

# İnşaat Şantiyelerine Özgü Bir İş Güvenliği Risk Analizi Yöntemi

**Dr. İnş.Y.Müh. G. Emre Gürcanlı**

**Y.Doç.Dr. Uğur Müngen**

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı İşletmesi Anabilim Dalı

Tel: 0 212 285 36 52/ 0 212 285 37 36

e-posta: egurcanli@ins.itu.edu.tr, umungen@ins.itu.edu.tr

## Özet

İnşaat sektöründe iş kazalarında her yıl resmi rakamlara göre yaklaşık 500'e yakın işçinin şantiyelerde yaşamını yitirmesi olgusu, konuyu insan hayatı açısından önemli kılmaktadır. Diğer yandan, gerçek rakamların bunun çok ötesinde olduğu değerlendirilmektedir. Proje yönetiminin bir alt başlığı olarak düşünülmesi gereken İş Güvenliği ilkelerinin uygulanması açısından da büyük eksiklikler olduğu açıktır. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği konusunda tüm dünyada bir standardizasyona gitme gereksinim beraberinde, İş Sağlığı ve Yönetim Sistemleri Şartlarını ve uygulamalarını belirleyen OHSAS 18001 ve 18002 gibi standartları getirmiş, her iki standart da Türk Standartları Enstitüsü tarafından dilimize çevrilmiştir. Bu standartlarda tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı ile sonuçlarının bileşimi ile tanımlanan risk kavramı ve riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve riske tahammül edilemeyeceğine karar vermek için kullanılan prosesin tamamı olarak tanımlanan risk değerlendirmesi konusunda inşaat sektöründe uygulamaya ilişkin kimi sorunlar yaşanmaktadır. Literatürde tanımlanan risk değerlendirme yöntemlerinin kimi eksiklikleri bildiride ele alınmış, inşaat üretiminin yapısına uygun kolay, uygulanabilir, şantiyelerin değişen ve birbirinden farklı yapısına uyum sağlayan, belirsizliklerden kaynaklanan dezavantajları bertaraf eden bir yöntem arayışı tartışılmış ve iki yeni risk analizi yöntemi yazarlarca önerilmiştir. Bu kapsamda Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmak suretiyle yeni bir kontrol listesi hazırlanmış, inşaat sektöründe gerçekleşen 10 temel kazanın kaza şiddetleri uzmanlar yardımıyla belirlenmiş ve incelenen şantiyenin iş güvenliği risk puanı bulunmuştur. Önerilen yöntemler bir tünel şantiyesinde uygulanmış, sonuçları karşılaştırılmış ve diğer yöntemlerden farklılıkları ortaya konmuştur. Önerilen yöntemlerin imalat sanayiinden pek çok açıdan ayrılan inşaat sektörünün özgünlüklerini hesaba kattığı ve uygulamacılar açısından kolay anlaşılır ve kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İş Güvenliği, Risk Analizi, Bulanık Kümeler, Kaza Şiddeti

## 1. Giriş

İş kazaları ve buna bağlı ölüm ve yaralanmalar, yalnızca ülkemizde değil, dünyada da ürkütücü boyutlardadır. Tüm bu koşullarda dünyada değişen koşullarla birlikte, devletin çalışma yaşamındaki denetim fonksiyonunun en aza indirilmesi, değişen iş yasaları ve iş güvenliği mevzuatı var olan kuralsız 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 ciro luk bir boyuta ulaşan inşaat sektöründe, 75 milyar euronun iş kazaları ve meslek hastalıkları kaynaklı giderlere harcandığı gerçeği açığa çıkmaktadır (HSE, 1997).

İnşaat sektöründe giderek daha fazla tanınmaya ve bir gereklilik olarak kendini dayatmaya başlayan iş sağlığı ve güvenliği yönetim 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). 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.

## 2. Yöntem

Çalışmada kullanılan iki yöntemi dört ana başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar; saha araştırması, saha araştırması ve uzman görüşleri ile girdi parametrelerinin oluşturulması, bulanık kural tabanlı sistemin kurulması, Risk Düzeyi Matrisinin hazırlanması, her iki yöntemin bir inşaat şantiyesinde uygulanması ve iki yöntemin karşılaştırılması. 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. Kullanılan birinci yöntemde, 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 ölçeği”nin sunduğu bilgi incelenen iş kazalarına yol açan nedenlere dayanarak, ilgilenilen tekil bir proje için iş

kazalarının olabilirliğinin araştırılması anlamlı olabilir (Karabay, 1997). 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	1	1, 2, 3
	İmkansız <10 <sup>-7</sup>	İmkansız <10 <sup>-6</sup>	Çok Düşük <10 <sup>-6</sup>
Proje süresince görülebilir	2	2	4
	Uzak olasılık 10 <sup>-5</sup> > F > 10 <sup>-7</sup>	Çok Az Olasılık 10 <sup>-5</sup>	Düşük 0.25 x 10 <sup>-5</sup>
Düşük ve Orta arası	3	3	5
	Olası Değil 10 <sup>-3</sup> > F > 10 <sup>-5</sup>	Oldukça Az Olasılık 10 <sup>-4</sup>	Düşük Gibi 0.25 x 10 <sup>-4</sup>
Arada sırada görülebilir	4	4	6
	Zaman zaman görülebilir 10 <sup>-1</sup> > F > 10 <sup>-3</sup>	Az Olasılık 10 <sup>-3</sup>	Ortalama 10 <sup>-3</sup>
Zaman zaman görülmesi olası	5	5	7
	Tekrarlanan kaza (hata) 10 > F > 10 <sup>-1</sup>	Ara Sıra 10 <sup>-2</sup>	Sık sayılabilir 0.25 x 10 <sup>-2</sup>
Kaza kaçınılmaz	6	6	8,9
	Sık F > 10	Sık Sık 10 <sup>-1</sup>	Sık 0.125 x 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. Bu ölçeklerden yararlanılarak, Tablo 2’de verilen ölçek aralıkları oluşturulmuştur.

**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.

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.

**Tablo 3. Farklı İnşaat 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>

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

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 (proje) 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. Yine her iki yöntemde kullanılan üçüncü parametre olan Güvenlik Düzeyi'nin bulunmasında ise, incelenen şantiye için bir kontrol listesinden yararlanılmaktadır. Şantiyelerde kullanılan kontrol listeleri genel olarak önlemlerin alınıp alınmadığını denetlemekte, önlemlerin ne derecede alındığına dair herhangi bir yoruma olanak sağlamamaktadır. Tablo 5'te örnek olarak verilen iş güvenliği kontrol listesinin hazırlanmasındaki temel unsur inşaat sektöründe en sık görülen kaza tiplerine göre hazırlanması olmuştur.

**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 gerekli 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>

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 İnşaat Sektörü için İş Güvenliği ve Sağlığı Standardı'ndan (OSHA, 1926) ve 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 yapan uzmanlar tarafından tek tek 1 ile 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 (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.

### **3. Birinci Yöntem: 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 alabilmektedir. Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin daha genelleştirilmiş biçimidir ve klasik küme işlemlerini de kullanmaktadır (Zadeh, 1965).

Klasik kümelerde bir öğenin kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1'e eşit olması gerekirken, bulanık kümede bütün öğeler değişik derecelerde 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. Öge 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 ifadeye 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 kuralların makul ve etkin bir tarzda uygulanması bulunmaktadır. Yukarıda genel olarak ifade edilen EĞER-İSE kuralını biraz daha ayrıntılı bir şekilde ifade etmek gerekirse bir bulanık mantık bilgi/kural tabanlı sistem aşağıdaki gibi EĞER-İSE kurallarından oluşur. Buna göre aşağıdaki ifade yazılabilir:

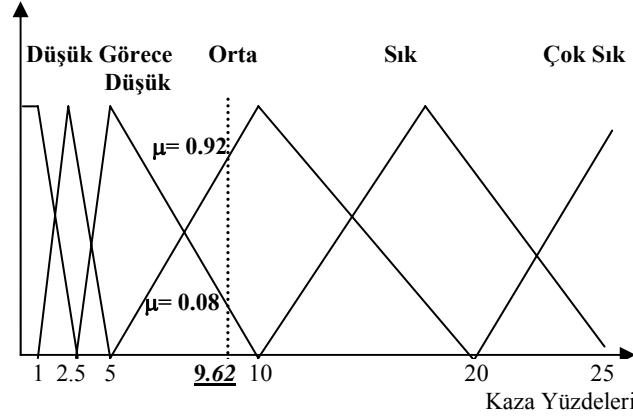
$$x_1, \tilde{A}_1 \text{ ise ve...ve } x_n, \tilde{A}_n \text{ ise, } y \tilde{B} \quad (5)$$

### 3.1. Birinci Yöntemin Çıktısı: Risk Düzeyi 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 yüksekten 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**

### 3.2. Birinci Yöntemin uygulaması ve sonuçlar

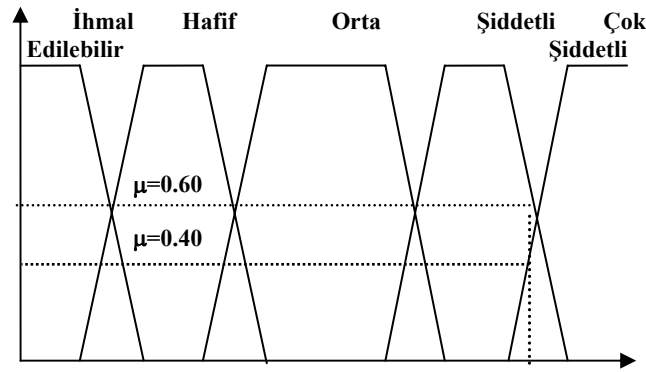
Yöntemin nasıl uygulandığı aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

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 fonksiyonları arasında 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 eksenini üzerindeki ağırlık merkezleri bulunarak,  $z^*$  değerine ulaşılır, bir başka ifadeyle durulaştırma işlemi yapılır.
10. Bulunan bu  $z^*$  değerinin RD üyelik derecesi bulunur.

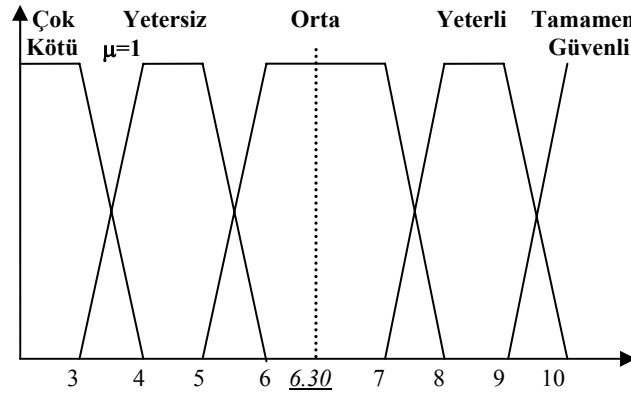
Aşağıda örnek olarak incelenen tünel şantiyesinde yüksekten düşmeler için Risk Düzeyinin bulunması anlatılmaktadır. Diğer kaza türlerine ilişkin değerlendirmelere yer verilmeyecektir Şekil 1’de yüksekten düşmeler için Kaza Olabilirliğinin tünel şantiyeleri için bulanık üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. 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 değerin 8.4 olduğu, %40 üyelik derecesiyle çok şiddetli, %60 üyelik derecesiyle şiddetli olduğu söylenebilir. İncelenen şantiyede yüksekte 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.



Şekil 2. Yüksekten düşmeler için KŞ üyelik derecelerinin bulunması



Şekil 3. Yüksekten düşmeler için GD üyelik derecelerinin bulunması

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 Denklem 6 ile ifade edilebilir. Tünel şantiyelerinde, yüksekte 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.

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

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
<i>Kural # 68</i>	Eğer	Görece Düşük	ve	Şiddetli	ve	Orta	ise	Orta Düzeyde Riskli
<i>Kural # 73</i>	Eğer	Görece Düşük	ve	Çok Şiddetli	ve	Orta	ise	Orta Düzeyde Riskli
<i>Kural # 93</i>	Eğer	Orta	ve	Şiddetli	ve	Orta	ise	Riskli
<i>Kural # 98</i>	Eğer	Orta	ve	Çok Şiddetli	ve	Orta	ise	Riskli

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

En Küçük Değeri al



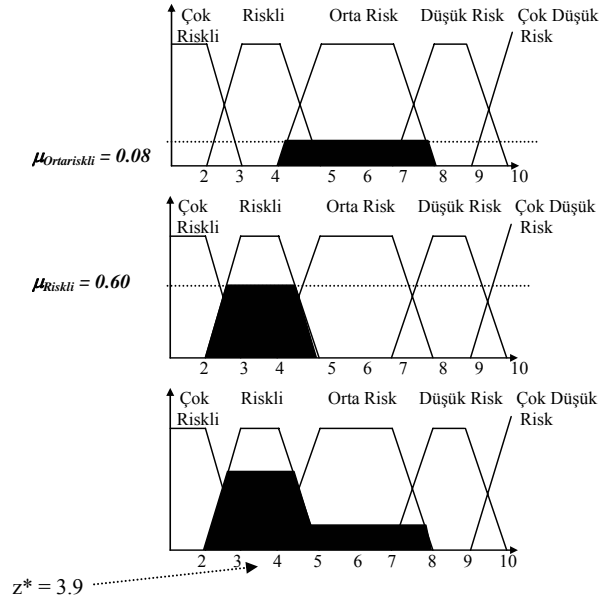
En büyük değeri al

**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 bileşkesi alınacak, bir başka ifadeyle grafiksel olarak 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 değerin 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.



şekil 5. Bulanık harmanlama (Aggregation) ve durulaştırma işlemleri

#### 4. İkinci Yöntem ve Uygulaması

İkinci yöntemin uygulanmasında esas olarak Tablo 7’de gösterilen Risk Düzeyi Matrisi temel alınmıştır. Burada geçmiş kazalara ilişkin istatistikler kullanılmamış, Kaza Olabilirliği, inşaat şantiyelerinde bilinen yöntemlerle herhangi bir durum veya iř kazasının verili koşullar altında olabilirliği üzerinden tasarlanmıştır.

**Tablo 7. Risk Düzeyi Matrisi**

		Kaza Olabilirliği										
		ÇokDüşük		Düşük		Orta		Yüksek		Çok Yüksek		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Kaza Şiddeti	İhmal Ed.	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Küçük	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
		4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	Orta	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	Şiddetli	7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
		8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	Çok Şiddetli	9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
		10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Risk Yok	Az Riskli	Ortalama Risk	Y.Risk Düşük Güvenlik	Çok Y. Risk
Çok Güvenli	Güvenli			Çok D. Güvenlik

Bu yapılırken önceki bölümlerde anlatılan kontrol listeleri aynen kullanılmış, her kaza tipi için bulunan Güvenlik Düzeyi sayısal değeri onlu ölçekte risk matrisinde kullanılmıştır. Ancak Güvenlik Düzeyi değeri 10'dan çıkarılmak suretiyle, kazanın olabilirliği bulunmaktadır, zira güvenlik düzeyi yükseldikçe kazanın olabilirliği artmaktadır. Tüm Kaza Şiddeti değerleri de aynen sayısal olarak alınmakta, sözel ifadelerle çevrilmemekte, bulanık kümeler kullanılmamaktadır. Bu yöntem şantiyelerde sıkça kullanılan 3x3 veya 5x5 risk matrisi yönteminden farklı olup, 10x10'luk bir matristir. Bu matris ara noktaları da işin içine katmakta, daha duyarlı bir analize olanak tanımaktadır. Tabii ki, KO ve KŞ değerleri doğrudan, şantiyedeki uzmanların görüşleriyle değil, önceki bölümlerde anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Türkiye inşaat sektöründe kullanılan risk matrisinden gerek duyarlılık gerekse de parametrelerin hesaplanmasındaki ayrıntı açısından farklılıklar göstermektedir. Bu yöntem de aynı şantiyede, diğer yöntemle paralel şekilde uygulanmıştır.

## 5. İki Yöntemin Karşılaştırılması

Her iki yöntem de, bir tünel şantiyesinde uygulanmış olup, sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, Yöntem 1'deki sonuçlar Risk Düzeyi'ni Yöntem 2'ye oranla daha yüksek göstermektedir. Bunda Yöntem 1'in duyarlılık düzeyinin çok daha yüksek olması önemli rol oynamıştır. Ayrıca, Yöntem 1, tek bir Risk Düzeyi ifadesi değil, bulanık mantık yardımıyla farklı üyelik dereceleriyle iki farklı Risk Düzeyi verebilmektedir. Örneğin, şantiye içi trafik kazaları %89 oranında orta, %11 oranında riskli iken, Yöntem 2'de sonuç yalnızca az riskli çıkmıştır.

Şantiyelerin puanlanması için iş güvenliği uzmanları ve müfettişlerine bir araç olarak düşünülen her iki yöntemden ilkinin çok daha güvenli tarafta olduğu söylenebilir. Öte yandan, Yöntem 2, Türkiye’de inşaat şantiyelerinde kullanılan diğer risk analizi yöntemlerine göre çok daha duyarlı olsa da, yine de Yöntem 1 ile kıyaslandığında yetersiz kalabilmektedir. Yöntem 2’yi biraz daha verimli hale getirmek için, yalnızca sonuç değerlerine bakmamak, ayrıca risk matrisi üzerinden sınır değerlere yakın olup olmadığını da değerlendirmek anlamlı olacaktır.

**Tablo 8. Beş Haftalık Ortalama Risk Düzeyi Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Temel Kaza Tipleri	Yöntem 1		Yöntem 2	
	Sayısal Değerler	Sözel İfadeler	Sayısal Değerler	Sözel İfadeler
Yüksekten Düşme	3,9	1/Riskli	31,08	Az Riskli
Elektrik Çarpması	8,54	1/Düşük Risk	4,96	Risk Yok
Malzeme Düşmesi	6,24	1/Orta Risk	15,21	Az Riskli
Yapı Makinalarındaki Kazalar	8,5	1/Düşük Risk	8,89	Risk Yok
Şantiye içi Trafik Kazaları	4,89	0,89/Orta Risk +	21,27	Az Riskli
Yapı Kısımının		0,11/Riskli		
Kısmen/Tamamen Çökmesi	9,44	0,56/Düşük Risk +	0,35	Risk Yok
		0,44/Çok Düşük Risk		
Kazı kenarı göçmeleri	8,28	1/Düşük Risk	16,93	Az Riskli
Patlayıcı madde kazaları	8,5	1/Düşük Risk	7,49	Risk Yok
Malzeme sıçraması kazaları	8,5	1/Düşük Risk	5,81	Risk Yok
		0,21/Riskli + 0,79 Orta		
Diğer tip kazalar	4,79	Riskli	10,55	Az Riskli

## 6. Sonuç ve değerlendirmeler

Risk analizinde birinci yöntemin önemli avantajlarından biri risk düzeyini sayısal olarak vermektir ziyade, sözel ve anlamlı sözcüklerle ifade etmesidir. Şantiyelerin iş güvenliği açısından puanlamaları veya derecelendirmeleri yapılırken bu yöntemin kullanılması halinde farklı kaza tipleri için ve toplamda 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 olanağı bulunmadığından dolayı, RD parametresine etki eden ve iş güvenliği kontrol ve denetimleri ile düzeltilebilecek, puanı yukarıya çekilebilecek parametre olarak GD kalmaktadır. Bu söylenenlerin bir kısmı Yöntem 3 için de geçerlidir. Her iki yöntemin de inşaat şantiyelerinde uygulanabilirliği test edilmiş olup, özellikle şantiyelerin inşaat iş kazaları risklerine göre puanlandırılması açısından yeni bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

## 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 hierachy process, McGraw-Hill, New York.
- Sii, H.S., and 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.