

# Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi

Gürkan Emre GÜRCANLI\*, Uğur MÜNGEN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada bulanık kümeler yardımıyla inşaat şantiyelerine özgü bir risk analiz modeli geliştirilmiştir. Türkiye ve dünyada iş güvenliğine ilişkin istatistikler ve güncel durum gözönüne serilmiş, iş güvenliği yönetim sistemleri incelenmiş, bu sistemlerin ayrılmaz bir bileşeni haline gelen risk analizi ve tehlike değerlendirme teknikleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmış ve inşaat sektörü için uygun bir risk analizi modeli için gerek literatür gerekse de saha araştırması yapılmıştır. Toplam 5239 iş kazası ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, 58 şantiyedeki iş güvenliği uygulamaları sahada araştırılmış ve model bir tünel şantiyesinde uygulanmıştır. Kaza Olabilirliği parametresinin bulunmasında, iş kazası dosyaları incelenerek, her şantiyede her tipte kazanın hangi yüzde ile gerçekleştiğinden hareketle elde edilen sayısal veriler, bulanık kümeler yardımıyla sözel ifadelerle çevrilmiştir. Güvenlik Düzeyi parametresi için ise her kaza tipi için alınması gereken önlemlerin ayrı ayrı sınıflandırıldığı ve uzmanlarca ikili karşılaştırmalar yoluyla farklı ağırlıklar verilen yeni bir kontrol listesi kullanılmıştır. Bu kontrol listesindeki her maddenin ağırlığını saptamak amacıyla Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmış, kontrol listesi 1-10 arası bir ölçekte kontrol yapan uzmanların, her iş güvenliği önlemine evet/hayır veya 0/1 vermesi yerine bir puan vermesine dayanmıştır. Kaza Şiddeti parametresi için ise, 1-5 arası ölçekte şiddet tanımları yapılmış, deneyimli uzmanların görüşleri ile sayısal ifadeler oluşturulmuş, sonrasında sözel ifadelerle çevrilmiştir. Yöntemin üç parametresi bulanık kural tabanlı sistemin girdileri olarak kullanılmış ve her kaza tipi için çıktı parametresi Risk Düzeyi bulanık çıkarım ve harmanlama yöntemi ile bulunmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** İş güvenliği, risk analizi, bulanık kümeler, kaza şiddeti.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Gürkan Emre GÜRCANLI. egurcanli@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 36 52.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "İnşaat şantiyelerinde bulanık kümeler yardımıyla iş güvenliği risk analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.01.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 13.03.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## A new occupational safety risk analysis method using fuzzy sets

### Extended abstract

Figures of the occupational accidents and the related fatalities and injuries reached an alerting level in Turkey as well as in the world. Especially in the construction industry, the working environment not conforming to safety rules and other elements leads to thousands of fatal or non-fatal injuries in each year. One of the common characteristic of the commonly implemented management systems is emphasizing the importance of the hazard assessment and risk analysis. In this study, an approach for risk analysis for occupational safety on construction sites with a fuzzy rule-based safety analysis is recommended to deal with the uncertainty and insufficient data.

By this approach, historical accident data in the industry, subjective judgments of the experts and the current safety level of a construction site can be combined by the utilization of fuzzy rule based system. In the scope of the study, records were taken from the Social Insurance Institution (SII) General Directory archives in Ankara and 4347 of them occurred on construction sites. In addition to 4347 files, 892 court expert reports which are submitted to criminal and labour courts were examined thoroughly. The likelihood of each particular cause of accident differs for different types of construction work.

In the approach presented in this study, accident likelihood and fuzzy set definition of each cause of accident were defined according to the construction work. By the combination of subjective judgement and gathered data, the linguistic variables were employed to develop fuzzy membership functions for accident likelihood. The Accident Likelihood (AL) is one of the main parameters used to assess the Risk Level (RL) of a construction site. The second parameter is the Current Safety Level (CSL) and it needs to be defined as fuzzy sets.

Firstly acquisition of safety measures to be taken and ranking of their importance were accomplished. A new kind of checklist was prepared to assist those employers and employees who seek to comply with the rules and regulations of the International Labour Organization and current safety legislation in Tur-

key. While the checklist prepared according to the boolean approach asks "is the scaffolding safe?" for example, the approach presented in this paper asks "how safe is the scaffolding?". Using this checklist an expert can evaluate an item related to site safety, by a scale between 1 and 10. All the safety measures for each accident cause were weighted by experts.

In this research, the pair wise comparison method and Analytical Hierarchy Process were utilized. To define the Consequent Severity variable, a literature research was done and it was derived that despite the fact that many different approaches exist, 1-5 or 1-10 scale are commonly utilized to assess the consequences of the occupational accidents. However, the subjective judgment of the experts is also required here because the objective data extremely rare or insufficient in Turkey. The most common nine type of occupational accidents and unclassified accidents defined as "other types" are assessed by the experts using 0-100 scale. The accident severity is defined as five different linguistic terms from minor to catastrophic and the averages of the scores given by the experts for each type of accident put forward the fuzzy definition of Consequent Severity.

In practical implication of the safety measures, the fuzziness of the antecedents eliminates the need for a precise match with the inputs. All the rules that have any truth in their premises will contribute to the fuzzy risk level expression. Risk Level, combined by matching them against rules in a rule base system, was evaluated with Mamdani-type inference system and then defuzzified to assess the hazard level of the job site. In this study, the aim was to find the risk level of a construction site and five linguistic variables (very safe, safe, slightly risky, risky and extremely risky) were used to describe the performance and the risky atmosphere of the site. The output set also was defined using fuzzy Risk Level (RL) sets as in the same ways the fuzzy inputs were defined.

In the last part of the study, the outcomes and contribution to the science were discussed and some recommendations were put forward. The model presented was constructed by performing a broad literature research and field study and it is thought that it will satisfy some urgent demands of the construction industry.

**Keywords:** Occupational safety, risk analysis, fuzzy sets, accident severity.

## **Giriş**

İş kazaları ve buna bağlı ölüm ve yaralanmalar, yalnızca ülkemizde değil, dünyada da ürkütücü boyutlardadır. Türkiye ve dünyadaki sayısal veriler incelendiğinde, sanki tüm dünyada bir savaşın hüküm sürdüğü ve bu savaşın sürekli olarak can ve mal kaybına neden olduğu izlenimi edinmek oldukça kolaydır. Bir savaş tanımı yapılırsa bunun iki çarpışan tarafının olması gerekir. Ancak bakıldığında tüm dünyada daha hızlı teknolojiler kullanmaya, emeğin verimliliğini maksimize etmeye ve kârları ve kâr oranlarını arttırmaya çalışan firmaların karşısında, bu gidişatın olumsuz koşullarına karşı mücadele eden bir özne bulunmamaktadır. Özellikle inşaat sektörü de düşünüldüğünde, göçmen ve çocuk işçi çalıştırma, eğitimsiz iş gücü, sigortasız ve kural-sız çalışma ortamı, ergonomik olmayan ve iş güvenliğine uygun tasarlanmayan teknolojiler her yıl binlerce cana mal olmaktadır. Tüm bu koşullarda dünyada değişen koşullarla birlikte, devletin çalışma yaşamındaki denetim fonksiyonunun en aza indirilmesi, değişen iş yasaları ve iş güvenliği mevzuatı var olan kural-sız ortama katkıda bulunmaktadır. İş kazalarının maddi kayıpları ise öyle bir boyuta ulaşmıştır ki, İngiltere’de yapılan bir çalışmaya göre proje bedelinin %8.5’luk kısmı iş kazaları ve meslek hastalıkları kaynaklı ölüm, yaralanma, iş günü kaybı, sigorta ve sağlık masraflarına ayrılmak zorunda kalmaktadır. Bu çalışmayı 15 AB ülkesini kapsayan coğrafyaya yansıttığımızda 902 milyar euro ciroluk bir boyuta ulaşan inşaat sektöründe, 75 milyar euronun iş kazaları ve meslek hastalıkları kaynaklı giderlere harcadığı gerçeği açığa çıkmaktadır (HSE, 1997).

Dünyada giderek daha fazla kullanılan iş güvenliği yönetim sistemlerinin çıkış noktası, iş güvenliği ve sağlığı konusunda bir belgelendirme ve standardizasyona duyulan gereksinimdir. Firmaları iş güvenliği ve sağlığı konusunda yapmaları gereken yönetsel başlıklarda belli bir standarda ulaştırmak ve bu standard üzerinden firmaların iş güvenliği yönetimini değerlendirmek amacıyla hazırlanan sistemlerin en fazla öne çıkanı OHSAS 18001 Yönetim sistemleridir. İnşaat sektöründe giderek daha fazla tanınmaya ve bir gereklilik olarak kendini dayatmaya

başlayan bu ve benzeri sistemlerin en temel özelliklerinden biri tehlike değerlendirme ve risk analizi başlıklarını işletmelerde zorunlu kılmalarıdır. Yeni yürürlüğe giren iş güvenliği yönetmeliklerinde de risk analizine vurgu yapılmaktadır.

Şantiyelerdeki tehlikelerin ve risklerin belirlenmesinden önce tehlike ve risk kavramlarını açmak ve aralarındaki farklardan söz etmek anlamlı olacaktır. Riskler kişisel, çevresel, yapılan işin niteliğinden kaynaklı olabilir, kimi zaman iyi kimi zaman ise yetersiz bir şekilde nicelleştirilebilir. Riskin doğası ve kişinin risk üzerindeki denetimi, riskin kavranışını da değiştirecektir. En genel tanımıyla tehlike, zarara veya yaralanmaya doğal olarak neden olma potansiyeli barındıran herhangi bir şey olarak tanımlanırken, risk ise bir tehlikeden kaynaklanacak olan zarar veya yaralanmanın olasılığı olarak tanımlanabilir. Tehlike ve Risk değerlendirme için farklı farklı teknikler bulunmaktadır. (Dizdar, 2000) Ciddi bir yaralanma veya ölümcül hastalık potansiyelinin bulunduğu durumlarda, Tehlike ve Risk Değerlendirme Tekniklerinden biri veya birkaçı kullanılabilir. Hangi yöntemle çalışılacağına olay ve tesisin türüne ve işleyişine göre o yönteme ait kriterler incelenerek karar verilir. Bazı durumlarda seçilen bir yöntemle çalışılırken bir başka yöntemden de faydalanılabilir (Kirwan, 1992; Goetsch, 1993). Günümüzde sıkça kullanılan Tehlike Değerlendirme Tekniklerinin büyük bir kısmının doğrudan inşaat sektöründe uygulanması son derece zordur. Bu konuda pek çok kaynak olup, ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojilerine ilişkin pek çok çalışma mevcut olup, en kapsamlısı, yeni mevzuatı da kapsayacak şekilde Özkılıç (2005) tarafından hazırlanmıştır. Ancak tehlike ve risk değerlendirme yöntemleri incelendiğinde, inşaat sektörüne dair kolay, uygulanabilir, şantiyelerin değişen ve birbirinden farklı yapısına uyum sağlayan, belirsizliklerden kaynaklanan dezavantajları bertaraf eden bir yöntem kendini dayatmaktadır. Bu yöntem imalat sanayiinden pek çok açıdan ayrılan inşaat sektörünün özgünlüklerini hesaba katmalı ve uygulamacılar açısından kolay anlaşılır ve kullanılabilir olmalıdır.

## Çalışma yöntemi

Çalışmada kullanılan yöntemi üç ana başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar;

- Saha araştırması
- Saha araştırması ve uzman görüşleri ile girdi parametrelerinin oluşturulması
- Bulanık kural tabanlı sistemin kurulması
- Yöntemin bir inşaat şantiyesinde uygulanması

## Saha araştırması

Gerçekleştirilen saha araştırmasında, yaklaşık 35 yıllık kaza istatistiklerinden (4347 kaza dosyası) ve ceza-iş mahkemelerine sunulan 892 bilirkişi dosyasından yararlanılmıştır. Bu çalışma sonucunda gerçekleşen iş kazaları ölüm ve yaralanmalar şeklinde iki ana başlıkta incelenmiş, kaza tipleri, şantiye türleri, kazaya uğrayanın ünvanı gibi temel sınıflandırmalar yapılmıştır. Ayrıca ilgili standart ve düzenlemeler ayrıntılı bir şekilde incelenmek suretiyle, risk analizine ilişkin yapılan tanım ve değerlendirmeler ele alınmıştır. Ayrıca 58 inşaat şantiyesinde gerçekleştirilen iş güvenliği performans anketleri ile sektörün hangi açılardan eksiklikler taşıdığı ve nasıl bir risk analizi yönteminin en etkin bir şekilde uygulanabileceği saptanmıştır.

## Saha araştırması ve uzman görüşleri ile girdi parametrelerinin oluşturulması

Şantiyelerdeki risk analizi yönteminde, bulanık kural tabanlı sistemde kullanılacak parametrelerden Kaza Olabilirliği (KO) parametresinin bulunması için geçmiş istatistiklerden ve kaza analizlerinden faydalanılmıştır. Burada özellikle olasılık yerine olabilirlik kavramının kullanılmasından söz etmek gerekmektedir. Zira inşaat sektöründe olasılık eldeki istatistiksel veriler halen bir projenin yapımında çalışan bir işçinin kazaya uğrayıp uğramayacağı hakkında yeni bir bilgi ver(e)memektedir. Bu nedenle olasılık teorisinin kapsamı içinde olmayan “olabilirlik ölçüğü”nin sunduğu bilgi incelenen iş kazalarına yol açan nedenlere dayanarak, ilgilenilen tekil bir proje için iş kazalarının olabilirliğinin araştırılması anlamlı olabilir (Karabay, 1997). Geçmişteki istatistiksel veriler ise, bulanık mantık çerçevesinde hazırlanan tehlike analizleri için sağlıklı veri tabanı oluşturmanın ötesinde kesin bir şeyler söylemeyecektir. Olasılık teorisine dayanan stokastik teknikler, kesin ve net verile-

rin, bilgilerin edinilemediği geleceğe dönük kararların alınmasında ve yargılarda bulunulmasına yaramaktadır. Kaza Olabilirliği; gerçekleşecek, gerçekleşmesi olası bir kazanın olabilirlik derecesini incelemekte ve sayısal olarak olasılık, frekans veya bir kategori olarak açıklanabilmektedir. Tablo 1’de bu konudaki farklı tanımlar ve ölçekler görülmektedir

Tablo 1. Farklı kaynaklarda Kaza Olabilirliği tanım ve değerleri

Tanım	Kaza Olabilirliği İfadeleri, sıralama ve buna karşılık gelen beklenen Frekans değerleri		
	a	b	c
Proje süresince görülmesi pek olası değil	1 İmkansız <10 <sup>-7</sup>	1 İmkansız <10 <sup>-6</sup>	1, 2, 3 Çok Düşük <10 <sup>-6</sup>
Proje süresince görülebilir	2 Uzak olasılık 10 <sup>-5</sup> > F > 10 <sup>-7</sup>	2 Çok Az Olasılık 10 <sup>-5</sup>	4 Düşük 0.25 x 10 <sup>-5</sup>
Düşük ve Orta arası			5 Düşük Gibi 0.25 x 10 <sup>-4</sup>
Arada sırada görülebilir	3 Olası Değil 10 <sup>-3</sup> > F > 10 <sup>-5</sup>	3 Oldukça Az Olasılık 10 <sup>-4</sup>	6 Ortalama 10 <sup>-3</sup>
Zaman zaman görülmesi olası	4 Zaman zaman görülebilir 10 <sup>-1</sup> > F > 10 <sup>-3</sup>	4 Az Olasılık 10 <sup>-3</sup>	7 Sık sayılabilir 0.25 x 10 <sup>-2</sup>
Tekrarlanan kaza (hata)	5 Olası 10 > F > 10 <sup>-1</sup>	5 Ara Sıra 10 <sup>-2</sup>	8,9 Sık 0.125 x 10 <sup>-1</sup>
Kaza kaçınılmaz	6 Sık F > 10	6 Sık Sık 10 <sup>-1</sup>	9,10 Çok Sık >0.25 x 10 <sup>-1</sup>

a. HSE (1997), b. Tweeddale (1997), c. Sii ve Wang(2002).

Eldeki istatistiksel verilerin yeterli olduğu durumlarda bir yılda gerçekleşen kaza sayısı üzerinden ifade edilebilirken, kaza istatistiklerinin yetersiz, olasılık teorisinin geçersiz olduğu durumlarda, uzmanlar tarafından belirlenecek değer aralıkları olarak da ifade edilebilir. İşyerlerindeki kazaların analizinde kullanılan Tehlike ve Risk analizi yöntemlerinde genellikle sıralama düzeylerine denk gelen sözel ifadeler kullanılmaktadır. Örneğin İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (HSE) işyerlerinde kazaların şiddet ve olasılıklarını değerlendirirken (olasılık kavramı kullanmıştır) 1-4 arası bir ölçekte, olası, olası sayılabilir, uzak, oldukça uzak olasılık gibi sözel ifadeler kullanılmaktadır (HSE, 1999).

Bu ölçeklerden yararlanılarak, Tablo 2’de verilen ölçek aralıkları oluşturulmuştur. Bunun oluşturulmasında, Tablo 3’te sunulan, farklı inşaat şantiyelerine göre kaza tiplerinin dağılımından yararlanılmıştır. Burada toplam 5239 olaya ilişkin veriler bu tablodaki dağılımı vermişlerdir. Bu tablolardan, sayısal ifadelerin sözelleştirilmesi ve sonrasında bulanık hale getirilmesinde yararlanılacaktır.

Bu şekilde farklı inşaatlarda, farklı iş kazalarının olabilirliği sözel olarak ifade edilebilecektir. Bir başka deyişle, eldeki istatistiksel bilgiler, gündelik konuşma diline çevrilip, şantiyede çalışan uzmanların hizmetine sunulabilecektir. Diğer parametrelerde de istenen zaten bu çevrimin gerçekleşmesidir.

Bir diğer parametre olan kaza şiddetinin bulunmasında ise giriş bölümünde de sözü edilen veri eksikliği kendisini göstermektedir. İncelenen olaylarda kaza tiplerinin ne gibi fiziksel yaralanmalara yol açtığına ilişkin ayrıntılı istatistikler maalesef mevcut değildir.

Tablo 2. Kaza olabilirliği tanımları ve değer aralıkları

Kaza Olabilirliği	Tanım	Şantiyelere göre, kaza tiplerinin kaza olabilirlikleri* (% cinsinden)
Çok Düşük	Bu tip bir kazanın bu tip bir proje süresince görülme olasılığı çok düşüktür	<1.0
Düşük	Bu tipte kaza bu tip bir proje süresince düşük olasılıkla görülebilir	2.5
Görece Düşük	Düşük ile ortalama arasında görülen kaza	5.0
Ortalama	Sık olmamakla birlikte gerçekleşmesi muhtemel kaza	10.0
Sık	Proje süresince, yaşanması oldukça muhtemel kaza	20.0
Çok Sık	Kazanın, bu tip bir projede görülmemesi olanaksızdır	>25.0

\*Bu değerler uzmanların kişisel deneyim ve kanaatleri ile geçmiş veriler yardımıyla oluşturulmuştur.

Tablo 3. Farklı inşaat şantiyelerine göre kaza tiplerinin dağılımı (%)

Kaza Tipleri	Bina	Yol	Tren Yolu	Kanal İşleri	Köprü	Tünel	Liman Mendirek	Baraj	Yıkım İşleri	Enerji Nakil	Diğer tip inşaat
Yüksekten Düşme	49.23	5.76	7.41	10.71	15.71	9.62	11.32	13.2	13.75	30.99	26.97
Elektrik Çarpması	9.08	0.82	1.23	2.38	0.71	0.00	9.43	3.61	1.25	9.86	6.36
Malzeme Düşmesi	9.23	6.79	22.22	9.52	9.29	42.31	18.87	21.6	6.25	14.08	8.79
Yapı Makinaları Kazaları	1.65	25.31	3.70	7.94	8.57	7.69	15.09	16.2	3.75	5.63	11.52
Trafik Kazaları	0.87	18.31	27.16	6.35	3.57	5.77	5.66	9.04	1.25	5.63	4.24
Yapı Kısımının Çökmesi	4.57	0.41	0.00	0.79	3.57	0.00	0.00	0.60	66.25	0.00	5.76
Kazı kenarı göçmeleri	2.34	1.85	1.23	32.14	6.43	1.92	7.55	0.00	1.25	0.70	0.91
Diğer tip kazalar	18.57	24.07	27.16	17.46	41.43	17.31	26.42	26.5	5.00	19.01	30.61
Pat. madde kazaları	0.67	10.49	1.23	7.54	5.00	15.38	1.89	4.82	0.00	3.52	2.73
Malzeme sıçraması kazaları	3.79	6.17	8.64	5.16	5.71	0.00	3.77	4.22	1.25	10.56	2.12
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Burada Kaza Şiddeti derken, çevresel veya maddi şiddet tanımlarına girilmemiş, iş güvenliği açısından işçi veya işçilere verdiği yaralanma veya ölüm açısından ele alınmıştır. Bir iş kazasının sonucunda ortaya çıkan zararın sözel ifadelerle tanımlanması ve bir girdi parametresi olarak kullanılabilmesi gerekmektedir. Kaza Şiddeti'nin yüksek olduğu kaza tiplerinde olabilirlik düşük ve alınan güvenlik önlemleri iyi durumda olsa bile, risk düzeyi yüksek olacaktır. Kaza Şiddeti için literatürde 4 ile 7 arasında değer aralıkları belirtilmekte olup, çalışmada 1 ile 10 arasında değer alan, 5 değer aralığı belirtilmiştir. Bu konuda, çok sayıda iş kazası incelemiş, birlikişi raporu yazmış ve/veya ilgili devlet kademelerinde bulunmuş beş farklı uzmandan Tablo 4'te verilen ölçeğe uygun şekilde 1-100 arasında puan vermeleri istenmiştir.

*Tablo 4. Kaza Şiddeti için sıralama, buna karşılık gelen sözel ifadeler ve tanımlar*

Sıra	Sonuç	Açıklama
1	İhmal edilebilir	Kaza sonucunda ciddi bir yaralanma veya sağlığın bozulması söz konusu değildir. Hafif yaralanmalardır. İşçinin çalışmasını engelleyecek veya performansını olumsuz yönde etkileyecek bir kaza olmayıp, basit ilk yardım ile müdahale edilebilir.
2, 3	Hafif	Hafif ve şiddetli yaralanma arasında yer almakla birlikte, nadiren ölümlü sonuçlanır. İş performansını olumsuz etkiler, aktiviteleri yavaşlatır, kısa süreliğine de olsa iş göremezlikle sonuçlanabilmekle birlikte iş göremezlik en fazla 1 haftadır.
4, 5, 6	Orta	Ağır yaralanmalardır. Kalıcı bir işgöremezliğe veya işteki performansın uzunca bir süre bozulmasına neden olur, uzunca bir süre işten uzaklaşmalara neden olabilir. Ölümlere sıkça rastlanır.
7, 8	Şiddetli	Çoğunlukla ölümlü sonuçlanır., oldukça ciddi yaralanmalardır. Ayrıca birden fazla kişinin ölümüyle sonuçlanabilir. (örneğin patlamalar)
9, 10	Çok Şiddetli	

İngiltere İş Güvenliği ve Sağlığı Teşkilatı, sözleşmelerle belirlenen çalışma koşulları için (eser akdi veya iş akdi) hazırladığı rehberde, riskin sonucunun ve şiddetinin tanımını yapmış ve insanlara dönük riskler, parasal riskler, çevre

riskleri ve şirketin saygınlığına dönük riskler olmak üzere dört temel başlıkta incelemiştir. En düşüğü 0 ve en yükseği 5 olacak şekilde bir sıralama yapılmış ve her sıralama için tanımlar verilmiştir (HSE, 1999).

ABD Enerji Bakanlığı için hazırlanan bir raporda (U.S DOE, 1993), Bakanlığın talimatı kullanılmış, riskler için 1-4 arasında önem sırası belirlemişler ve buna karşılık gelen kaza olasılıklarını da belirtmişlerdir. Hazırladıkları ölçek, risklerin insan sağlığına, çevreye ve programa (projeye) etkilerine göre bir şiddet skalasında sunulmaktadır. Avustralya ve Yeni Zelanda Risk Yönetimi Standardında kazalar sonucu 1 ile 5 arasındaki bir skalada verilmekte olup, bunlar için sözel ifadeler ve tanımlar yapılmıştır (AS/NZS 4360, 1999).

Tweeddale (1997) yine 1-5 arası bir ölçek kullanmak suretiyle, nicel ölçek olarak insana dönük etkileri incelemiştir. Sii ve diğerlerinin (2001), diğer parametrelerinde kullandıkları gibi, 1 ile 10 arasında bir sıralama belirlemişler, bu sıralamayı beşli bir skalada, sözel ifadelerle açıklamışlardır. Örneğin bir kazanın sonuç şiddeti 4, 5, 6 değerlerindeyse ortalama denmiş, diğer değerler için de sözel ifadeler kullanılarak, bulanık kümeler yardımıyla güvenlik analizi gerçekleştirilmiştir. Wang (1997) ise yaptığı güvenlik analizi çalışmasında, sisteme dönük tehlikelerin vereceği zararın şiddetini 1 ile 4 arasında bir skalada açıklamış ve tanımlarını yapmıştır.

Anılan çalışmalardan faydalanarak, inşaat şantiyelerinde gerçekleşen kazaların Kaza Şiddeti'nin belirlenmesi ve üçüncü girdi parametresinin oluşturulması için en uygun tanımlamanın 1 ile 10 arasında yapılacak bir sıralama ve bunlara karşılık gelen beş farklı sözel ifade olacağına karar verilmiştir. Uzmanlar tarafından her kaza tipi için verilen Kaza Şiddeti değerlerinin ortalaması alınarak, bulanık kural tabanlı sistemin girdi parametreleri olarak ilerleyen bölümlerde kullanılacaktır. Üçüncü parametre olan Güvenlik Düzeyi'nin bulunmasında ise, incelenen şantiye için bir kontrol listesinden yararlanılmaktadır. Şantiyelerde kullanılan kontrol listeleri ge-

nel olarak önlemlerin alınıp alınmadığını denetlemekte, önlemlerin ne derecede alındığına dair herhangi bir yoruma olanak sağlamamaktadır. Alınan önlemlerin eksik alınması durumunda bunun nasıl ve ne şekilde kontrol listelerine yansıtılacağı, inceleme yapılan şantiyelerde farklı uygulamalarla kendisini göstermektedir. Şantiyedeki iş güvenliği önlemlerinin olası kazalara yol açma olasılığı kimi zaman düşük, orta, yüksek gibi üçlü ölçekle, kimi zaman da beşli ölçekle değerlendirilmekte, risk matrisi tekniği kullanılarak kaza şiddetiyle çarpılmakta ve kaza riski bulunmaktadır.

Tablo 5'te örnek olarak verilen iş güvenliği kontrol listesinin temel unsuru, inşaat sektöründe en sık görülen kaza tiplerine göre hazırlanmasıdır. Bir şantiyede alınması gereken önlemleri çeşitli iş kalemlerine göre ayırmak mümkün olabilir. Herhangi riskli bir iş başlamadan önce, örneğin beton dökümü, derin kazı gibi işlerde gerek insan düşmesi, gerek malzeme düşmesi, gerekse de çökme veya göçme gibi riskler bulunmaktadır. Ancak bir şantiyenin iş güvenliği önlemleri açısından periyodik olarak kontrolü için hazırlanacak listelerin iş kalemleri yerine, kaza tiplerine göre gruplandırılması bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlardan en önemlisi

doğrudan olası kazaya odaklanması, olası kazanın ortadan kaldırılması için gerekli önlemleri barındırmasıdır. Kazaya odaklı sistem, şantiyeyi inşaat sektöründe en sık görülen kaza tiplerine göre değerlendirmekte, riskli görülen alanlara ise özel olarak eğilmekte ve bu alanlarda da benzer yöntemle özelleşmiş bir risk analizi yapmaktadır. Hazırlanan kontrol listesinin kaza tiplerine göre hazırlanmasının bir başka avantajı ise, inşaat sektöründe otuz yılı aşkın bir süreyi kapsayan kaza dosyalarından yola çıkarak, farklı şantiye türlerinde ortaya çıkması muhtemel kaza tiplerini de değerlendirme kapsamına almasıdır.

Kontrol listesinin hazırlanmasında, eski Yapı İşlerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü'nden, ABD İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası uyarınca hazırlanan İnşaat Sektörü için İş Güvenliği ve Sağlığı Standardı'ndan (OSHA, 1926) ve bu standardın Genel İş Güvenliği ve Sağlığı bölümünün inşaat sektörü ile ilgili başlıklarından yararlanılmış, kontrol listesi gerek inşaat sektöründeki deneyimleri, gerekse de iş kazalarına ilişkin hazırladıkları sayısız bilirkişi raporu ile deneyimlerini aktaran beş uzmanın katkılarıyla hazırlanmıştır. Bu kontrol listesinde, alınması gereken önlemler, şantiyede denetim

Tablo 5. Kazı Kenarı çökmeleri için kontrol listesi, ağırlık ve puanlama

W	Alınması Gereken Önlemler	Şantiyedeki Kontrolde verilen puanlar	Ağırlıklı Puan
0.13	-Kazı kenarı çökmeleri için yapılan iksalar yeterli midir, kullanılan malzeme yükü taşıyacak özellikte midir?	1 2 3 4 5 <u>6</u> 7 8 9 10	0.78
0.04	-Kazının, komşu bir yapıyı devamlı veya geçici olarak tehlikeye soktuğu hallerde, yapı tekniğinin gerektirdiği tedbirler ne ölçüde alınmıştır?	1 2 3 4 5 6 <u>7</u> 8 9 10	0.28
0.10	-Hendeklerde çalışılırken gerekli güvenlik önlemleri yeterince alınmakta mıdır?	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10	0.5
0.21	-Kazılara yaklaşan araçları ve iş makinalarını uyarmak için gerekli önlemler yeterince alınmış mıdır?	1 2 3 4 5 6 7 <u>8</u> 9 10	1.68
0.11	-Kazıdan çıkan toprak, kaymasına engel olmak üzere, toprak cinsinin gerektirdiği uzaklığa atılacak ve bunun mümkün olmaması halinde kazıda gerekli iksa yapılacaktır hükümlerine ne ölçüde uyulmaktadır?	1 2 3 4 5 6 7 8 <u>9</u> 10	0.99
0.06	-Açılan kuyu, tünel veya yeraltı galerilerinde yapılan tahkimatların kontrolü ve yeraltı işlerinde, çökme ve parça düşmeleriyle su baskınlarına karşı gereken tedbirler ne ölçüde uygulanmaktadır?	1 <u>2</u> 3 4 5 6 7 8 9 10	0.12
0.23	-Kazı işlerinde, yukarıdan aşağıya doğru ve toprağın dayanıklılığı ile orantılı şev ne ölçüde verilmektedir? Kazılar ne ölçüde denetlenmektedir? Yapı iş defterine gerekli kayıtlar düşülmekte midir?	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10	1.15
0.12	-Kazı kenarına düşey yüke sebebiyet verebilecek yüklerin konması ne ölçüde önlenmektedir? Düşey yükler zorunlu olarak kazı kenarında bulunacaksa, önlemler yeterince alınmakta mıdır?	1 2 3 4 <u>5</u> 6 7 8 9 10	0.6
<b>Toplam</b>			<b>5.12</b>

yapan uzmanlar tarafından tek tek 1 ila 10 arasında puanlanmaktadır. Hazırlanan kontrol listesinin bir farklılığı da alınması gereken önlemlerin ağırlığının eşit olmamasıdır. Her kaza tipi için alınması gereken önlemlerin ağırlıkları toplamı 1 olup, ağırlıkların bulunması ikili karşılaştırmalar ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi yardımıyla bulunmuştur. Karar vermede analitik hiyerarşi süreci insanoğlunun hiçbir şekilde kendisine öğretilmeyen fakat varoluşundan bu yana karar verme sorunu ile karşılaştığında içgüdüsel olarak benimsediği karar mekanizmasıdır (Saaty ve Vargas, 1980).

Uzmanların deneyimlerinden yola çıkarak, hangi kaza tipi için, hangi önlemin özellikle alınması gerektiği, bazı önlemlerin görece olarak daha önemli, bazılarının ise görece olarak daha az önemli olduğu saptanmıştır. Bu saptamanın yapılması, herhangi bir kaza türünün şantiyedeki potansiyel riskinin azaltılmasında, hangi önlemlerin ağırlığının daha fazla olduğunun belirlenmesine yaramaktadır. Şantiyede yapılacak denetimlerde, önem ağırlığı fazla olan önlemlerin alınmaması puanlamada riskin fazla olduğunu göstermekte, incelenen kaza tipiyle ilgili risk puanının yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

### Bulanık kural tabanlı sistemin kurulması

Bulanık mantık, geleneksel olasılık teorisi ile karıştırılabilir, ancak ilki bir kümedeki üyelik derecesini ölçerken, ikincisi yalnızca o kümedeki olayın olabilirliğini ölçmektedir. Klasik bir kümede herhangi bir eleman ya kümenin içinde ya da dışındadır. Ancak bulanık bir kümede herhangi bir eleman tamamen veya kısmen içinde veya dışında olabilir. Küme elemanının pozisyonu üyelik fonksiyonu ( $\mu$ ) ile tanımlanabilir. Eğer küme elemanı tamamen içinde ise üyelik fonksiyonu 1 değerini ( $\mu=1$ ) alacak, eğer tamamen dışındaysa bu kez 0 değerini ( $\mu=0$ ) alacaktır. 0 ile 1 arasındaki değerler ( $0<\mu<1$ ) ise ilgili elemanın kısmen kümeye ait olduğunu gösterecektir. Bir başka ifadeyle bir elemanın üyelik değeri klasik kümede  $\{0,1\}$  gibi iki sayı ile sınırlı iken, bu değer bulanık küme kuramı çerçevesinde  $[0,1]$  aralığında herhangi bir reel sayıyı alabilmek-

tedir. Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin daha genelleştirilmiş biçimidir ve klasik küme işlemlerini de kullanmaktadır (Zadeh, 1965).

Bulanık kümelerde, klasik kümelerde olduğu gibi bir öğeden ötekisine keskin ve ani bir geçiş olmamaktadır. Aslında üyelik derecesi fonksiyonu bu düşüncelerin değişik üyelik derecesinde öğelere yayılmasını ifade etmektedir. Klasik kümelerde bir öğenin kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1'e eşit olması gerekirken, bulanık kümede bütün öğeler değişik derecelere kümeye ait olabilir. Keza, bir bulanık küme öğesi aynı değişken özelliğine sahip olmak üzere başka bir kümenin de öğesi olabilir. Örneğin insan düşmesi kazaları hem çok şiddetli, hem de çok çok şiddetli kümelerine değişik üyelik dereceleriyle üye olabilir. Öğe değerleri ile üyelik değerleri arasında birebir bir karşılık ilişkisi vardır. Öte yandan, U evrensel kümesinin elemanı olan bir objenin ( $x$ ), U kümesinin herhangi bir alt kümesine ( $A$ ) üyeliği,  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$A = \{x, \mu_A(x), x \in U\} \quad (1)$$

$$A \text{ klasik bir küme ise } \mu_A: x \rightarrow \{0,1\} \quad (2)$$

$$\tilde{A} \text{ bulanık bir küme ise } \mu_A: x \rightarrow [0,1] \quad (3)$$

Zadeh (1965) ve Ross (1998) tarafından da kullanılan notasyon uyarınca, bir bulanık kümenin gösteriminde aşağıdaki notasyonlar kullanılacaktır:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (4)$$

Makinalar tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işlemi için değişik yollardan bir tanesi de, bilgiyi insan diline benzer bir ifade ile temsil etmektir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede EĞER-İSE (IF-THEN) sözcükleri ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan EĞER ile İSE sözcükleri arasında bulunan bölüme öncül (ön şart), İSE



sözcüğünden sonra gelen kısma ise sonul veya çıkarım adı verilir (Şen, 2001). Genel olarak ifade edilirse EĞER öncül İSE çıkarım şeklinde göstermek mümkündür.

Bulanık mantık sistemlerinin özünde, bu kural- ların makul ve etkin bir tarzda uygulanması bulun- maktadır. Yukarıda genel olarak ifade edilen EĞER-İSE kuralını biraz daha ayrıntılı bir şe- kilde ifade etmek gerekirse bir bulanık mantık bilgi/kural tabanlı sistem aşağıdaki gibi EĞER- İSE kurallarından oluşur. Buna göre eğer

$$x_1, A_1 \text{ ise ve } \dots \text{ ve } x_n, A_n \text{ ise, } y \text{ B} \quad (5)$$

ifadesi yazılabilir

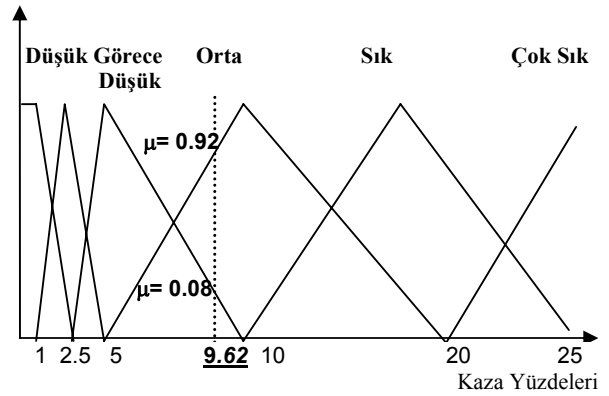
### Risk düzeyi çıktı parametresi

İş Güvenliği değerlendirmesinde kullanılan risk veya tehlike düzeyini belirlemek için genel olarak dört veya beş farklı sözel ifade kullanılmaktadır. Bunlar çok yüksek risk (çok kötü derecede iş güvenliği), yüksek risk (yetersiz iş güvenliği), olası risk (ortalama iş güvenliği düzeyi) ve düşük risk (iyi iş güvenliği düzeyi) şeklinde tanımlanabilmektedir (Sii v.d., 2001, Wang 1997). Bazı kaynaklarda ise, güvenlik düzeyi için beş farklı sözel ifadeler görülmektedir. Burada da çok güvenliden çok güvensize kadar tanımlanan çoğu kez yamuk şeklinde, bazen de sinus grafiği şeklinde tanımlanan bulanık küme tanımlarına rastlanmaktadır (Gentile, 2003; Bell ve Badiru, 1996).

Şantiyelerde iş güvenliği veya risk düzeyini belirlerken, RD parametresi tek çıktı parametresi olup kimi zaman riskin düzeyi, kimi zaman da iş güvenliği önlemlerinin düzeyi şeklinde ifade edilebilmektedir. Sözel ifadeler ve tanım aralıkları iyi bir şekilde tanımlandığında, şantiyelerde her iki şekildeki ifade de son derece anlaşılır olacaktır.

Bulanık kural tabanlı sistemin kurulması için 150 EĞER-İSE kuralından oluşan bir kurallar kütüphanesi oluşturulmuştur. Önceki sayfalarda anılan parametrelerin sayısal değerlerinin ise bulanık ifadelerle çevrilmesinde yamuk şeklindeki kümelerden faydalanılmıştır.

Şekil 1’de yüksekte düşme tipindeki kazalar için Kaza Olabilirliğinin nasıl bulunduğu örnek olarak gösterilmektedir. Aynı şekilde Kaza Şiddeti, Güvenlik Düzeyi ve Çıktı Parametresi olan Risk Düzeyi için de bulanık üyelik dereceleri benzer şekilde bulunmakta, sonrasında bulanık kural tabanlı sistemde kullanılmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere sayısal 9.62 değerine karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının değerleri 0.92 ve 0.08 olarak bulunmaktadır. Bir başka ifadeyle 9.62 değeri tek bir kümeye değil, iki kümeye birden, farklı üyelik dereceleriyle üye olmaktadır ve hem görece düşük hem de ortalama olarak değerlendirilebilir.



Şekil 1. Yüksekten düşmeler için KO üyelik derecelerinin bulunması

### Yöntemin uygulaması ve sonuçlar

Yöntemin nasıl uygulandığı aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

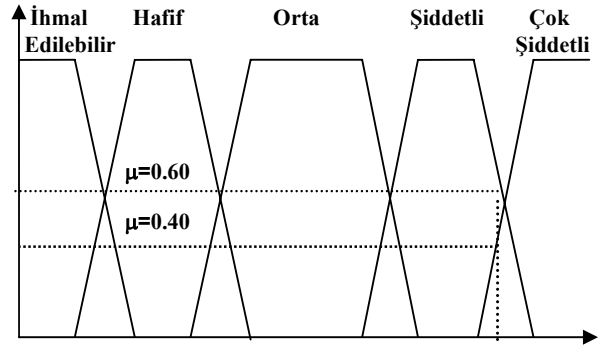
1. İncelenen şantiye türünde, her kaza için Kaza Olabilirliği (KO) değerleri alınır.
2. Her kaza tipi için Kaza Şiddeti (KŞ) değerleri alınır.
3. Hazırlanan kontrol listesi yardımıyla her kaza tipi için İş Güvenliği Düzeyi (GD) değerleri kontrol listesiyle belirlenir.
4. Her kaza tipi için girdi parametreleri KO, KŞ ve GD için üyelik dereceleri Şekil 1’de örnek olarak verilen üyelik fonksiyonları ile belirlenir.
5. Bu üyelik derecelerine karşılık gelen kurallar, 150 kuraldan oluşan kural tabanlı sistem kütüphanesinden seçilir.
6. VE operatörüne karşılık gelen MIN bulanık çıkarım yöntemiyle tek tek kurallar değerlendirilir.

7. Her kaza tipi için kullanılan kurallar karşılaştırılarak, çıktı parametresi aynı üyelik fonksiyon olanlar arasından MAKS çıkarım yöntemiyle en büyük üyelik dereceli olan seçilir. (En düşük değerlerin en büyüğü)
8. Farklı çıktı parametresi üyelik fonksiyonları harmanlama yöntemiyle toplanır. Bir başka ifadeyle grafiksel olarak üyelik fonksiyonlarının birleşimi alınır.
9. Birleşimi alınan şekillerin X eksenindeki ağırlık merkezleri bulunarak,  $z^*$  değerine ulaşılır, bir başka ifadeyle durulaştırma işlemi yapılır.
10. Bulunan bu  $z^*$  değerinin RD üyelik derecesi bulunur.

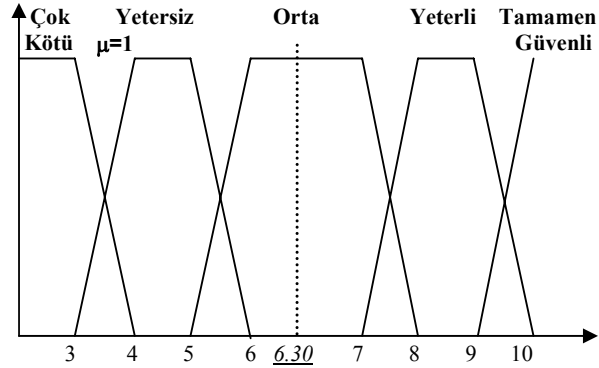
Aşağıda örnek olarak incelenen tünel şantiyesinde yüksekten düşmeler için Risk Düzeyinin bulunması anlatılmaktadır. Diğer kaza türlerine ilişkin değerlendirmelere yer verilmeyecektir. Şekil 1’de yüksekten düşmeler için Kaza Olabilirliğinin tünel şantiyeleri için bulanık üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Buna göre yüksekten düşmelerin Kaza Olabilirliği %92 üyelik derecesiyle orta, %8 üyelik derecesiyle görece düşüktür. Aynı yöntemle uzmanların verdiği değerlerden Kaza Şiddeti için elde edilen değer 8.4 olduğu, %40 üyelik derecesiyle çok şiddetli, %60 üyelik derecesiyle şiddetli olduğu söylenebilir. İncelenen şantiyede yüksekten düşmeler için yapılan kontrollerden çıkan sonuçlara göre güvenlik puanı 6.30 çıkmıştır. Bunun sözel olarak ifade edilmesi veya bulanıklaştırılması sonucu elde edilen sonuç %100 üyelik derecesiyle orta düzeyde güvenlik olmaktadır. Dikkat edilirse sayısal ifadeler, bulanıklaştırılmış ve sözel olarak ifade edilmiştir. Şekil 2 ve 3’te üyelik derecelerinin nasıl bulunduğu gösterilmektedir. Bu üyelik derecelerini kural tabanlı sistemden seçeceğimiz uygun kurallarla bir araya getirmek ve çıktı parametresi olan Risk Düzeyine ulaşabilmek için bulanık çıkarım ve harmanlama yöntemi kullanılacaktır.

Bu aşamada yapılması gereken, MIN işlemi yaparak, tek tek her kuralda VE ifadesiyle birbirine bağlanan girdi parametrelerinin minimum değerlerini bulmaktır. Sonraki aşamada ise, aynı çıktı parametresi değerlerinin en büyük

değeri MAKS işlemi yapılarak bulunacaktır. Burada yapılan işlem aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.



Şekil 2. Yüksekten düşmeler için KŞ üyelik derecelerinin bulunması



Şekil 3. Yüksekten düşmeler için GD üyelik derecelerinin bulunması

$$\max(\min(\mu_{KO}(x_1), \mu_{KŞ}(x_2), \mu_{GD}(x_3))) \quad (6)$$

Tünel şantiyelerinde, yüksekten düşme tipindeki kazaların Risk Düzeyi’ni belirlemek için ise dört farklı kural gerekmektedir. Bu kurallar Tablo 6’da sunulmaktadır. Bu kurallarla denklem (6) kullanılarak bulanık çıkarım yönteminin uygulanması ise basit olarak Şekil 4’te gösterilmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde, yatayda yol alırken en küçüğün seçildiği görülecektir. Örneğin, Kural 68 için girdi parametreleri 0.08, 0.40 ve 1 değerini almışlardır. Bunlar arasından en küçük değer olan 0.08 seçilecektir. Öte yandan çıktı parametresi olan Risk Düzeyi için iki farklı sözel ifadenin bulunduğu görülecektir. MAKS işlemi

yapılırken, her sözel ifade kendi içinde işleme tabi tutulacaktır, buna göre Orta Derecede Riskli için tek bir üyelik derecesi olduğu için 0.08 alınacak, ancak Riskli üyelik fonksiyonu için iki farklı üyelik derecesinden büyük olanı, 0.60 alınacaktır.

Tablo 6. Yüksekten düşme Risk Düzeyi için kullanılan kurallar

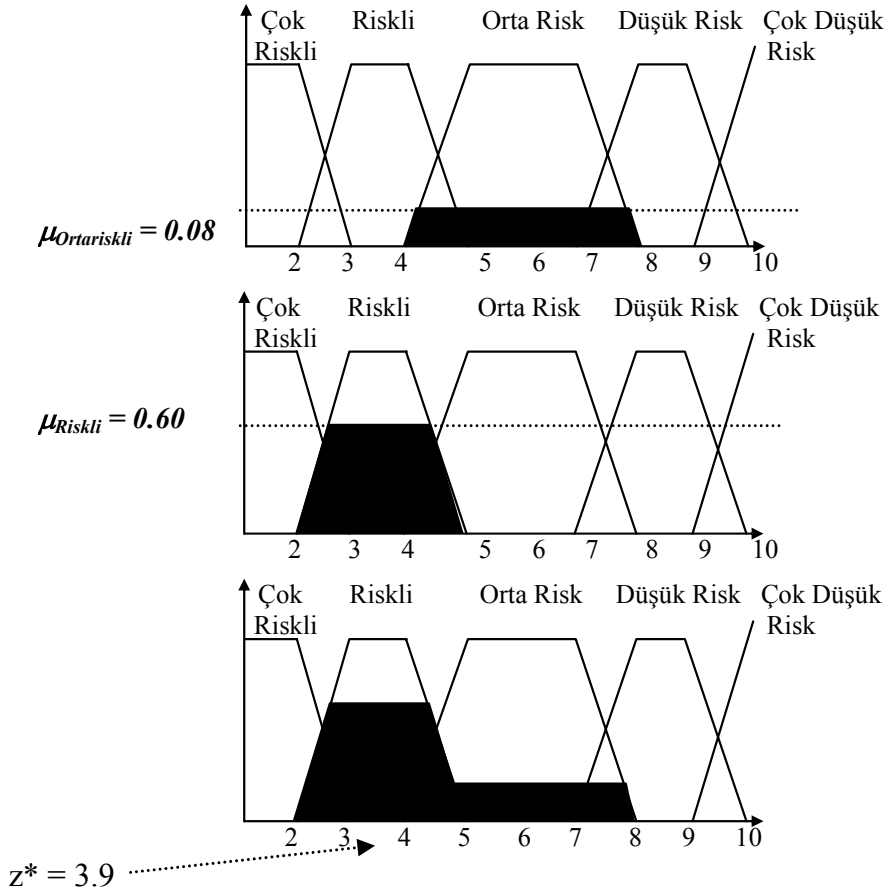
	KO	KŞ	GD	Risk Düzeyi
<b>Kural # 68</b>	Eğer Görece Düşük	ve Şiddetli	ve Orta	ise Orta Düzeyde Riskli
<b>Kural # 73</b>	Eğer Görece Düşük	ve Çok Şiddetli	ve Orta	ise Orta Düzeyde Riskli
<b>Kural # 93</b>	Eğer Orta	ve Şiddetli	ve Orta	ise Riskli
<b>Kural # 98</b>	Eğer Orta	ve Çok Şiddetli	ve Orta	ise Riskli

	KO üyelik derecesi	KŞ üyelik derecesi	GD üyelik derecesi	Bulanık VE işlemi (MIN)
<b>Kural # 68</b>	0.08	0.40	1	<b>0.08 Orta Düzeyde Riskli</b>
<b>Kural # 73</b>	0.08	0.60	1	0.08 Orta Düzeyde Riskli
<b>Kural # 93</b>	0.92	0.40	1	0.40 Riskli
<b>Kural # 98</b>	0.92	0.60	1	<b>0.60 Riskli</b>

En büyük değeri al

Şekil 4. Bulanık MIN ve MAKS operatörleri ile çıkarım yöntemi

Bundan sonraki aşamada ise Orta Düzeyde Riskli üyelik fonksiyonunu, 0.08 üyelik derecesindeki  $\lambda$  kesimi ile, Riskli üyelik fonksiyonunun 0.60 üyelik derecesindeki  $\lambda$  kesiminin birleşmesi alınacak, bir başka ifadeyle grafiksel olarak



Şekil 5. Bulanık harmanlama (Aggregation) ve durulaştırma işlemleri

Şekil 5'teki gibi bu iki küme üst üste bindirilecektir. İki küme üst üste bindirilerek bileşkesi alınmış, bir başka ifadeyle bulanık harmanlama yöntemi ile yeni bir küme elde edilmiştir. Sonraki aşamada ise durulaştırma işlemi yapmak gerekmektedir. Harmanlama ve durulaştırma işlemleri MATLAB 6.5 programı kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiş ve  $z^*$  değeri elde edilmiştir. Durulaştırma işlemi yapılırken bileşke alanın ağırlık merkezi denklem (7) ile hesaplanacaktır:

$$\text{Ağırlık Merkezi} = z^* = \frac{\int z \mu_c(z) dz}{\int \mu_c(z) dz} \quad (7)$$

Durulaştırma sonucunda bu sayısal değer in de, sözel ifadelere tercüme edilmesi gerekmektedir. Bunun için de, girdi parametrelerinde izlenen yol izlenecek ve üyelik dereceleri bulunacaktır. 3.9 sayısal ifadesi %100 üyelik derecesi ile Riskli kümesine aittir, incelenen şantiye yüksekten düşmeler bakımından %100 risklidir.

### Sonuç ve değerlendirmeler

Risk analizi yönteminin önemli avantajlarından biri risk düzeyini sayısal olarak vermekten ziyade, sözel ve anlamlı sözcüklerle ifade etmesidir. Şantiyelerin iş güvenliği açısından puanlamaları veya derecelendirmeleri yapılırken bu yöntemin kullanılması halinde farklı kaza tipleri için riskli olan şantiyeler saptanabilecektir. Analizin bir diğer çok önemli avantajı ise risk düzeyini düşüren faktörlerin, kontrol listesi üzerinden kolaylıkla saptanabilmesidir. Alınacak önlemlerin tek tek yer aldığı kontrol listesindeki, iş güvenliği önlemleri ağırlıklandırıldığından dolayı (bu ağırlıklandırmayı teftişi yapan kişi veya şantiye iş güvenliği uzmanı da yapabilir), risk düzeyini artıran (sayısal olarak ifade edildiğinde düşük puan alınmasına neden olan) iş güvenliği önlemleri kolaylıkla bulunabilecektir. Zira incelenen Kaza Olabilirliği ve Kaza Şiddeti parametrelerini düzeltme/değiştirme olanğı bulunmadığından dolayı, RD parametresine etki eden ve iş güvenliği kontrol ve denetimleri ile düzeltilebilecek, puanı yukarıya çekilebilecek parametre olarak GD kalmaktadır.

### Kaynaklar

AS/NZS 4360, (1999). Australian and New Zealand Standard on Risk Management, Melbourne.

- Bell, P.M. ve Badiru, A.B., (1996). Fuzzy modelling and analytic hierarchy processing to quantify risk levels associated with occupational injuries Part I. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **4**, 2, 124-131.
- Dizdar, E.N., (2000). *İş Güvenliği*, Alver Yayın., Ekim, Ankara.
- Gentile M., Rogers, W.J. ve Mannan, MS., (2003). Development of an inherent safety index based on fuzzy logic. *American Industrial Chemical Engineering Journal*, **49**, 4, 959-968.
- Goetsch, D. L., (1993). *Occupational safety and health* (2nd ed.), Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- HSE, (1997). *The costs of accidents at work*, HSG96, Great Britain.
- HSE, (1999). *Management guidelines for working together in a contract environment*, Report No: 6.64/291, Great Britain.
- Karabay, M., (1997). Uluslararası İnşaat Sektöründe Politik Risk ve Fuzzy Analiz Yöntemi, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kirwan, B. (1992). Human error identification in human reliability assessment. Part 1: Overview of approaches, *Applied Ergonomics*, **23**, 5, 299-318.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), (1926). (29 CFR Part 1926), Construction Standards, Washington D.C.
- Özkılıç, Ö., (2005). *İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*, TİSK Yayınları, İstanbul.
- Ross, T.J, (1998). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty T.L ve Vargas L.G., (1980). *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- Sii, H.S., ve Wang, J., (2002). Safety assessment of FPSO's- The process of modelling system safety and case studies, *Report of the Project-“The application of approximate reasoning methodologies to offshore engineering design*, LJM University, U.K.
- Sii, HS., Ruxton T. ve Wang J., (2001). A fuzzy-logic-based approach to qualitative safety modelling for marine systems. *Reliability Engineering and System Safety*, **73**, 19-34.
- Şen, Z., (2001). *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Tweeddale, M., (1997). *Risk Management Handbook for the Mining Industry*, New South Wales Department of Mineral Resources, Sydney.
- U.S. Department of Energy, (1993). *Construction Project Safety and Health Management*, Report No: DOE 5480.9, 2-8-93, Washington D.C.
- Wang J., (1997). A subjective methodology for safety analysis of safety requirements specifications, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **5**, 3, 418-430.
- Zadeh L.A., (1965). Fuzzy sets, *Information Control*, **8**, 338-353.