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerini doğru bir şekilde değerlendirip yeterliliğini ölçebilecektir.

2. Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi

İş kazası verilerinin değerlendirilmesi aşamasında öncelikle kaza verilerinin tanımlayıcı istatistiksel analizi yapılmaktadır. Daha sonra, kaza sıklığı ve etki derecesi için uygun veri modelleri oluşturulur. Kaza verilerinin olasılıksal modellenmesinde Ural vd. (2007) ve Sari vd. (2009)'un önerdiği metod aşağıdaki adımları içermektedir:

1. İş kazası sıklığını hesaplama ve uygun olasılık dağılımını seçme.
2. Kazaların etki derecesine karar verme ve uygun olasılık dağılımını seçme.
3. Benzetim tekniği ile 1. ve 2. adımlarda bulunan değerleri birleştirerek yıllık toplam kayıp iş günü riskini belirleme.
4. İş kazası sıklığı ve etki derecesine bağlı olarak yıl bazlı risk seviyelerinin tespit edilmesi.

Daha sonra tüm kazalar dâhil olmak üzere en önemli kaza sebeplerinin kazalar arasında geçen ortalama süreleri ve kaza sıklıkları için kaza oranı fonksiyonu ve azalan birikimli risk fonksiyonu parametreleri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle kaza sıklığı, etki derecesi ve kazalar arası sürenin dağılımları ve parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra risk modelinin oluşturulması ve belirsizliğin anlaşılması için @Risk programında yer alan benzetim tekniği kullanılmıştır.

Tablo 3'de kaza verilerinin risk modellemesi sürecinde yıl bazlı risk seviyelerinin saptanmasında kullanılan ve Sarı (2002) tarafından önerilen risk

matrisi yer almaktadır. Önerilen risk matrisinde satırlarda kaza sayısı/yıl olan kaza sıklığının olasılıkları, sütunlarda ise iş günü kaybı/kaza olarak ifade edilen etki derecesinin yani şiddetin gerçekleşme ihtimalleri 0-1 aralığında uygun 4 eşit parçaya ayrılarak ifade edilmiştir. Her bir bileşen çiftinin alt ve üst limit değerleri çarpılarak bulunan en yüksek değerler hücrelerdeki risk skorlarını oluşturmuştur. Elde edilen risk skorlarına göre çok düşükten kabul edilemeze kadar riskin ölçeklendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 3. Risk matrisi

Olasılık	Şiddet			
	0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1
0,75-1	0,250 (Orta)	0,50 (Yüksek)	0,75 (Çok yüksek)	1 (Kabul edilemez)
0,50-0,75	0,1875 (Düşük)	0,375 (Orta)	0,5625 (Yüksek)	0,75 (Çok yüksek)
0,25-0,50	0,125 (Çok düşük)	0,25 (Düşük)	0,375 (Orta)	0,50 (Yüksek)
0-0,25	0,0625 (Çok düşük)	0,125 (Çok düşük)	0,1875 (Düşük)	0,25 (Orta)

Uygun olasılık dağılım parametrelerine bağlı olarak kaza oranı fonksiyonu kazalar arası sürelerin tehlike oranı, birikimli risk fonksiyonu kaza sayılarının azalan birikimli olasılık dağılımı kullanılarak hesaplanır (Khanzode, vd. 2011).

3. Kaza Verilerinin İzlenmesi

İş güvenliği performansını gözlemlemek ve kaza sebeplerinin oluşumunu kontrol altında tutmak için kontrol grafiklerinden yararlanılabilir. Kontrol grafikleri, bir sürecin yeterliliğini belirlemede ve kontrol altına alınmasında kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Kontrol grafiğini oluşturulurken incelenecek veri seçildikten sonra hangi tür kontrol grafiği kullanılacağına karar verilir. Ortalamayı gösteren merkez çizgisi (MÇ) değeri ve süreç değişkenliği hakkında bilgi veren üst ve alt kontrol limitleri (ÜKL-AKL) Eşitlik 3'deki gibi hesaplanır.

$$MÇ = \mu \quad ÜKL - AKL = \mu \pm k \cdot \sigma \quad (3)$$

μ : ortalama, k : ortalama değerden kontrol limitlerine olan uzaklığı belirleyen katsayı, σ : standart sapma.

k katsayısı 3 alındığında noktaların en az % 99,73'ünün kontrol limitleri arasında yer alması gerekir. Hesaplanan değerler grafik üzerine aktarılır. Bu çalışmada, kişilerin düşme sayıları, kontrol kaybiyla ve maddi araçla ilgili tehlikelerden kaynaklanan kaza sayıları kontrol grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir.

4. Uygulama

Bu çalışmada, Sosyal Güvenlik Kurumu, Aktüerya ve Fon İşleri Daire Başkanlığı'ndan alınan İç Anadolu Bölgesi inşaat işkoluna ait 2005-2015 yılları arasında meydana gelen iş kazası verileri kullanılmıştır. Olasılık dağılım modellerini oluşturmada ve benzetim ile riskin modellenmesinde @Risk, diğer analiz işlemlerinde MS Excel 2010 programından yararlanılmıştır.

4.1. Kaza verilerinin tanımlayıcı istatistik analizi

Ankara, Çankırı, Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Sivas, Yozgat, Aksaray, Karaman ve Kırıkkale'deki inşaat işyerlerini kapsayan kaza verilerinin tanımlayıcı istatistik bilgisini oluşturmak açısından veri seti kazanın gerçekleştiği il, çalışan sigortalı sayısı, kazazedenin yaşı ve kazanın sebebine göre incelenmiştir.

Tablo 4'te görüldüğü üzere, 2005-2015 yılları arasında İç Anadolu Bölgesi inşaat iş kolunda meydana gelen 27048 adet iş kazasının %48,6'sı Ankara ilinde gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra, Tablo 5'te iş kazası geçiren çalışanların %53,6'sının 14-34 yaş grubunda olduğu görülmektedir.

Tablo 4. İç Anadolu Bölgesi illerine ve il bazında inşaat iş kolunda çalışan sigortalı sayısına göre iş kazası oranı.

Kazanın Yaşandığı Şehir	Çalışan Sigortalı İşçi Sayısı	Toplam İş kazası Sayısı		
		Sayı	%	Birikimli %
Ankara	2126724	13132	48,6	48,6
Konya	329869	3458	12,8	61,3
Kayseri	185022	2943	10,9	72,2
Eskişehir	196222	2700	10,0	82,2
Sivas	136792	1315	4,9	87,1
Kırıkkale	68584	606	2,2	89,3
Yozgat	95161	563	2,1	91,4
Karaman	44569	452	1,7	93,1
Çankırı	52525	430	1,6	94,6
Kırşehir	22048	398	1,5	96,1
Niğde	32477	376	1,4	97,5
Aksaray	25969	345	1,3	98,8
Nevşehir	22664	330	1,2	100,0
Toplam	3338626	27048	100	

Tablo 5. Yaşa göre iş kazası sayıları

Yaş	Toplam İş Kazası	
	Sayı	%
14-17	126	0,5
18-24	5208	19,3
25-34	9147	33,8
35-44	7191	26,6
45-54	4372	16,2
55-64	837	3,1
65+	52	0,2
Belirtilmemiş	115	0,4
TOPLAM	27048	100

2013 yılında iş kazası bildirim formları elektronik ortamda ve ESAW (Avrupa İş Kazası İstatistikleri) standartlarına göre alınmaya başlanmıştır (SGK, 2013). Bu yöntemde, kaza sebepleri 2013 öncesi kayıtlardan farklı sınıflandırmaya sahip olduğundan incelenen iş kazaları Tablo 6-7’de görüldüğü gibi 2005-2012 ve 2013-2015 yılları arası kaza nedenine göre gruplandırılmıştır.

İnşaat sektöründe yaşanan kazaların çoğu kişilerin düşmesi sonucu meydana gelmektedir. Nitekim 2013 öncesi ve sonrası yıllarına ait her iki grup içerisinde en sık yaşanan kaza nedeni %25’lik bir oranla kişilerin düşmesi olayıdır.

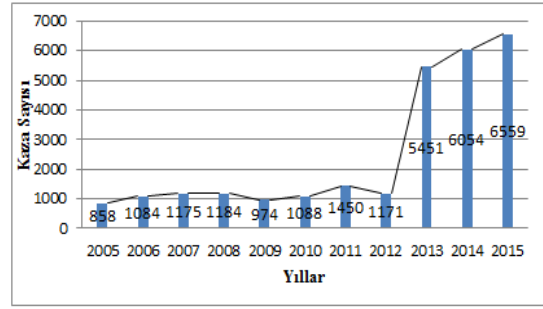
Tablo 6. 2005-2012 yılları kaza sebeplerine göre iş kazası sıklık dağılımı ve gün kaybı

Sıra No	Kaza Sebepleri	Toplam İş Kazası			Toplam İş Günü Kaybı	Ortalama İş Günü Kaybı
		Sayı	%	Birikimli %		
1	Kişilerin düşmesi	2305	25,66	25,66	141504	17688
2	Bir veya birden fazla cismin sıkıştırılması, ezmesi, batması, kesmesi	1738	19,35	45,00	50643	6330,4
3	Makinelerin sebep olduğu kaza	1564	17,41	62,41	42014	5251,8
4	Düşen cisimlerin çarpıp devirmesi	1477	16,44	78,85	47963	5995,4
5	Taşıt Kazaları	667	7,42	86,28	36224	4528
6	Elektrik kazaları	210	2,34	88,61	9314	1164,3
7	Patlama	102	1,14	89,75	3762	470,3
8	Göze veya vücudun doğal boşluklarına yabancı cisim kaçması	57	0,63	90,38	1249	156,1
9	Diğer sebepler	864	9,62	100,00	28741	3592,6
	TOPLAM	8984	100		361414	45176,8

Tablo 7. 2013-2015 yılları kaza sebeplerine göre iş kazası sıklık dağılımı ve gün kaybı

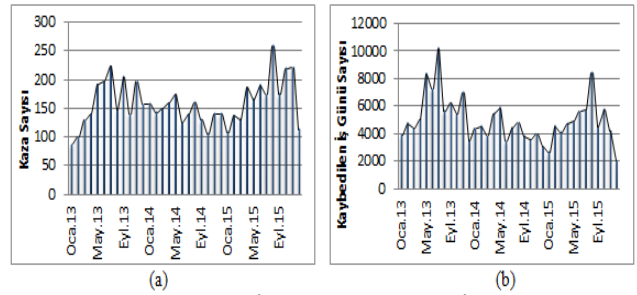
Sıra No	Kaza Sebepleri	Toplam İş Kazası			Toplam İş Günü Kaybı	Ortalama İş Günü Kaybı
		Sayı	%	Birikimli %		
1	Kayma, takılma-düşme, insan düşmesi	4526	25,06	25,06	67567	22522,3
2	Kontrol kaybı	2715	15,03	40,09	27513	9171
3	Maddi araçla ilgili tehlikeler	2158	11,95	52,03	20609	6869,7
4	Herhangi bir fiziki baskı olmadan beden hareketi	1021	5,65	57,68	7701	2567
5	Taşma, devrilme, sızma, buharlaşma, emisyon sapmaları	879	4,87	62,55	8127	2709
6	Fiziksel baskıyla veya fiziki baskı altında beden hareketi	483	2,67	65,22	4525	1508,3
7	Elektrik, patlama, yangın nedenli	469	2,60	67,82	3864	1288
8	Diğer sebepler	5813	32,18	100,00	41270	13756,7
	TOPLAM	18064	100		181176	60392

İç Anadolu Bölgesi inşaat iş kolunda meydana gelen iş kazalarının yıllara göre dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir. Buna göre son 3 yılda kazaların arttığı göze çarpmaktadır.



Şekil 2. 2005-2015 yılları İç Anadolu Bölgesi inşaat iş kolu iş kazası

2005-2012 yılları arasında 8984 iş kazası gerçekleşirken 2013-2015 yıllarında 18064 iş kazasıyla iki katın üzerinde bir artış yaşanmıştır. Bu durum, 20.06.2012 tarihinde yürürlüğe giren 6331 sayılı İş güvenliği Kanunu’nun etkisiyle iş kazası bildirimlerinin artmasına bağlanmaktadır. 2013-2015 yıllarına ait iş günü kayıplı kazalar ve kayıp iş günleri Şekil 3’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3. 2013-2015 yılları (a) İş günü kayıplı kazalar ve (b) İş günü kayıpları

4.2. Risk Modellemesi

2013-2015 yılları arasında İç Anadolu Bölgesi inşaat iş kolundaki toplam kaybın modellenmesinde 5744 iş günü kayıplı kaza işleme alınmıştır. Modellemeye incelenecek değişkenlerin en uygun olasılık dağılımları ve dağılım parametreleri @Risk programıyla belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda ortalamanın etrafında fazla yayılma gösterdiği için kaza sıklığının Negatif Binom, etki derecesinin ise Lognormal dağılım gösterdiği anlaşılmıştır.

Negatif Binom (NB) dağılımı için olasılık kütle fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Montgomery & Runger, 2011).

$$f(x/s,p) = \binom{x-1}{s-1} p^s (1-p)^{x-s} \quad (4)$$

$$x = s, s+1, \dots; 0 < p < 1; s > 0$$

x: “s” kaza meydana gelene kadar geçen kaza sayısı.
s: dağılımın durma parametresi olarak tanımlanan kaza sayısı değeri.

p : verilen zaman aralığında kazanın ortaya çıkma olasılığı, olasılık parametresi.

NB'nin olasılık kütle fonksiyonunda tanımlanan dağılım parametreleri şu şekilde kolayca tahmin edilebilir (Cook, 2009):

$$s \text{ parametre tahmincisi: } \hat{s} = \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2 - \mu} \right) \quad (5)$$

$$p \text{ parametre tahmincisi: } \hat{p} = \frac{\hat{s}}{\hat{s} + \mu} \quad (6)$$

μ : ortalama σ : standart sapma

Dağılım parametrelerinin daha doğru ve tutarlı tahmin edilmesinde en çok olabilirlik (EÇÖ) istatistiksel tahmin yöntemi kullanılır (Crowley, 2012). EÇÖ yönteminde dağılımların olabilirlik ya da log-olabilirlik denkleminin ilgili parametrelere göre kısmi türevleri alınıp fonksiyonu enbüyükleyen dağılım parametre tahmin değerleri elde edilir. Genelde, çözüm kolaylığı sağladığından olabilirlik fonksiyonu yerine log-olabilirlik fonksiyonu enbüyüklenir (Türkiye Bankalar Birliği Çalışma Grubu, 2006).

Denklem (7)'de N rassal örneklem büyüklüğü ve x_i ($i: 1, 2 \dots N$) sıralı örnekler olmak üzere Crowley (2012) tarafından NB dağılım parametrelerinin tahmini için uyarlanmış log-olabilirlik fonksiyonu yer almaktadır. EÇÖ parametre tahmin değerleri, bu log-olabilirlik fonksiyonunun NB dağılım parametreleri s ve p 'ye göre kısmi türevi alınarak elde edilen (8-9)'daki iki eşitlikten bulunabilir. (Crowley, 2012).

$$\ell(x_{1..N}/s, p) = \sum_i \ell(x_i/s, p) = N * s * \ln(p) - N * \ln(\Gamma(s)) + \sum_{i=1}^N \ln(\Gamma(s + x_i)) + x_i * \ln(1 - p) - \ln(\Gamma(x_i + 1)) \quad (7)$$

$$p \text{ parametresi tahmincisi: } \hat{p} = \frac{N * \hat{s}}{N * \hat{s} + \sum_i x_i} \quad (8)$$

$$s \text{ parametresi tahmincisi:} \quad (9)$$

$$\frac{d\ell(x_i/s, p)}{ds} = N * \ln(p) - N * \frac{d}{ds} \ln \Gamma(s) + \sum_{i=1}^N \frac{d}{d(s+x_i)} \ln \Gamma(s + x_i) = 0$$

(Γ : gama fonksiyonu simgesi olup $\Gamma(s) = (n - 1)!$ dir).

EÇÖ yönteminde parametre tahmin değerleri için Eşitlik 9'daki gibi açık çözüm bulunmadığı durumlarda olabilirlik ya da log-olabilirlik denklemleri için bilgisayar programlarından yararlanarak iteratif çözüm yapılır.

Etki derecesi için en uygun olasılık dağılımı olarak belirlenen 3 parametrelili Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekilde yazılabilir (Cohen & Whitten, 1980):

$$f(x/\mu, \sigma, x_0) = \frac{1}{\sigma * (x - x_0) \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{(\ln(x - x_0) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

$$\sigma^2 > 0 \quad x_0 < x < \infty$$

(μ : ölçek, σ : şekil ve x_0 : lokasyon parametreleri).

Lognormal dağılımın ölçek parametresi (μ) dağılımı veren ya da daraltan, şekil parametresi (σ) dağılımın şeklini etkileyen ve lokasyon parametresi (x_0) dağılımın x-eksenindeki başlangıç noktasının konumunu tanımlayan değerlerdir.

Cohen ve Whitten (1980) çalışmalarında 3 parametrelili Lognormal dağılım parametre tahmini için uyarlanmış en çok olabilirlik tahmin yöntemini ele almışlardır. N rassal örneklem büyüklüğü ve $x_i: x_{1..N}$ sıralı örnekler olmak üzere Eşitlik (11)'de verilen lognormal dağılımın log-olabilirlik fonksiyonunun dağılımın parametreleri olan μ, σ^2 ve x_0 a göre sırasıyla kısmi türevleri alınarak dağılım parametre tahmincileri bulunur.

$$\ell(x_{1..N}/\mu, \sigma, x_0) = -(N/2) * \ln(2\pi\sigma^2) - \sum_{i=1}^N \ln(x_i - x_0) - \frac{\sum_{i=1}^N \ln(x_i - x_0)^2}{2\sigma^2} + \frac{\sum_{i=1}^N \ln(x_i - x_0)\mu}{\sigma^2} - \frac{N * \mu^2}{2\sigma^2} \quad (11)$$

Elde edilen 3 parametrelili Lognormal dağılımı tahmincileri eşitlik 12-14'de aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Cohen & Whitten, 1980):

$$\hat{\mu} = (1/N) * \sum_1^N \ln(x_i - \hat{x}_0) \quad (12)$$

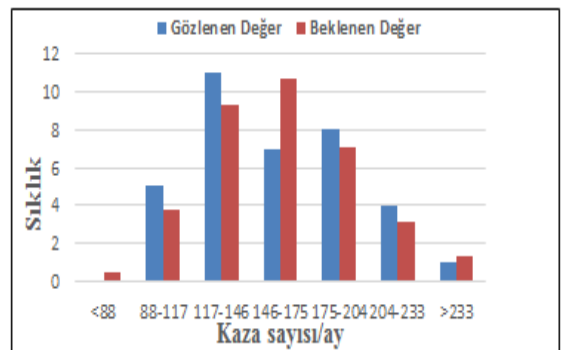
$$\hat{\sigma}^2 = \left(\frac{1}{N} \right) * \sum_1^N \ln^2(x_i - \hat{x}_0) - \left[\left(\frac{1}{N} \right) \sum_1^N \ln(x_i - \hat{x}_0) \right]^2 \quad (13)$$

$$\theta(x_0) = \ln(x_i - x_0) - \left(\frac{1}{N} \right) \sum_1^N \ln(x_i - x_0) - \Phi^{-1} \left[\frac{r}{N+1} \right] * \left(\left(\frac{1}{N} \right) \sum_1^N \ln^2(x_i - x_0) - \left[\left(\frac{1}{N} \right) \sum_1^N \ln(x_i - x_0) \right]^2 \right)^{1/2} = 0 \quad (14)$$

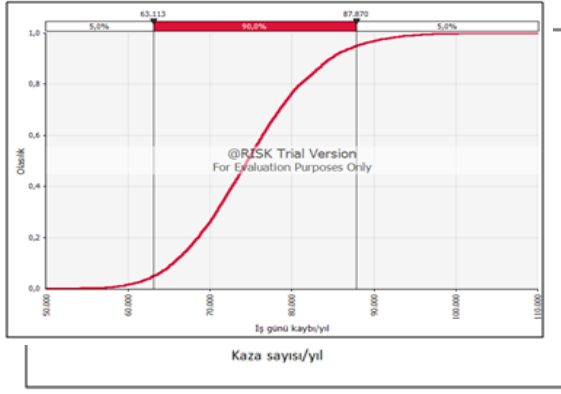
Φ : standart normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonu.
 r : sıralı istatistik indeksi.

Lokasyon parametresi x_0 değerinin tahmininde açık çözüm bulunmadığı için $\theta(x_0)$ kısmi türev denklemi iteratif olarak çözülür.

Kaza sıklığı ve etki derecesi için olasılık dağılımlarının sonuç grafikleri Şekil 4 - 6'da verilmiştir. @Risk programının hesapladığı Ki-Kare (χ^2) uyum iyiliği test değerine göre veriler için en uygun dağılımlar tespit



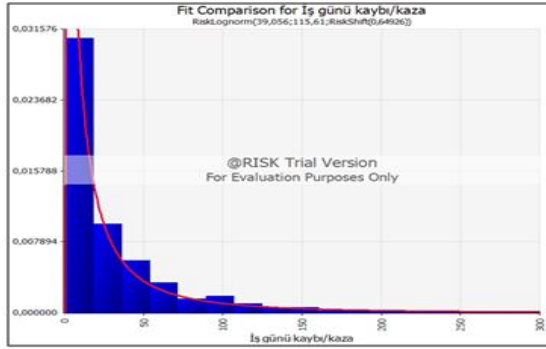
edilmiştir.



Şekil 4- Aylık kaza sayısı dağılımı

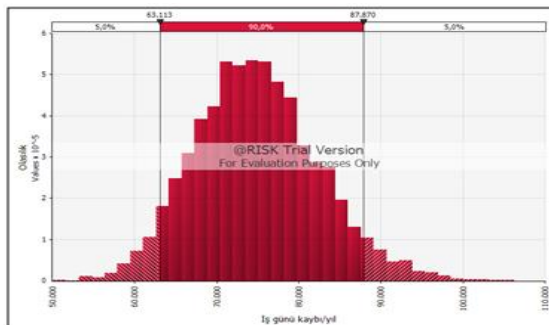
Şekil 5- Yıllık kaza sayısı olasılık dağılımı

@Risk programında kaza sayıları için χ^2 değeri 3,054 olarak hesaplanmış olup aylık kaza sayısı için ($s:20$; $p:0,1114$) ve yıllık kaza sayısı için ($s:192$; $p:0,09114$) olarak dağılım parametreleri tahmin edilmiştir. Kaza kaynaklı iş günü kayıpları oldukça geniş bir aralıkta değerler almaktadır. Etki derecesi dağılımı parametre değerleri @Risk'te ($\mu=39,056$; $\sigma=115,61$; $x_0=0,649$) olarak tahmin edilmiştir. χ^2 değeri ise 2,11'dir.



Şekil 6- Etki derecesi için olasılık dağılımı

Risk değerlendirmesinde toplam kaybın ölçülebilmesi için kaza görülme sıklığı ile etki derecesinin birlikte ele alınması gerekir. Bundan dolayı benzetim ile sıklık ve etki derecesi dağılımları birleştirilmiş olup 5000 iterasyon sonrası bulunan yıllık toplam kayıp dağılımı Şekil 7'de gösterildiği gibidir. Toplam dağılımın ortalaması olan 74,780 gün ise beklenen kayıp değerini göstermektedir.



Şekil 7- Toplam kayıp dağılımı

Şekil 8- Birikimli olasılık dağılımı

Risk seviyelerinin saptanması adına oluşturulan yıllık toplam kaybın artan birikimli olasılık dağılımı Şekil 8'de yer almaktadır.

Tablo 8- 2013-2015 yılları için risk seviyesi tayini

Risk Seviyesi	Birikimli Olasılık	İş Günü Kaybı
Kabul Edilemez	0,750-1	79629+
Çok Yüksek	0,5625-0,750	75683-79629
Yüksek	0,375-0,5625	72178-75683
Orta	0,250-0,375	69715-72178
Düşük	0,125-0,250	66316-69715
Çok Düşük	0-0,125	0-66316

4.3. Kaza ve Birikimli Risk Fonksiyonları

Bu bölümde 2013-2015 yıllarına ait iş günü kaybı olmayan kazalar ve en önemli kaza sebepleri olarak %50'lik dilime giren kişilerin düşmesi, bir makinenin, taşıma aracının veya işleme ekipmanının, elle kullanılan alet, nesne ve hayvanın kontrol kaybı ve maddi aracın kırılma, patlama, ayrılma, kayma, düşme ve çökmesi ile ilgili tehlikeler araştırmaya dâhil edilmiştir.

Bütün kazalar ve en önemli kaza nedenleri için kazalar arası süreler 3 parametrelili Weibull dağılıma uymaktadır. Ayrıca, kaza sıklıkları Negatif Binom dağılıma uygun olup seçilen dağılımların kaza oranı ve birikimli risk fonksiyonlarını hesaplamada kullanılan bağıntıları detaylı olarak Tablo 9'da sunulmuştur. Weibull dağılımın parametreleri şekil, ölçek ve konum parametreleri olarak lognormal dağılım parametreleri ile benzer şekilde adlandırılmaktadır (Teimouri & Gupta, 2013). Şekil parametresi (β) olasılık dağılım grafiğindeki doğrunun eğim değeridir ve $\beta > 1$ artan kaza hızını ifade etmektedir. Bununla birlikte, ölçek parametresi (η) değeri olasılık dağılım grafiğinin yüksekliğinin x-eksenindeki değişimini, konum parametresi (γ) ise dağılımın ve ilgili fonksiyonun x-eksenindeki başlangıç zaman değerini belirtmektedir ($\gamma = 0$ ise dağılım t=0 zamandan ya da orijinden, başlamaktadır).

Tablo 9. En uygun dağılım fonksiyonları ve parametre tahminçileri

En Uygun Dağılımlar	Fonksiyonlar
3 parametrelili Weibull Olasılık yoğunluk ve kaza oranı fonksiyonları (Teimouri & Gupta, 2013)	Olasılık yoğunluk fonksiyonu: $f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ (15) x : kazalar arası süre $x \geq 0$ β : şekil η :ölçek γ :konum parametreleri Kaza oranı fonksiyonu: $h(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$ (16)
3 parametrelili Weibull Parametre tahmin denklemleri (Cohen & Whitten, 1982; Akram & Hayat, 2013)	Log-olabilirlik fonksiyonu; $\ell(x_{1..N} / \beta, \eta, \gamma) = N \ln(\beta) - N \beta \ln(\eta) + (\beta - 1) \sum_{i=1}^N \ln(x_i - \gamma) - \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \gamma}{\eta}\right)^\beta$ (17) x_i ($i: 1, 2, \dots, N$) sıralı örnekler Cohen ve Whitten (1982) çalışmalarında (17) nolu denklemde verilen fonksiyonu enbüyüklemek için (18) nolu kısıt altında geliştirdikleri hesaplama prosedürüne değinmişlerdir. $-\ln\left(\frac{N}{N+1}\right) = \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta$ (18)
Negatif Binom (Vose,2008)	Kümülatif azalan dağılım fonksiyonu: $F(x; s, p) = \Pr(X \geq x) = 1 - \sum_{i=0}^{x-1} \binom{s+i-1}{i} p^i (1-p)^s$ (19) Parametre tahmini (Bkz. Eşitlik(7), (8) ve (9)).

İnşaat işkolunda iki kaza arasında geçen ortalama süre yaklaşık 0,06 gündür. Tablo 10’da bütün kazalar ve en önemli kaza türleri için Eşitlik 7-9 kullanılarak Negatif Binom ve Eşitlik 17-18 ile Weibull dağılımlarının tahmin edilen parametre değerleri sunulmuştur.

Tablo 10. Tehlikelerin dağılım parametreler

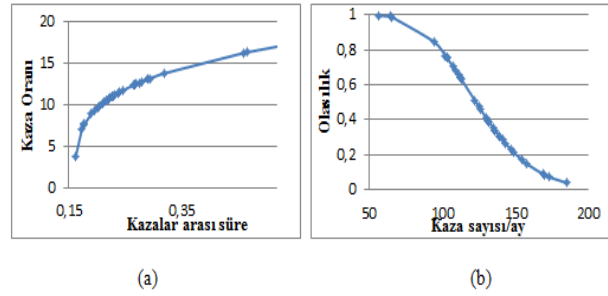
Sıra No	Kaza Sebepleri	Dağılım parametreleri				
		Weibull			Negatif Binom	
		Şekil	Ölçek	Konum	Durma	Olasılık
1	Kişilerin düşmesi	1,257	0,102	0,161	19	0,13129
2	Kontrol kaybı	0,91	0,157	0,28	16	0,176
3	Maddi araçla ilgili tehlikeler	1,12	0,245	0,322	13	0,178
	Bütün kazalar	1,349	0,0242	0,042	20	0,03833

Kaza oranı fonksiyonları, literatürde tehlike oranı/hızı fonksiyonları olarak tanımlanmakta olup güvenilirlik uygulamalarında zaman içerisinde herhangi bir noktada tehlikelerin anlık meydana gelme oranını tanımlar (Braun & Zwick,1993). Kümülatif azalan risk fonksiyonu ise her ay x-ekseni değerine eşit ya da daha fazla kaza meydana gelme olasılığını belirtmektedir (Vose,2008). Kümülatif azalan risk fonksiyonu ile elde edilen birim zamanda belli sayıdaki kazaların aşılma olasılığı kazaların tekrarlanma durumunun iyi bir ölçüsüdür ve bu ölçü farklı kaza/tehlike türlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasına imkân vermektedir (Khanzode vd., 2011).

Weibull dağılımının tahmin edilen parametre değerleri Eşitlik 16’daki kaza oranı fonksiyonuna ve Negatif Binom dağılımının tahmin edilen parametre değerleri ise Eşitlik 19’daki kümülatif azalan risk fonksiyonuna dâhil edilerek oluşturulan kaza oran ve birikimli risk fonksiyonları Tablo 11’de gösterilmiştir. Şekil 9’da kişilerin düşmesi tehlikesi için meydana gelen kazaların gün geçtikçe artan bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı şekilde tüm kaza/tehlike türleri için ilgili fonksiyonların hesaplanarak karşılaştırmaların yapılması mümkündür.

Tablo 11. Kaza oranı ve Birikimli risk fonksiyonu

Tehlike Türü	Kaza Oranı Fonksiyonu	Birikimli Risk Fonksiyonu
Kişilerin düşmesi	$22,144x(t-0,1611)^{0,2576}$	$1 - \sum_{i=0}^x \binom{18+i}{18} x 1,76x10^{-17} x(0,86871)^i$
Kontrol kaybı	$4,89x(t-0,2778)^{0,91}$	$1 - \sum_{i=0}^x \binom{15+i}{15} x 8,17x10^{-13} x(0,8244)^i$
Maddi araçla ilgili tehlikeler	$5,29x(t-0,3216)^{0,1103}$	$1 - \sum_{i=0}^x \binom{12+i}{12} x 1,83x10^{-10} x(0,82178)^i$
Bütün kazalar	$205,37x(t-0,042)^{0,349}$	$1 - \sum_{i=0}^x \binom{19+i}{19} x 4,68x10^{-29} x(0,96167)^i$



Şekil 9. Kişilerin düşmesi tehlikesi (a) Kaza oranı fonksiyonu ve (b) Kümülatif risk fonksiyonu

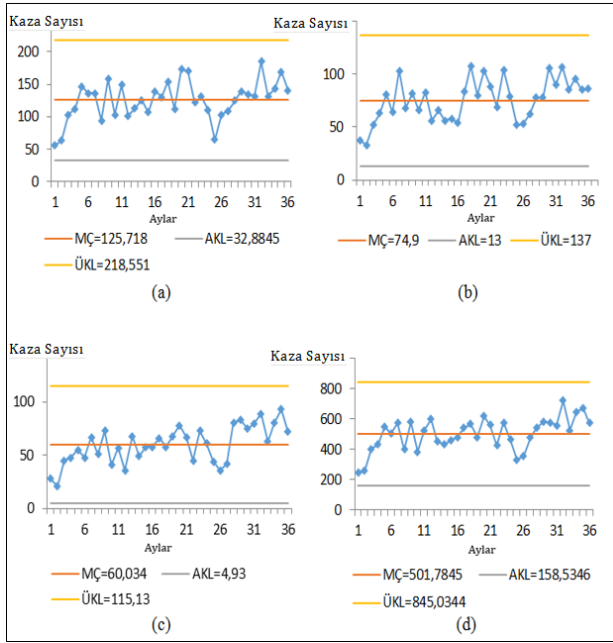
4.4. Kontrol Grafikleri

Bu çalışma da bütün kazalar ve en önemli kaza nedenleri için 2013-2015 yılların ait kaza sayıları izlenecek değişkenler olarak seçilerek Negatif Binom dağılımının parametrelerine göre Shewhart kontrol grafikleri oluşturulmuştur.

Negatif Binom dağılıma bağlı olarak oluşturulan kontrol grafikleri limitleri aşağıdaki matematiksel eşitliklerle hesaplanmıştır (Yun & Youlin, 1996):

$$M\check{C}: \mu = \frac{s(1-p)}{p} \tag{20}$$

$$\check{U}KL-AKL: \frac{s(1-p)}{p} \pm k \sqrt{\frac{s(1-p)}{p^2}} \tag{21}$$



Şekil 10. (a) Kişilerin düşmesi, (b) Kontrol kaybı, (c) Maddi araçla ilgili tehlike ve (d) Tüm kazalar için kontrol grafikleri

Şekil 10'daki (a), (b), (c) ve (d) grafikleri incelendiğinde, ilk bakışta $\pm 3\sigma$ sınırları dışında herhangi bir noktanın olmadığı dolayısıyla sistemin kontrol altında olduğu fikrine varılabilir. Bununla birlikte, bu noktaların tamamı kontrol limitleri arasında olsa bile gösterdikleri sistematik eğilimlerin ele alınması önemlidir. Tüm kazaların kontrol grafiğinde ilk üç ardışık noktadan ikisi -2σ ve -3σ limitleri arasında, maddi araçla ilgili tehlikelerde 28.örnekten 32.örneğe dört nokta $\pm 1\sigma$ sınırları dışında ve kişilerin düşmesinde 29.örnekten, diğer grafiklerde ise 28.örnekten itibaren merkez çizgisinin bir yanında sıralanmış ardışık sekiz nokta yer almaktadır. Ayrıca, kontrol kaybı tehlike grafiğinde 4.örnekten 17.örneğe bir artış bir azalış gösteren on dört noktanın, tüm kazalarda 13. örnekten 18.örneğe sürekli yükselen ya da düşüş gösteren altı noktanın ve kişilerin düşmesi ve tüm kazalar için 3.örnekten 17.örneğe $\pm 1\sigma$ sınırları arasında ardışık on beş noktanın olduğu saptanmıştır.

Genel olarak kontrol grafiklerine göre, kaza sayıları kontrol altındaymış gibi görülmesine rağmen, artan eğilimin varlığı, sürecin belli bir zaman sonunda kontrol dışına çıkacağına göstergesidir. Ayrıca "kontrol kaybı" kazasının Nisan-Kasım ayları arasında belirgin bir artış göstermesi, diğer aylarda azalmasının sebebi olarak da, bahsedilen aylarda inşaat sektörünün canlanması ve kaza sayılarında artış meydana gelmesine işaret etmektedir. Bu durumda süreç rassal olarak bir davranış sergilememekte, aylara göre artış göstermektedir. Bu nedenle, kontrol kaybı ile ilgili iş kazası sayıları için, süreç kontrol altında değildir denilebilir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Ülkemizde yaşanan iş kazaları ve ölüm oranları açısından inşaat sektörü gelişmiş ülkelere göre daha riskli seviyededir. Maddi ve manevi birçok kayba sebebiyet verdiği için iş kaza verilerinin daha ayrıntılı tutulması, etkin metotlarla analiz edilmesi ve sonuçlarının doğru değerlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesi İnşaat iş kolunda meydana gelen kaza verilerinin olasılık dağılımlarıyla modellenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, kaza riskini oluşturan kaza sıklığı ve etki derecesi etmenleri birlikte ele alınarak kaza risk analizi yapılmıştır. Ayrıca, oluşturulan kaza oranı ve risk fonksiyonlarıyla en önemli kaza nedenlerini de içerecek şekilde kaza verilerinin nasıl bir seyir izlediği anlaşılmış, inşaat sektöründe çalışan işçilerin güvenliğini artırmaya yönelik süreci kontrol altında tutmak ve gerekli önlem planını zamanında almak için de veriler istatistiksel süreç kontrol grafikleriyle izlenmiştir.

Bu çalışma da İç Anadolu Bölgesi inşaat işyerlerinde ortaya çıkan kaza ve kaza kaynaklı iş günü kaybı sayılarının 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun yürürlüğe girmesinden sonraki üç yılda arttığı saptanmıştır. Bu durum, Kanun ile diğer ilgili mevzuat çerçevesinde getirilen zorunluluk ve yaptırımların kaza bildirim sayısında artış yaşanmasına bağlanmaktadır. Bununla birlikte kayıt dışı istihdamdaki iş kazası vakaları da göz önüne alındığında yaşanan kazaların daha büyük sayıda olduğu sonucuna varılabilir. Gelişmiş ülkelere göre ülkemizin inşaat iş güvenliği performansının artırılması ve iş kazalarının ve olumsuz sonuçlarının azaltılması iş sağlığı ve güvenliği alanında daha etkin önlemlerin alınmasını, çalışanların iş güvenliği kurallarına uymalarının sağlanmasını, ilgili alanda yapılan yatırımların artırılmasını ve çalışmaların daha kontrollü bir şekilde yürütülmesini gerektirmektedir.

Bu çalışma, aynı zamanda işverenlerin ve iş güvenliği uzmanlarının işyerlerindeki kaza tutanaklarında yer alan kaza verilerini kendilerinin kolayca değerlendirmesine imkan veren bir analiz örneği sunmuştur. Bu konuda yapılacak gelecek çalışmalarda zaman serileriyle ileriye dönük tahminler yapılabilir, kaza olasılığı ve riskini belirlemede bulanık mantık modeli geliştirilebilir ve işyerlerinde uygulanan iş sağlığı ve güvenliği planları bu sonuçlara göre revize edilebilir.

Teşekkür

Yazarlar, araştırmanın uygulama kısmı için veri sağlayan Sosyal Güvenlik Kurumu ve Aktüerya ve Fon İşleri Daire Başkanlığı'na teşekkür eder.

Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Akram, M., Hayat, A. 2013. Comparison of estimators of the Weibull Distributions. Financial Econometrics Series. SWP 2012/04, Deakin University.
- Baradan, S., Akboğa, Ö., Çetinkaya, U., Usmen M.A., 2016. Ege Bölgesindeki İnşaat İş Kazalarının Sıklık ve Çapraz Tablolama Analizleri. İMO Teknik Dergi, 7345-7370.
- Boden, L.I., Biddle, E.A., Spieler, E.A., 2001. Social and Economic Impacts of Workplace Illness and Injury: Current and Future Directions for Research. American Journal of Industrial Medicine, 40,398-402.
- Braun, H.I, Zwick, R., 1993. Empirical Bayes Analysis of Families of Survival Curves: Applications to the Analysis of Degree Attainment. Program Statistics Research. Technical Report No. 93-33, ETS Research Report Series.
- Cohen, A.C., Whitten, B.J., 1980. Estimation in the Three-Parameter Lognormal Distribution. Journal of the American Statistical Society, 75,399-404.
- Cohen, A.C., Whitten, B.J., 1982. Modified maximum likelihood and modified moment estimators for the three-parameter weibull distribution. Communications in Statistics-Theory and Methods, 11(23),2631-2656.
- Coleman, P.J., Kerkering, J.C., 2007. Measuring mining safety with injury statistics: Lost workdays as indicators of risk. Journal of Safety Research, 38(5), 523-533.
- Cook, J.D., 2009. Notes on the Negative Binomial Distribution. http://www.johndcook.com/negative_binomial.pdf (Erişim Tarihi: 20.06.2016).
- Crowley, S., 2012. Maximum likelihood estimation of the negative binomial distribution. <http://vixra.org/pdf/1211.0113v1.pdf> (Erişim Tarihi: 20.07.2016).
- Duzgun, H.S.B., Einstein H.H., 2004. Assessment and Management of Roof fall Risks in Underground Coal Mines. Safety Science, 42(1),23 – 41.
- Goetsch, D.L., 2008. Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers. Pearson Prentice Hall, 6th edition.
- Hanayasu, S. 1983. Stochastic Analysis of Accidents and of Safety Problems. IABSE reports, 17-29.
- International Labour Organization (ILO), Safety and health at work. <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm> (Erişim Tarihi: 01.06.2016).
- International Labour Organization (ILO), 2015. Databases and subjects: labour force by sex and age-2015” http://www.ilo.org/ilostat/faces/help_home/dat_a_by_subject?_afLoop=307455910548239&_adf.ctrl-state=qgp69eb6u_280. (Erişim Tarihi: 20.07.2016).
- Khanzode, V.V., Maiti, J., Ray, P.K., 2011. A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. Safety Science, 49,1172-1179.
- Linacre, S., 2007. Australian social trends 2007. Australian Bureau of Statistics, ABS catalogue no. 4102.
- Liu, H.-T., Tsai, Y.-L., 2012. A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. Safety Science. 50,1067-1078.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C. 2011. Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, Inc. 5th edition.
- Öcal, M.E., 2006. İnşaat Sektöründe Görülen İş Kazaları. İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Adana.
- Sadullah, Ö., 1997. İş kazası istatistikleri ve olay oranı. İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, 26,109-113.
- Sari, M., 2002. Risk assessment approach on underground coal mine safety analysis. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Sari, M., Selçuk, A.S., Karpuz, C., Duzgun, H.S.B., 2009. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey. Safety Science, 47,78-87.
- Schuh, A., Camelio, J.A., Woodall W.H., 2014. Control charts for accident frequency: a motivation for real-time occupational safety monitoring. International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 21(2),154-162.
- SGK, 2013. SGK İstatistik Yıllıkları. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari (Erişim Tarihi: 20.07.2016).
- SGK, 2014. SGK İstatistik Yıllıkları. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari (Erişim Tarihi: 20.07.2016).
- Şirin, Ç., 2015. Toplam inşaat üretiminin ölümlü iş kazasına oranı (2011/2012).

<http://www.businessht.com.tr/piyasalar/haber/1077871-6-grafikte-is-guvenligi> (Erişim Tarihi: 20.07.2016).

Türkiye Bankalar Birliği (TBB) Çalışma Grubu, 2006. Operasyonel Risk İleri Ölçüm Modelleri. TBB Bankacılar Dergisi, 58,122-152.

Teimouri, M., Gupta, A.K., 2013. On the Three-Parameter Weibull Distribution Shape Parameter Estimation. Journal of Data Science, 11, 403-414.

Ural, S., Öcal, M.E., Atılğan, H., Kaya, A., 2007. İnşaat işlerinde iş güvenliği açısından risk değerlendirmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Ankara.

Üçüncü, K., 2015. 2014 Yılı SGK İş Kazası İstatistiklerinin Analizi. <http://www.isteguvenlik.tc/2014%20SGK%20Analiz.pdf> (Erişim Tarihi: 20.07.2016).

Vose, D., 2008. Risk Analysis: a quantitative guide. 3rd edition. Wiley&Sons, Ltd.

Yılmaz, F., 2014. Analysis of Occupational Accidents in Construction Sector in Turkey. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 1(5), 421-428.

Yun, M., Youlin, Z., 1996. Q control charts for negative binomial distribution. Computers Ind. Engineering, 31(3),813-816.