

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANTİYELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK
DEĞERLENDİRMESİNDE BULANIK ÇIKARIM TEKNİĞİNİN KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Aslıhan ÇEBİ

TEMMUZ 2014

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANTİYELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK
DEĞERLENDİRMESİNDE BULANIK ÇIKARIM TEKNİĞİNİN KULLANIMI**

İnşaat Mühendisi Aslıhan ÇEBİ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.07.2014

Tezin Savunma Tarihi : 23.07.2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Vedat TOĞAN

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Aslıhan ÇEBİ tarafından hazırlanan

**ŞANTİYELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK
DEĞERLENDİRMESİNDE BULANIK ÇIKARIM TEKNİĞİNİN KULLANIMI**


**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 07 / 2014 gün ve 1561 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Coşkun HAMZAÇEBİ


.....

Üye : Doç. Dr. Vedat TOĞAN


.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Basri BAŞAĞA


.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında, İş Sağlığı ve Güvenliği açısından önemli bir yer tutan risk değerlendirmesi için bulanık çıkarım mantığı odaklı bir risk değerlendirme modeli oluşturularak kullanılmıştır. Model, çalışma kapsamında ele alınan şantiye için tanımlanmış temel tehlike kaynakları ve bu kaynaklardan ortaya çıkabilecek risklerin analizinde uygulanarak test edilmiştir.

Tez çalışmasının oluşturulmasında bana yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Vedat TOĞAN'a, çalışmamın model kısmında katkıları sunan Doç. Dr. Selçuk ÇEBİ'ye, uygulama aşamasındaki yardımlarından ötürü değerli arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Gökhan ERDEN'e, uygulama için bana kapılarını açan firma yetkilileri ve çalışanlarına ve bu zamana kadar her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen anneme, babama, eşime, sevgili kızım Nisan'a ve biricik oğlum Ömer Mete'ye teşekkür ederim.

Aslıhan ÇEBİ
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ŞANTİYELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK DEĞERLENDİRMESİNDE BULANIK ÇIKARIM TEKNİĞİNİN KULLANIMI” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Vedat TOĞAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
05/07/2014

Aslıhan ÇEBİ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Temel Kavramlar	1
1.2.İnşaat Sektöründe İş Kazaları	2
1.3.Risk Değerlendirme Süreci.....	3
1.4.Risk Değerlendirme Teknikleri	6
1.4.1. Matris Teknikleri	9
1.4.1.1. 3T-Matris Tekniği	9
1.4.1.2. L Tipi Matris Tekniği.....	10
1.4.1.3. X-Tipi Matris.....	11
1.4.2. Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi.....	12
1.4.3. Birincil Risk Analizi	12
1.4.4. İş Güvenlik Analizi.....	13
1.4.5. Olay Ağacı Analizi	13
1.4.6. Hata Ağacı Analizi	14
1.4.7. Neden Sonuç Analizi	14
1.4.8. Olursa Ne Olur? (What if.. ?)	14
1.4.9. Kinney Metodu	14
1.4.10. Hata Türü ve Etkileri Analizi	15
1.5.Literatür Taraması	15
1.6.Çalışmanın Amacı	20
2. YÖNTEM.....	21

2.1.Giriş	21
2.2.Bulanık Mantık	21
2.2.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları	22
2.2.2. Dilsel Değişkenler	24
2.2.3. Bulanık Kümelerde Aritmetik İşlemler	26
2.3. Bulanık Çıkarım	27
2.4. Çalışmada Kullanılan Yöntem	29
3. UYGULAMA	32
4. BULGULAR	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
6. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ŞANTİYELERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK
DEĞERLENDİRMESİNDE BULANIK ÇIKARIM TEKNİĞİNİN KULLANIMI

Aslıhan ÇEBİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Vedat TOĞAN
2014, 56 Tez Sayfa

Ülkemizde İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) çalışmalarının geçmişi 19.yy. 'ın son çeyreğine kadar uzanmaktadır. Bu konudaki en önemli ve en kapsamlı düzenleme 30.06.2012 tarihinde yayımlanan 6331 sayılı İSG kanunudur. İSG kanununun temel felsefesini, işletmelerdeki üretim ya da hizmet süreçlerini gözden geçirerek meydana gelebilecek kazaları öngörme ve kazalara önlem almak oluşturmaktadır. Bu amaçla işletmeler için önleyici yaklaşım olarak risk değerlendirme çalışması zorunlu hale getirilmiştir. Risk değerlendirmesini eksiksiz olarak yapan bir firmada üretim/hizmetin kalitesi artarken yaşanabilecek kazaların önlenmesiyle işletmenin karşılaşacağı maddi ve manevi kayıplar ortadan kaldırılabilir. Risk değerlendirme sürecinin temel bileşenlerinden biri olan riskin analizinde, risk derecesi genellikle şiddet (S) ve olasılık (O) olarak tanımlanan iki parametrenin çarpımıyla elde edilir. Sunulan tez çalışması kapsamında, şantiyede yürütülen faaliyetlerin risk derecesi meydana gelebilecek bir kazanın olma ihtimali, kazanın sonucu ve kazanın işletme maliyetlerine etkisinin bileşkesi olarak ele alınmaktadır. Bu amaçla risk değerlendirme sürecinde bulanık çıkarım mantığına dayalı bir model kullanılarak bir şantiyenin risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İnşaat sektöründe risk değerlendirmesinin bulanık tabanlı bir model yardımıyla gerçekleştirilmesi ve risk derecesinin hesaplanmasında riskin proje maliyetlerine etkisinin de dikkate alınması çalışmanın orijinal yönleridir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat sektörü, tehlike, risk, risk değerlendirmesi, bulanık mantık

Master Thesis

SUMMARY

A RISK ASSESSMENT USING THE FUZZY INFERENCE TECHNIQUE IN TERMS OF
OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN CONSTRUCTION SITE

Aslıhan ÇEBİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Vedat TOĞAN
2014, 56 Pages

In our country, the basis of occupational health and safety (OHS) studies has been continuing since last quarter of 19th century. The most important and comprehensive regulations on this subject is the OHS laws, which was published on 30.06.2012 No. 6331. The basic sense of OHS laws is to predict and prevent occupational accidents by investigating and analyzing manufacturing/service process. For this purpose, it is an obligation for all firms to conduct risk assessment as a proactive approach. When product/service quality in a firm, that conducts risk assessment procedure completely, increases, tangible and intangible losses of firms can be eliminated by preventing occupational accidents. In the risk analysis, which is one of the main phases of risk assessment procedure, risk magnitude is generally obtained by multiplying two parameters defined as probability and severity. In the scope of this master thesis, the risk magnitude of the activities conducted at construction site is obtained by combining the possibility of the risk, the severity of the related risk and the effects of possible accidents on project costs. Therefore, risk assessment of a construction site is conducted by using fuzzy inference based model. The originality of this study, different from literature, is to apply a fuzzy inference based model to construction sector and is to consider effects of the risk on project costs by obtaining risk magnitude in terms of OHS.

Key Words: Construction sector, hazard, risk, risk assessment, fuzzy logic

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Risk değerlendirme süreci	4
Şekil 1.2. Risk analiz tekniklerinin özellikleri	7
Şekil 1.3. X-Tipi risk derecelendirme matrisi	11
Şekil 1.4. İş güvenlik analizi işlem basamakları	13
Şekil 2.1. Üçgensel bulanık sayının grafiksel gösterimi	23
Şekil 2.2. Yamuk bulanık sayının grafiksel gösterimi.....	24
Şekil 2.3. Bulanık çıkarım sistemine ait blok diyagram.....	27
Şekil 2.4. Önerilen modelin şematik gösterimi	31
Şekil 3.1. Şantiyeden genel görünüm	33
Şekil 3.2. Risk olabilirliği ve risk şiddetine ait üyelik fonksiyonu	37
Şekil 3.3. Risk derecesine ait üyelik fonksiyonu.....	37

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Risk analiz tekniklerinin kıyaslanması.....	8
Tablo 1.2. 3-T Tipi risk derecelendirme matrisi.....	9
Tablo 1.3. L-Tipi risk derecelendirme matrisi.....	10
Tablo 1.4. X-Tipi risk derecelendirme matrisi	12
Tablo 2.1. Çeşitli dilsel değişkenler ve dilsel değişkenlere karşılık gelen bulanık sayılar .	25
Tablo 2.2. Dilsel ifadelerin üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi.....	26
Tablo 3.1. Riskin gerçekleşme ihtimaline ilişkin dilsel veriler	36
Tablo 3.2. Riskin neden olabileceği maddi hasar	36
Tablo 3.3. Çalışan açısından riskin şiddetine ilişkin dilsel ifade	36
Tablo 3.4. Risk derecesine ait dilsel ifade	37
Tablo 3.5. Risklere ait dilsel değerlendirmeler ve risklere ait bulanık üçgensel sayılar	39
Tablo 3.6. Kural tabanı	40
Tablo 3.7. Dilsel değerlendirmelere ait üyelik dereceleri	41
Tablo 3.8. Risk büyüklerine ait üyelik dereceleri ve risk büyüklükleri	44
Tablo 4.1. Şantiye için tanımlanan risklerden kabul edilebilir risk derecesine sahip olanlar.....	47
Tablo 4.2. Çalışmada gözlemlenen önemli riskler	48
Tablo 4.3. Çalışmada gözlemlenen yüksek dereceli riskler	50

SEMBOLLER DİZİNİ

AHP	:	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	:	Analitik Ağ Süreci
C	:	Kritik
ETA	:	Olay Ağacı Analizi
FIS	:	Bulanık Çıkarım
FMEA	:	Hata Türü ve Etkileri Analizi
FTA	:	Hata Ağacı Analizi
H	:	Yüksek
HAZOP	:	Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi
İSG	:	İş Sağlığı ve Güvenliği
JSA	:	İş Güvenlik Analizi
L	:	Düşük
Ma	:	Büyük
Mi	:	Düşük
N	:	Çok düşük (Kabul edilebilir)
PHA	:	Ön Tehlike Analizi
PRA	:	Birincil Risk Analizi

1. GİRİŞ

Ülkemizde İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) çalışmalarının geçmişi 19.yy.'ın son çeyreğine kadar uzanmaktadır. Cumhuriyetin kurulmasından bu yana İSG üzerine birçok yönetmelik ve kanun maddesi yayınlanmıştır. Ancak bu konudaki en önemli ve en kapsamlı düzenleme 30.06.2012 tarihinde yayımlanan 6331 sayılı İSG kanunudur. İSG'ye ait düzenlemeler daha önce 4857 sayılı İş Kanunu'nun Beşinci bölümü olarak uygulanmakta iken Avrupa Birliği Uyum Süreci Kapsamında bu bölüm 4857 sayılı kanunun kapsamından çıkarılarak daha kapsamlı olarak 6331 sayılı kanun olarak yayımlanmıştır. Böylece, devlet kurum ve kuruluşları da dâhil olmak üzere yanında bir çalışanı bulunan tüm işletmeler 6331 sayılı kanundan yükümlü hale getirilmiştir.

İSG kanununun temel felsefesini, işletmelerdeki mevcut üretim ya da hizmet süreçlerinin gözden geçirilerek meydana gelebilecek kazaların öngörülmesi ve oluşabilecek kazalara karşı önlem alınması oluşturmaktadır. Söz konusu faaliyet ancak risk değerlendirmesiyle gerçekleştirilebileceğinden tüm işletmeler için risk değerlendirme çalışması zorunlu hale getirilmiştir. Risk değerlendirmesini eksiksiz olarak yapan bir firmada üretim/hizmetin kalitesi artarken yaşanabilecek kazaların önlenmesiyle işletmenin karşılaşacağı maddi ve manevi kayıplar en düşük seviyeye indirilebilmekte ve hatta ortadan kaldırılabilmektedir.

İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Birimi (Health and Safety Executive-HSE) işletmelerde yaşanan kazaların maliyetini belirlemek için 5 farklı sektörde faaliyet gösteren firmaların katıldığı ve 18 hafta süren bir çalışma yapmıştır. İncelenen dönem boyunca ölüm ya da yaralanmayla sonuçlanan büyük bir kaza oluşmamasına rağmen firmalarda yaşanan hafif kazalar sonucu toplam 87500 sterlin değerinde bir maliyetin oluştuğu tespit edilmiştir (Özkılıç, 2005). Bu sonuç işletmelerde İSG çalışmalarının ve risk analizinin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

1.1. Temel Kavramlar

Risk değerlendirmesi çalışmasında karşılaşılan temel kavramlar ve bu kavramların hem 6331 sayılı kanunda hem de 29 Aralık 2012 tarihinde yayımlanan Risk Değerlendirme Yönetmeliğinde verilen tanımları şu şekildedir;

İş Kazası: İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olay

Ramak kala olay: İşyerinde meydana gelen; çalışan, işyeri ya da iş ekipmanını zarara uğratma potansiyeli olduğu halde zarara uğratmayan olay

Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli olan durum

Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali

Risk Değerlendirmesi: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaların tümü

1.2. İnşaat Sektöründe İş Kazaları

Dünya'ya paralel olarak Türkiye'de de inşaat sektörü, iş kazalarının sıklıkla yaşandığı çok tehlikeli işkollarından biridir. Gelişmiş ülkelerde inşaat işçileri, diğer sektörlerde çalışan işçilere oranla 3-4 kat daha fazla kazaya uğrama riski taşımaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre bu oran 6 kata kadar çıkmaktadır. İnşaat sektörü, Türkiye'de de çok sayıda insanın hayatın kaybettiği ve çok daha fazla çalışanın sakatlanma veya yaralanma gibi rahatsızlıklar geçirdiği bir sektördür (URL 1, 2013).

SGK'nın 2012 yılında yayınladığı istatistiğe göre toplam 74.871 işçi kaza geçirmiş ve bu kazaların yaklaşık %1'i ölümlle sonuçlanmıştır. 2012 yılında meydana gelen iş kazaları sektörel bazda incelendiğinde kazaların yaklaşık %12'si inşaat sektöründe meydana gelirken, %9'u kömür madenciliğinde ve %10'u metal ürünleri imalatında meydana geldiği görülmektedir. Toplam kaza oranlarına bakıldığında 2012 yılında gerçekleşen kazalarda ilk sırayı inşaat sektörü alırken diğer sektördeki kaza oranları da birbirine yakındır. Ancak ölümlü kaza sayıları ele alındığında toplam 744 iş kazasının 256'sının yani 1/3'ünün inşaat sektöründe gerçekleştiği görülmektedir. Sürekli iş görmezlik sayılarını ele aldığımızda gerçekleşen kazaların yaklaşık %3'ü (2209'u) sürekli iş görmezlik olarak gerçekleşmiş ve sürekli iş görmezlik olarak sonuçlanan kazalarının yaklaşık %26'sının (568'i) inşaat sektöründe gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Yıllara göre kaza istatistikleri incelendiğinde

inşaat sektöründe yaşanan iş kazası ve ölümlerle sonuçlanan iş kazası sayıları açısından hep en ön sıralarda yer aldığı görülmektedir (URL2, 2013).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) ilkinin 2007 yılında yaptığı "İş Kazaları ve İşe Bağlı Sağlık Problemleri" konulu araştırma, Hane Halkı İşgücü Anketi ile birlikte ülkemizde ikinci defa 2013 yılı Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında, gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre madencilik ve taş ocakçılığı sektöründe iş kazası geçirenlerin oranı %10,4, elektrik, gaz, buhar, su ve kanalizasyon sektöründe iş kazası geçirenlerin oranı %5,2 iken, inşaat sektöründe iş kazası geçirenlerin oranı %4,3 olarak gerçekleşmiştir. TÜİK'in ankete dayalı yayınladığı 2013 raporuna göre, inşaat sektöründeki kaza oranları 2007 yılında olduğu gibi üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir (URL 3, 2013).

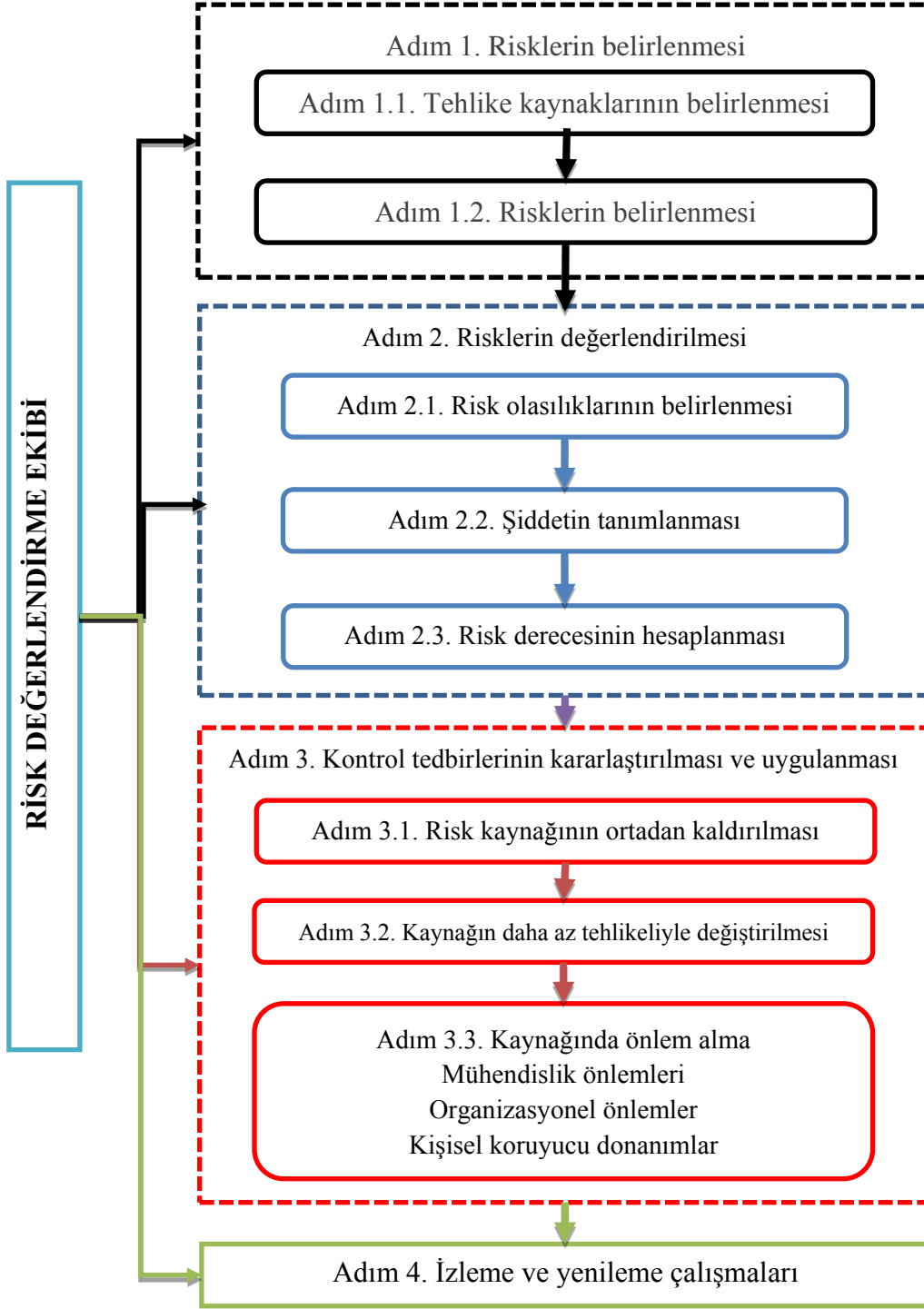
Hem 2012 SGK istatistikleri hem de TÜİK'in ankete dayalı raporuna göre emek yoğun işçilik gerektiren inşaat sektöründe çalışanların iş kazası geçirmesi ve/veya meslek hastalığına yakalanmasıyla ödediği bedelin azımsanmayacak kadar büyük olduğu görülmektedir.

1.3. Risk Değerlendirme Süreci

Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'ne (RDY) göre risk değerlendirme sürecinin 4 temel bileşeni vardır. Bu aşamalar; *i.* tehlike kaynaklarının tanımlanması, *ii.* risklerin belirlenmesi ve analiz edilmesi, *iii.* kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması ve uygulanması, *iv.* izleme ve yenileme çalışmalarıdır (Şekil 1.1.).

Risk değerlendirmesinin etkinliği oluşturulan ekibin tecrübesine bağlıdır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan RDY'ne göre risk değerlendirme ekibi şu şekilde oluşturulabilmektedir;

- İşveren veya işveren vekili
- İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetini yürüten iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri
- İşyerindeki çalışan temsilcileri
- İşyerindeki destek elemanları
- İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar.



Şekil 1.1. Risk değerlendirme süreci

Bir sonraki aşamada ise tehlike kaynaklarının tanımlanması ve risklerin belirlenmesi gelir. Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nde tehlikelerin tanımlanmasına ilişkin aşağıdaki hususların incelenmesi önerilmiştir;

- İşyeri bina ve eklentileri

- İşyerinde yürütülen faaliyetler ile iş ve işlemler
- Üretim süreç ve teknikleri
- İş ekipmanları
- Kullanılan maddeler
- Artık ve atıklarla ilgili işlemler
- Organizasyon ve hiyerarşik yapı, görev, yetki ve sorumluluklar
- Çalışanların tecrübe ve düşünceleri
- Çalışma izin belgeleri
- Çalışanların eğitim, yaş, cinsiyet ve benzeri özellikleri ile sağlık gözetimi kayıtları
- Genç, yaşlı, engelli, gebe veya emziren çalışanlar gibi özel politika gerektiren gruplar ile kadın çalışanların durumu
- İşyerinin teftiş sonuçları
- Meslek hastalığı kayıtları
- İş kazası kayıtları
- İşyerinde meydana gelen ancak yaralanma veya ölüme neden olmadığı halde işyeri ya da iş ekipmanının zarara uğramasına yol açan olaylara ilişkin kayıtlar
- Ramak kala olay kayıtları
- Malzeme güvenlik bilgi formları
- Ortam ve kişisel maruziyet düzeyi ölçüm sonuçları
- Varsa daha önce yapılmış risk değerlendirmesi çalışmaları
- Acil durum planları
- Sağlık ve güvenlik planı ve patlamadan korunma dokümanı gibi belirli işyerlerinde hazırlanması gereken dokümanlar

Risk değerlendirme yönetmeliğinde kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması ve uygulanması adımı, riskin tamamen bertaraf edilmesi, bu mümkün değil ise riskin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bunun için aşağıdaki adımlar uygulanır.

- Tehlike veya tehlike kaynaklarının ortadan kaldırılması
- Tehlikelinin, tehlikeli olmayanla veya daha az tehlikeli olanla değiştirilmesi
- Mühendislik önlemlerinin alınması
- Organizasyonel ve yönetsel önlemlerin alınması

- Kişisel önlemlerin alınması

1.4. Risk Değerlendirme Teknikleri

Literatür incelendiğinde, birbirinden çok farklı ve çok sayıda risk analiz tekniği olduğu görülmektedir. Bu tekniklerden uygulamada en çok kullanılanlar şunlardır (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008);

- Hata Türü ve Etkileri Analizleri (Failure Modes and Effects Analysis -(FMEA))
- Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi (Hazard and Operability Studies-(HAZOP))
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis-(FTA))
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis-(ETA))
- Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (Hazard Analysis and Critical Control Points-HACCP)
- Matris Yöntemleri
 - 3T-Matris Yöntemi
 - L-Matris Yöntemi
 - X-Tipi Matris Yöntemi
- Ön Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis-PHA)
- Kinney Metodu
- Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis-PRA)
- Makine Risk Değerlendirmesi
- İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis-JSA)
- Neden Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis)
- Olursa ne olur? (What if..?)

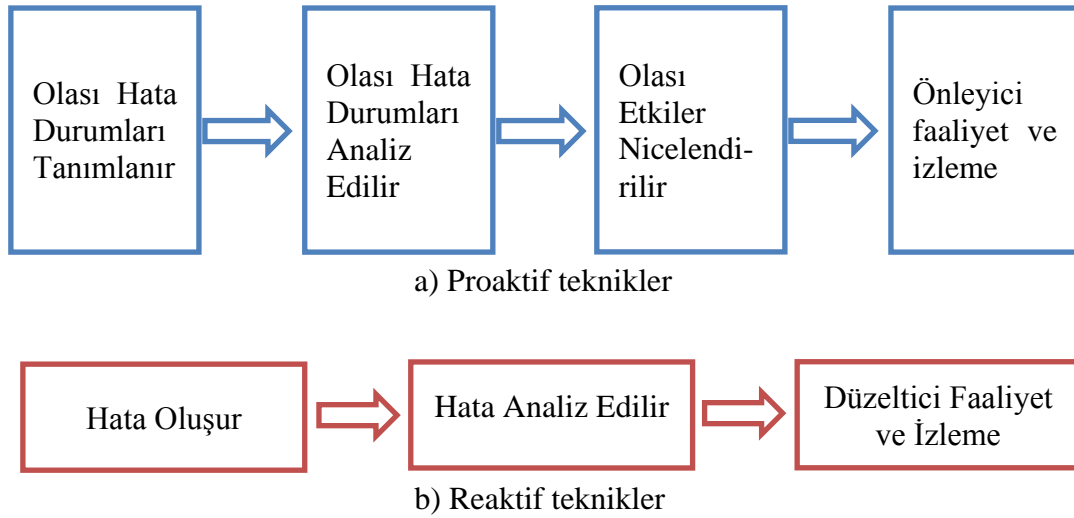
Yukarıda verilen risk analizi yöntemleri hem kullandığı teknik açısından hem de uygulandığı aşama açısından iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Kullandığı teknik olarak ele alındığında nitel, nicel ve karma risk teknikleri olarak üçe ayrılırken uygulandığı safhaya göre de proaktif ve reaktif olmak üzere ikiye ayrılır. Nicel (Kantitatif-Sayısal) risk analizinde, risk derecesi hesaplanırken tamamen matematiksel teoremler kullanılırken nitel (kalitatif) risk analizinde, risk derecesi riskin olma ihtimali ve riskin şiddeti için sınıflandırılmış verileri temsil eden sayısal değerler kullanılarak hesaplanır (Özkılıç, 2005). Diğer bir ifadeyle, nitel risk analizinde olasılık ve şiddetin ölçümü için geliştirilmiş standart ölçekler kullanılır. Yöntemlerin uygulandığı aşamaya göre yapılan sınıflandırmada

ise; kaza olduktan sonra nedenlerinin araştırılmasında kullanılan tekniklere reaktif teknik ve kaza meydana gelmeden önlem almayı amaçlayan tekniklere de proaktif teknik olarak adlandırılır. Proaktif ve reaktif teknik arasındaki fark Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

Risk değerlendirme teknikleri arasındaki farklar, hesaplama farklılıkları, riskin derecelendirmesinde kullandıkları ölçekler, uygulama safhaları gibi noktalardan kaynaklıdır. Tablo 1.1’de risk analiz tekniklerinin kıyaslaması verilmiştir (Özkılıç, 2005). En yaygın olarak kullanılan risk değerlendirme teknikleri ve tekniklerin faydalandıkları hesaplama yöntemleri alt bölümlerde özetlenmiştir.

Risk derecesinin hesaplanmasında genellikle şiddet (Ş) ve olasılık (O) olmak üzere iki parametre kullanılır ve riskin derecesi bu parametrelerin çarpımıyla elde edilir (Denklem 1.1)

$$R = O \times \text{Ş} \quad (1.1)$$



Şekil 1.2. Risk analiz tekniklerinin özellikleri

Tablo 1.1. Risk analiz tekniklerinin kıyaslanması (Özkılıç 2005).

	What If	PHA	JSA	PRA	HAZOP	CCA
Gerekli İhtiyacı	Çok Az	Orta	Çok Fazla	Çok Az	Çok Fazla	Çok Fazla
Tim Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim Çalışması	Tim Çalışması	Tim Çalışması	Tim Çalışması
Tim Liderinin Tecrübesi	Orta Düzeyde Deneyim	Orta Düzeyde Deneyim	Çok Fazla Deneyim	Orta Düzeyde Deneyim	Çok Fazla Deneyim	Çok Fazla Deneyim
Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Her Sektöre Uyar	Her Sektöre Uyar	Her Sektöre Uyar	Her Sektöre Uyar	Kimya Endüstrisi	Her Sektöre Uyar
Uygulama Başarı Oranı	Risklerin Belirlenmesi Aşamasında Yeterlidir. Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı Değişir.	Birincil Risk Değerlendirme Yöntemidir. Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı Değişir.	Özellikle kişilerin Görev Tanımları İyi Yapılmışsa Başarı Sağlanabilir.	Basit Prosedürlü İşlerde Uygulanabilir, Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı Değişir.	Oldukça Zor Bir Yöntemdir, Yüksek Tecrübe ve Takım Üyelerinin Yüksek Performansını Gerektirir.	Yüksek Tecrübe ve Takım Üyelerinin Yüksek Performansını Gerektirir.
	FMEA/ FMECA	Güvenlik Denetimi	FTA	ETA	L TİPİ MATRİS	X TİPİ MATRİS
Gerekli İhtiyacı	Çok Fazla	Çok Az	Çok Fazla	Çok Fazla	Çok Az	Çok Fazla
Tim Çalışması	Tim Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim Çalışması	Tim Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim Çalışması
Tim Liderinin Tecrübesi	Orta Düzeyde Deneyim	Orta Düzeyde Deneyim	Çok Fazla Deneyim	Çok Fazla Deneyim	Orta Düzeyde Deneyim	Çok Fazla Deneyim
Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Elektrik / Makine	Her Sektöre Uyar	Her Sektöre Uyar	Her sektöre Uyar	Basit Prosedürlü İşler	Her sektöre Uyar
Uygulama Başarı Oranı	Analiz Öncesinde, FTA Yapılması Başarı Oranını Artırır.	Tüm Sektörlerde Rahatlıkla Uygulanır, Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı Değişir.	Yüksek Tecrübe ve Takım Üyelerinin Yüksek Performansını Gerektirir.	Yüksek Tecrübe ve Takım Üyelerinin Yüksek Performansını Gerektirir.	Basit Prosedürlü İşlerde Uygulanabilir, Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı değişir.	Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır. Tim Liderinin Tecrübesine Göre Başarı Oranı değişir.

1.4.1 Matris Teknikleri

Matris yöntemleri 3T, L Tipi ve X Tipi olmak üzere üçe ayrılır. İlk iki teknik uygulaması basit olması nedeniyle en sık kullanılan tekniklerdir.

1.4.1.1 3T-Matris Tekniği

Şiddet ölçeği ve kontrol ölçeği olmak üzere iki parametrelili bir matristir. Risk derecesi şiddet ve kontrol ölçeklerinin bileşkesi alınarak belirlenir. Şiddet ölçeği, Hafif (Hafif yaralanma veya rahatsızlık, en fazla 3 gün çalışmama), Ciddi (Uzun süreli yaralanma veya hastalık; basit yaralanmalar veya kırıklar gibi, En fazla 30 gün çalışmama) ve Çok ciddi (Kalıcı yaralanma/hastalık veya ölüm, parmak kesilmesi, ikinci/üçüncü derece yanıklar, kafatası çatlakları, kanser, astım) aşamalarından oluşurken kontrol ölçeği, Önlem ve kontroller yeterli, İyileştirmeye bir miktar ihtiyaç duyulmakta ve İyileştirmelere ciddi ihtiyaç duyulmakta şeklinde üçlü ölçeklerden oluşur. Kontrol ve şiddet ölçeklerine bağlı olarak risk dereceleri Tablo 1.2’de verilmiştir. Söz konusu riske ait kontrol ölçeği ile şiddet ölçeğinin kesişimi riskin derecesini verir. Tablo 1.2.’de risk dereceleri ve ilgili risk derecesi için alınması gereken önlemler verilmiştir (URL 4, 2013).

Tablo 1.2. 3-T tipi risk derecelendirme matrisi

Mevcut Kontrol Önlemlerinin Düzeyi		Yaralanma ve Hastalıkların Potansiyel Şiddeti		
		1	2	3
		Hafif	Ciddi	Çok Ciddi
1	Kontrol önlemleri yeterli; sorun çıkmamış.	0 Önemsiz risk	1 Hafif risk; durumu gözlemlemeye devam edin.	2 Küçük risk; sorunların kontrol altında olmasını sağlayın.
2	İyileştirmeye ihtiyaç var; ara sıra sorunlar çıkmış.	2 Küçük risk; durumu gözlemlemeye devam edin ve kolay önlemleri uygulayın.	3 Orta derece risk; uygun önlemleri planlayıp, uygulayın.	4 Büyük risk; önlemleri hızla planlayıp uygulayın.
3	Kayda değer iyileştirme gerekli; sık sık sorunlar çıkıyor.	3 Orta derece risk; uygun önlemleri planlayıp uygulayın.	4 Büyük risk; önlemleri hızla planlayıp, uygulayın.	5 Vahim risk; derhal önlemleri planlayıp uygulayın.

1.4.1.2 L Tipi Matris Tekniği

L tipi matris tekniği 3-T matris tekniğinde olduğu gibi iki parametre kullanarak risk derecesini hesaplar. Ancak, iki teknik arasındaki fark tekniklerin kullandığı ölçek ve risk derecesinin hesaplanmasından kaynaklanır. L tipi matris tekniğinde risk şiddeti ve risk olasılığı için 5 ölçekli bir gösterge çizelgesi kullanılır ve risk derecesi her iki parametrenin çarpımıyla elde edilir. Bu yöntemde riskin gerçekteşme ihtimali ve riskin gerçekteşmesi durumunda ortaya çıkan şiddet ilgili ölçekten seçilir. Tablo 1.3'te L tipi matris için risk dereceleri görölmektedir (Sabuncu, 2008).

Tablo 1.3. L-Tipi risk derecelendirme matrisi

Şiddet Olasılık	1 Çok Hafif	2 Hafif	3 Ciddi	4 Çok Ciddi	5 Felaket
1 Çok düşük	1 Çok düşük	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
2 Düşük	2 Düşük	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
3 Orta	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Yüksek
4 Yüksek	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Yüksek	20 Yüksek
5 Çok yüksek	5 Düşük	10 Orta	15 Yüksek	20 Yüksek	25 Çok yüksek

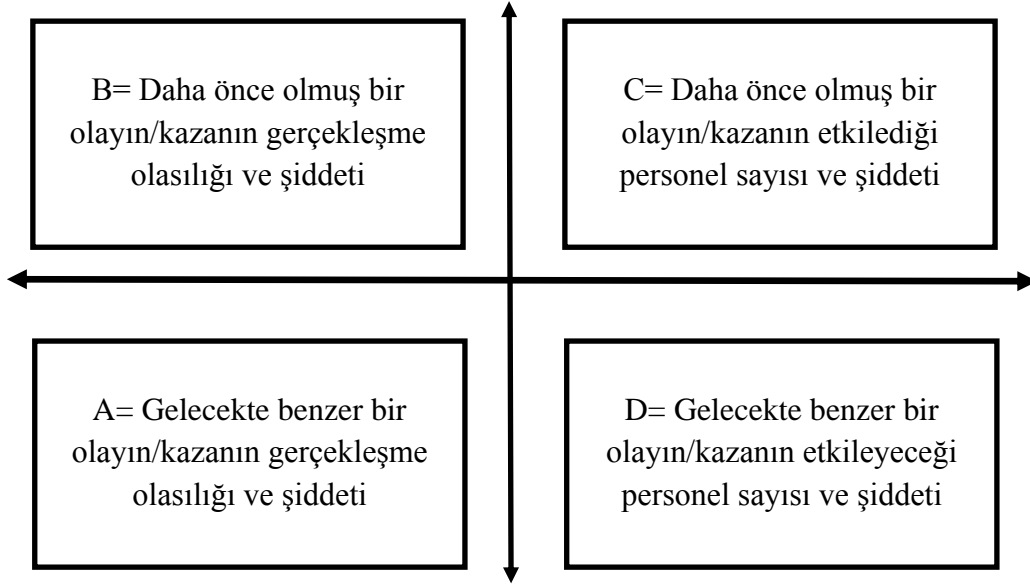
Risk derecesine göre üç farklı eylem uygulanabilir. Bunlar (Özkılıç, 2005);

1. Eğer risk derecesi yüksek ya da tolerans gösterilemez boyutta ise; belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı, eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekteşirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa faaliyet engellenmelidir.
2. Eğer risk derecesi orta seviyede ise; belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Bu aşamada işlemi durdurmaya gerek yoktur.

3. Eğer risk düşük ya da anlamsız seviyede ise; belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol süreçlerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.

1.4.1.3 X-Tipi Matris

Bu tip risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için 5 yıllık geçmiş kaza kayıtlarına ihtiyaç vardır. Bu yöntemde geçmişte meydana gelen kazanın olasılığı, olduğunda ortaya çıkan şiddeti, kaç kişinin bundan zarar gördüğü gibi durumlarla birlikte gelecekte aynı kazanın meydana gelmesi durumunda ortaya çıkacak şiddeti, kaç kişinin zarar göreceği ve kazanın gelecekte olma ihtimalini birlikte değerlendiren bir tekniktir. Şekil 1.3’de X matris tekniğinin hesaplama mantığı gösterilmiştir. Risk derecesi her dört parametre değerinin toplamıyla elde edilir. Tablo 1.4’te ise X tipi risk derecelendirme matrisi verilmiştir (Özkılıç, 2005).



Şekil 1.3. X-Tipi risk derecelendirme matrisi değişkenleri (Özkılıç, 2005)

Tablo 1.4. X-Tipi risk derecelendirme matrisi (Özkılıç, 2005)

Ölüm	5	10	15	20	25	ÖNCEKİ BENZER KAZALAR	5	10	15	20	25
Uzuv Kaybı	4	8	12	16	20		4	8	12	16	20
İş Günü Kaybı	3	6	9	12	15		3	6	9	12	15
Hafif Yaralan.	2	4	6	8	10		2	4	6	8	10
Ramak Kala	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	OLASILIK						PERSONEL SAYISI				
Çok ciddi	5	10	15	20	25	ŞİDDET	5	10	15	20	25
Ciddi	4	8	12	16	20		4	8	12	16	20
Orta	3	6	9	12	15		3	6	9	12	15
Hafif	2	4	6	8	10		2	4	6	8	10
Çok hafif	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	Çok küçük	Küçük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek		1 kişi	1-3 Kişi	5 Kişi	5-10 Kişi	10'dan fazla

1.4.2 Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi

Tehlike ve çalışabilirlik analizi (Hazard and Operability Study-HAZOP) kimya endüstrisinin içerdiği özel tehlike potansiyelleri dikkate alınarak geliştirilen bir risk analizi tekniğidir. Disiplinler arası bir ekip tarafından, kaza odaklarının saptanması, analizleri ve ortadan kaldırılmaları için uygulanır. Burada ana amaç, anahtar ve kılavuz kelimeleri kullanarak sistemdeki sapmaları tespit etmektir. Çalışmaya katılanlara, belli bir yapıda sorular sorularak bu olayların olması veya olmaması durumunda ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı sorulur. Bir iş sürecindeki sapmaların etkilerinin tespit edilmesini ve normal koşullar altındaki süreçle karşılaştırma imkânı sağladığından dolayı kendi alanında geniş kabul görmüş bir tekniktir. (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008)

1.4.3 Birincil Risk Analizi

Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis-PRA), bir faaliyeti yerine getirirken olabilecek kazaları analiz edebilmek için kullanılan sistematik bir yöntemdir. Her bir kaza için PRA, kazaları önlemek veya kaza nedenlerini önlemek için çok belirgin korunma yolları tanımlar. PRA, kaza ile ilgili riski, tehlikeyi azaltıcı tavsiyelerde bulunarak tanımlar. Kazanın teşhis edilebilmesi için şu sorunun cevabı aranır? “ Bu aktiviteyi yerine getirirken ne gibi potansiyel kazalar meydana gelebilir?” Birincil risk analizi, potansiyel

kazalar içerisinde düşük risk içeren kazaları eleyerek risk değerlendirme ekibinin yüksek risk içeren kazalara yoğunlaşmasına katkı sağlar (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008).

1.4.4 İş Güvenlik Analizi

İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis-JSA) kişi veya gruplar tarafından gerçekleştirilen iş görevleri üzerinde yoğunlaşır. Bir işletme veya fabrikada işler ve görevler iyi tanımlanmışsa bu yöntem uygundur. Şekil 1.4'de yöntemin aşamaları gösterilmiştir (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008)



Şekil 1.4. İş güvenlik analizi işlem basamakları

1.4.5 Olay Ağacı Analizi

Olay ağacı analizi (Event Tree Analysis-ETA) başlangıçta nükleer enerji santrallerinde işletilebilme analizi olarak kullanılmıştır, daha sonra diğer sektörlerde de sıklıkla uygulanmaya başlanmıştır. Olay ağacı analizi, başlangıçta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların akışını diyagram ile gösteren bir yöntemdir ve tümevarım mantığını kullanır. Başlatıcı olayların ortaya konduğu ve geçmiş kayıtlarla olasılık değerlerinin saptanabildiği, hem nicel hem de nitel olarak kullanılabilen bir tekniktir (Özkılıç, 2005).

1.4.6 Hata Ağacı Analizi

Hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis- FTA) bir tepe olayın gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi için alınması gereken önlemleri ayrıntılı bir şekilde analiz eden tekniktir. Olmaması istenen tepe olay saptanarak bu olaya neden olabilecek tüm faktörler analiz edilir. Yöntem uygulanırken olay ağacı analizinin tersine tümdengelim mantığı kullanılır. Bu yöntem hem önleyici hem de reaktif olarak uygulanabilir (Özkılıç, 2005).

1.4.7 Neden Sonuç Analizi

Neden sonuç analizi (Cause-Consequence Analysis-CCA), FTA ile ETA tekniklerinin bir harmanıdır. Bu yöntem balık kılıçığı diyagramı olarak da adlandırılan ve neden analizi ile sonuç analizini birleştiren tekniktir. Bu nedenle de hem tümdengelim, hem de tümevarım mantığını kullanır. Neden sonuç analizinin amacı, olaylar arasındaki zinciri tanımlarken istenilmeyen sonuçların nelerden meydana geldiğini belirlemektir. Neden sonuç diyagramındaki çeşitli olayların olasılığı ile çeşitli sonuçların olasılıkları hesaplanabilir. Böylece sistemin risk düzeyi belirlenmiş olur (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008).

1.4.8 Olursa Ne Olur? (What if.. ?)

Olursa ne olur? (Waht if...?) tekniği fabrika ziyaretleri ve prosedürlerin gözden geçirilmesi sırasında yararlı olan bir tekniktir. Hali hazırda var olan kaçınılmaz potansiyel tehlikelerin tespit edilmesini kolaylaştırır. “Olursa ne olur?” sorusuyla başlar ve bu sorulara verilen cevaplara göre verilecek tavsiyelerin belirlenebileceği nitel bir yöntemdir. Risk değerlendirme raporunda, tehlikelerin tipini tarif etmek ve tavsiyeleri değerlendirmek maksadıyla kullanılır (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008).

1.4.9 Kinney Metodu

Yöntem G.F. Kinney and A.D Wiruth tarafından 1976 yılında geliştirilmiştir. Yöntem, risk derecesini (R) hesaplarken, şiddet (S), olasılık (O) ve sıklık (F) olmak üzere

üç farklı parametre kullanır (Denklem 1.2). Bu yöntemde diğerlerinde farklı olarak işin rutin olarak yapıldığı ya da rutin olarak yapılmadığında ne sıklıkla tekrar edildiği de incelenerek risk derecesi belirlenir (Özkılıç, 2005).

$$R = O \times \S \times F \quad (1.2)$$

1.4.10 Hata Türü ve Etkileri Analizi

Hata türleri ve etkileri analizi (Failure Mode and Effect Analysis-FMEA) üretimde oluşan hataların müşteriye ulaşmadan tespit edilmesi ve önlem alınması için geliştirilen bir tekniktir. İş kazası da bir çeşit üretim hatası olarak görüldüğünden İSG açısından da kullanılan bir tekniktir. Yöntem; potansiyel hata kaynaklarını, etkilerini ve nedenlerini bulup değerlendirme, potansiyel hatanın oluşma ihtimalini azaltacak ya da tümüyle yok edecek önlemleri belirleme ve tüm bu işlemleri belgeleme amacını taşıyan sistemli çalışmaların bütünü olarak tanımlanmaktadır. FMEA tekniğinde de Kinney metodunda olduğu gibi üç parametreye bağlı olarak risk derecesi hesaplanır. FMEA'da Kinney yönteminden farklı olarak sıklık yerine tespit edilebilirlik (T) parametresi vardır (Denklem 1.3)

$$R = O \times \S \times T \quad (1.3)$$

Hata türleri ve etkileri analizi, Sistem FMEA, Tasarım FMEA, Proses FMEA, Servis FMEA olmak üzere dört farklı türü vardır. Uygulama alanları ise hem üretim hem de hizmet sistemlerini kapsamaktadır (Özkılıç, 2005; Sabuncu, 2008).

1.5. Literatür Taraması

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışması, hem bulanık temelli risk analizi teknikleri hem de İSG uygulamaları olmak üzere iki farklı boyutta ele alınacaktır.

Heller (2006) hazırladığı çalışmada, bir fabrikanın yerleşiminin yapılacağı üç bölge için mevcut riskleri analitik hiyerarşi süreci (Analytic Hierarch Process-AHP) yöntemi ile

değerlendirmiştir. Önce alt ölçütler, oluşturulup daha sonra bunlar insan, çevre ve teknoloji başlıkları altında toparlanmıştır.

Ali ve Maryam (2013) hazırladıkları çalışmada, İran'daki Polrood barajının yapımı sırasındaki çevresel riskleri belirlenmiş, sıralanmış ve değerlendirilmiştir. İlk olarak Delphi Tekniği kullanılarak risk faktörleri belirlenmiş ve TOPSIS yöntemi ile bu faktörler derecelendirilmiştir. İkinci olarak AHP yöntemi ile risk faktörleri dört ana gruba ayrıştırılmış ve Expert Choice yazılımından faydalanılarak risk faktörlerine karşılık gelen ağırlıklar belirlenmiştir.

Kuo ve Lu (2013) hazırladıkları çalışmada, bir büyükşehir inşaat projesi riskini sistematik olarak değerlendirmek için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanmışlardır. 20 adet risk faktörü belirleyerek bunları mühendislik tasarımı, inşaat yönetimi, inşaat güvenliği, doğal afetler ve sosyal ve ekonomik risk boyutları ana başlıkları altında toplamışlardır. Önerilen yaklaşım genel proje riskini değerlendirmek için ve bir inşaat projesinin önemli risklerini tespit etmek için kullanılmıştır.

Liu vd. (2013) yaptıkları çalışmada, bilimsel sondaj projesi, risk değerlendirmesi için bir bulanık sentetik değerlendirme yaklaşımı önermişlerdir. Olasılık, şiddet, tespit edilememe ve kötüleşme faktörleri bireysel ve genel risklerin kapsamlı değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarını belirlemek için analitik hiyerarşi süreci (AHP) / analitik ağ süreci (ANP) kullanılmıştır. Genel risk düzeyini temsil etmek için risk indekslerinin değerleri hesaplanmıştır. Önerdikleri yöntemi doğrulamak için yöntemi, Jilin Üniversitesinde yürütülen SinoProbe-09 projesinin risk analizi üzerine ait bir vaka çalışmasına uygulanmışlardır. Çalışma sonucunda bilimsel sondaj projesinin risklerinin etkin ve verimli bir şekilde değerlendirilebileceğini göstermişlerdir.

Tamosaitiene vd. (2013) yaptıkları çalışmada, ticaret merkezi inşaatı için risk değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. Risk değerlendirmesi için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmışlardır. Yöntem, 3 adet projenin risk düzeylerinin belirlenmesine uygulanmıştır.

Özkök (2013) çalışmasında, tersanelerde yaşanan yaralanma ve ölümle sonuçlanan kazaları ele almış ve tersanedeki işlem süreçlerini hata türü ve etki analizi (FMEA) tekniği ile değerlendirerek risk derecelerini belirlemiştir.

Guo vd (2013) tesislerde zehirli boya içeren kimyevi malzemelerin uzun dönemli kullanımı ile oluşan arazi ve tortu kirliliğini tanımlamaya dayalı sağlık ve ekolojik risk değerlendirmesini kapsayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında ekolojik risklerin

yanında orada ikamet eden kişilerin maruz kaldıkları ve sağlıklarının bozulmasına neden olan potansiyel riski de ele almışlardır.

Acuner ve Çebi (2013) tersanelerde yaşanan kazaların önlenmesine yönelik risklerin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) tekniğine dayalı bir bulanık model önermişlerdir.

Barlas (2012a) gemi inşaatı endüstrisi için 2000 ve 2010 yılları arasında gerçekleşen ölümcül iş kazalarını temel nedenleriyle sınıflandırmıştır. Bu hataları belirlenen risk bölgelerinde en aza indirecek stratejileri belirlemeye çalışmıştır.

Fouladgar vd. (2012), bir tünel projesine ait riskleri değerlendirmek için TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Yöntemin geçerliliğini göstermek için su iletim tüneline ait vaka çalışması yapılmıştır. Tünelin çöküşünün projedeki en riskli faktör olduğunu belirlenmişlerdir.

Beraha vd (2012) yapmış oldukları çalışmada, Hindistan endüstrisinin güvenlik performansını değerlendirmek için bir bulanık çıkarım yaklaşımı öne sürmüşlerdir. Kazaların farklı türlerinin tahmini için yapay zekâ yaklaşımından faydalanarak bu yaklaşımın kazaları önlemek, güvenlik performansını arttırmak ve İSG'yi sağlamak için yararlı olabileceğini iddia etmişlerdir.

Pinto vd (2012) İş Güvenliği Risk Değerlendirmesinin (OSRA) temel amacının güvenlik seviyesini geliştirmek, kazaları ve yaralanmaları önlemek veya en aza indirmek olduğunu belirterek OSRA işlemlerinin kaliteli ve etkili bir şekilde uygulanması gerektiğini savunan bir çalışma sunmuşlardır. Gelecekte endüstri alanları için OSRA işlem kalitesini geliştirmeyi amaçlamışlardır.

Barlas (2012b) Türkiye'deki tesislerde meydana gelen ölümcül iş kazalarını AHP tekniğinden faydalanarak araştırmış ve uygulama alanı olarak İstanbul Tuzla bölgesindeki tesisleri seçmiştir. Öncelikli nedenleri belirlemek için anket uygulaması yapmış ve belirlediği temel ölümcül iş kazalarının nedenlerini sınıflandırırken de AHP tekniğinden yararlanmışır.

Yun ve Park (2012) çalışmalarında, Kore'de her yıl artış gösteren iş kazalarını önleyebilmek amacıyla gemi inşaatı endüstrisinde RFID/USN teknolojisi kullanarak forklift işlemlerindeki riskler için endüstri güvenlik yönetim sistemi geliştirmişlerdir.

Karimi vd. (2011) çalışmalarında, bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak, uygun risk değerlendirme tekniğini tanımlamış ve değerlendirme ölçütlerini nominal grup tekniği

yardımla belirlemişlerdir. Önerilen yaklaşım, bir İran inşaat şirketini kapsayan gerçek bir vaka ile gösterilmiştir.

Morhaviyas vd (2011) çalışmalarında, iş kazaları verilerini kullanarak yeni bir melez (hybrid) risk değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Yunan kamu elektrik enerjisi firmasında oniki yıllık iş kazası verilerini kullanarak yöntemle bir uygulama yapmışlardır. Uygulama sonucunda bazı durumlarda karşılaşılabilecek risk değerlerini hesaplayarak alınabilecek önlemlere dikkat çekmişlerdir.

Pinto vd (2011) çalışmalarında, inşaat endüstrisindeki mesleki risk değerlendirmesi üzerinde kullanılan yöntemleri sunarak kötü tanımlı durumlarla başa çıkabilmek için bulanık yaklaşım kullanmanın avantajlı noktalarına dikkat çekmişlerdir.

Abbe vd (2011) inşaat endüstrisini yaralanma istatistiklerine göre yüksek riskli endüstri olarak tanımlamışlardır. Mesleki stres, psikososyal/fiziksel semptomlar ve yaralanmalar arasındaki ilişkiyi araştırmak için altmış beş inşaat çalışanı ile gerçekleştirilmiş bir çalışma sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre yaralanmalarda ve kazalarda potansiyel risk içeren durumların (baş ağrısı, üzgün hissetme, güvenlik şartları vb.) ve meydana gelen stresin kaynağının araştırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Jeong vd (2011) yapmış oldukları çalışmada, kanserin tersanelerde temel endişe sebebi olduğunu vurgulamışlardır. Kore’de bir tersanede üretimde ve ofiste çalışanlar arasındaki kansere yakalanma riskini 1992’den 2005’e kadar geriye dönük bir çalışma yaparak karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre üretimde çalışanların kansere yakalanma riskinin daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Çelebi vd (2010) gemi endüstrisinin en eski ve en ağır üretim endüstrisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu endüstri ile alakalı tesislerdeki iş sağlığı ve güvenliği riskini araştırmak amacıyla İstanbul Tuzla’daki tesiste süreçler üzerine detaylı bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak, kaza ve yaralanma riskini en aza indirmek için ISO 9001, ISO 14001 ve OHSAS 18001 kalite yönetim sistemlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Bragatto vd (2010) bir endüstri topluluğundaki iş güvenliği kontrol programlarının etkisini değerlendiren bir çalışma sunmuşlardır. Değerlendirmede, performans ve denetleme değişkenleri belirleyerek bu değişkenleri bulanık bir modelle incelemişlerdir.

Aneziris vd (2010) Kuzey Yunanistan’da yer alan bir tünel inşaatındaki iş risklerinin ölçümüne yönelik bir çalışma sunmuşlardır.

Jacinto ve Silva (2010) kelebek gösterimi (bow-tie diagram/representation) tekniğini kullanarak yarı niceliksel bir mesleki risk değerlendirme metodu öne sürmüşlerdir. Metodu gemi inşaat endüstrisinde uygulayarak test etmişlerdir. Bu sektörün iş kazalarında geniş risk oranına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Unsar ve Sut (2009), Türkiye’de 2000 ve 2005 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının genel değerlendirmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Türkiye’de her yıl yaklaşık bin kişinin iş kazaları yüzünden öldüğünü, iki bin kişinin yaralandığını ve geçici veya kalıcı sakatlık geçirdiğini belirterek konunun önemine dikkat çekmişlerdir. Kazaları önlemenin başarılı stratejilerine, çalışanlarla işbirliğine ve etkili iş kazası analizlerine dayandığını belirtmişlerdir.

Zeng vd (2007) yaptığı çalışmada bir çelik konstrüksiyon inşaat projesinin tamamlanmasına ilişkin risk için bulanık çıkarım tekniğine dayalı bir model önermiş ve projenin sahip olduğu riski tespit etmiştir.

Wang ve Elhag (2006) yaptıkları çalışmada, köprü risk değerlendirmesi için bulanık tabanlı TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında risk faktörlerini güvenlik, sürdürülebilirlik, fonksiyonellik ve çevre başlıkları altında toplamış ve beş farklı köprünün risk durumlarını incelemişlerdir.

Chevreau vd (2006) kelebek (bow-tie) gösterimini kullanarak kazalara neden olan riskli süreçleri düzenlemeyi amaçlayan bir yöntem öne sürmüşlerdir. Aramis metodu olarak adlandırdıkları yöntemi risk analizlerinde etkili ve tamamlayıcı yöntem olarak önermişlerdir.

Nishikido vd (2006) yapmış oldukları çalışmalarında küçük ve orta ölçekli kuruluşları ele alarak İş Sağlığı ve Güvenliği için katılımcıları teşvik edici yeni bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Geliştirdikleri çok boyutlu faaliyet kontrol listesi yaklaşımıyla İSG’nin işletmelerde çalışanlar ve işçiler tarafından daha iyi anlaşılacağını savunmuşlardır.

Robu vd (2003) çalışmalarında Romanya’nın Karadeniz kıyısındaki bir tesis için risk değerlendirmesi yapmışlardır. Öncelikli olarak çevreyi ve insan sağlığını etkileyen durumları saptamışlar daha sonrada riskin niceliksel değerlerini, risk ağacı analizini ve matris yöntemlerini kullanarak risklerin tahminini yapmışlardır.

Mattorano vd (2001) gemi tamiri ve üretimi esnasında maruz kalınan metalin sağlığa zararını İş Sağlığı ve Güvenliği Ulusal Enstitüsü ile beraber değerlendirdikleri bir çalışmayla ortaya koymuşlardır.

Swatt (1997) sanayi tesislerinde kazaların ve riskli olayların görüntülenmesi ile ilgili bir çalışma sunmuştur. Tesislerde riskli olayları kaydederek kazaların nedenlerini bulabilmeyi ve alınacak önlemleri belirleyebilmeyi amaçlamıştır. Öne sürdüğü yaklaşımı dört farklı endüstride meydana gelen kazaları göz önüne alarak test etmiştir.

1.6. Çalışmanın Amacı

Yukarıda bahsedilen risk değerlendirme yöntemleri arasında sık kullanılanlarının pek çoğu şiddet, olasılık, frekans (sıklık) gibi bazı parametrelere bağlıdır. Oysaki bir şantiyede meydana gelebilecek bir kazanın çalışana verdiği zarar kadar işin teslim süresine de etkisi söz konusu olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, inşaat sektöründe İSG açısından meydana gelecek yaralanma ve ölümlerle sonuçlanabilecek iş kazalarının risklerinin analiz edilmesi için bulanık çıkarım mantığına dayalı bir model kullanılacaktır. Literatürden farklı olarak çalışmada, bir şantiyede yürütülen faaliyetlerin risk derecesi meydana gelebilecek bir kazanın gerçekleşme ihtimali, kazanın çalışan üzerindeki etkisi ve kazanın iş bitiş maliyetine etkisinin bileşkesi olarak ele alınacaktır.

2. YÖNTEM

2.1.Giriş

Bu bölümde, İSG açısından risklerin belirlenmesinde kullanılacak olan bulanık çıkarım sisteminin temel bileşenlerini oluşturan bulanık kümelerin, dilsel ifadelerin ve çıkarım mantığının özetlenmesine çalışılmaktadır.

2.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh'in bir çalışmasıyla ortaya atılmıştır. Literatürde yer aldığı tarihten beri birçok çalışmada ve uygulama alanında kullanılmaya başlayan bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizlik altında değerlendirme yapabilmeyi mümkün kılan bir yöntemdir. Uygulamada karşılaşılan problemlerin karmaşıklığına bağlı olarak problemlerin çözümü için deterministik, stokastik ve bulanık modeller kullanılmaktadır. Problemin karmaşıklığı arttıkça model deterministik modellemeden bulanık modellemeye doğru değişim gösterir (Ross, 2004).

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark klasik mantık olayları kesin bir değerle açıklamaya çalışırken bulanık mantık olayları bir aralıkta değerlendirir. Bu nedenden dolayı klasik yöntemlerle karmaşık sistemlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi zordur. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde, varlık, küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda 1 kümenin elemanı olmadığında ise 0 değerini alır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmiş hali olması nedeniyle bulanık mantıkta her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ ile gösterilir. Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Klasik kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak günlük yaşamda yapılan değerlendirmelere benzetilir. Klasik küme ve bulanık küme

tanımları sırasıyla Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) yardımıyla ifade edilmektedir (Chen ve Hwang, 1992, Ross, 2004).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x}, x \in A, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \right\} \quad (2.2)$$

Sınırlı sayıda elemanı olan bulanık kümeler (kesikli) Denklem (2.3) ve sonsuz sayıda elemanı olan bulanık kümeler (sürekli) ise Denklem (2.4) yardımıyla ifade edilir.

$$\tilde{A} = \sum_{x_i \in X} \mu(x_i) / x_i \quad (2.3)$$

$$\tilde{A} = \int_x \mu(x) / x \quad (2.4)$$

Burada kullanılan \int ve \sum sembolleri matematiksel işlemi ifade etmekten ziyade süreklilik ve kesikliği ifade eden matematiksel gösterim amaçlı kullanılmaktadır.

2.2.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

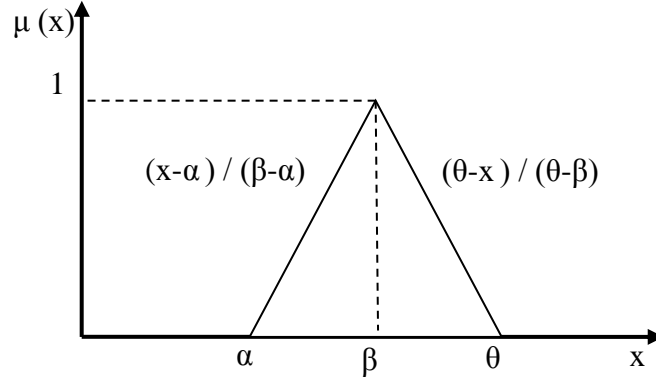
Bulanık mantıkta sayılar üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında tanımlıysa, genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonunun (Membership Function – MF) tanımı Denklem (2.5)'le ifade edilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (2.5)$$

Üyelik fonksiyonları genellikle, üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Üçgensel üyelik fonksiyonunun tanımı Denklem (2.6)'da verilmiştir.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, & \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{(\theta-x)}{(\theta-\beta)}, & \beta \leq x \leq \theta \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.6)$$

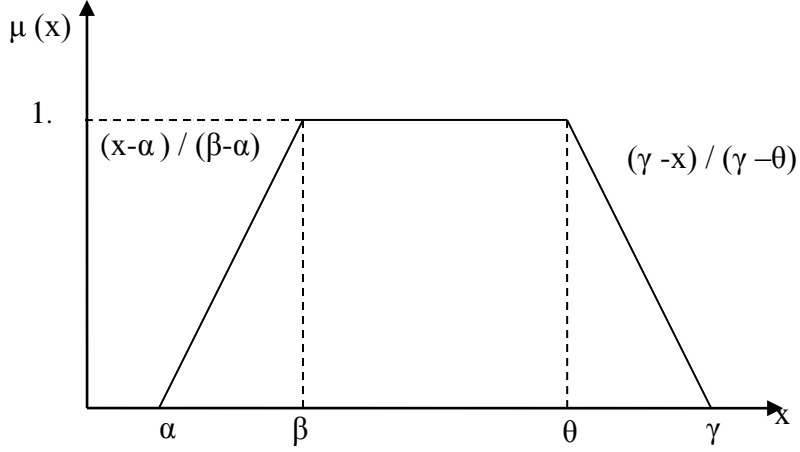
Denklem (2.6)'yla tanımlanan bulanık küme, $\tilde{A} = (\alpha, \beta, \theta)$ elemanlarından oluşmaktadır. Burada β normal değerli üyelik, α alt limit ve θ üst limit olarak tanımlanır. Şekil 2.1'de fonksiyona ait grafik verilmiştir.



Şekil 2.1. Üçgensel bulanık sayının grafiksel gösterimi.

Eğer bulanık küme, $\tilde{A} = (\alpha, \beta, \theta, \gamma)$ şeklinde dört belirleyici değerden oluşuyorsa bu durumda üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonu olmaktadır. Yamuk üyelik fonksiyonuna ait matematiksel ifade Denklem (2.7)'de verilirken Şekil 2.2'de de bu fonksiyonun grafiği gösterilmektedir.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1, & \beta \leq x \leq \theta \\ \frac{(\gamma-x)}{(\gamma-\theta)}, & \theta \leq x \leq \gamma \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2. Yamuk bulanık sayının grafiksel gösterimi.

2.2.2. Dilsel Değişkenler

Bulanık mantıkta önemli bir diğer kavram da dilsel değişkenlerdir. Dilsel değişkenler "sıcak" veya "soğuk" gibi sözcükler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir dilsel değişkenin değerleri bulanık kümeler ile ifade edilir. Örneğin oda sıcaklığı dilsel değişkeni için "sıcak", "soğuk" ve "çok sıcak" ifadeleri kullanılabilir. Bu üç ifadenin her biri farklı bulanık sayılarla modellenir. Dilsel terimler, karmaşık olayların değerlendirilmesini insanın düşünce mantığına uygun bir biçimde ifade etmede kolaylık sağlayan kalıplardır. Karmaşık sistemlerin değerlendirilmesinde insanın günlük yaşamına ve düşünce mantığına uygun yargıların kullanılması, sistemin değerlendirme performansını artırır. Tablo 2.1'de literatürde yer alan çeşitli ölçekte dilsel değişkenler verilmiştir (Ölçer ve Odabaşı, 2005).

Tablo 2.1. Çeşitli dilsel değişkenler ve dilsel değişkenlere karşılık gelen bulanık sayılar

Dilsel İfadeler	Ölçek 1	Ölçek 2	Ölçek 3	Ölçek 4	Ölçek 5	Ölçek 6	Ölçek 7	Ölçek 8
1 Hiç								(0;0;0,1)
2 Çok düşük			(0;0,1;0,2)		(0;0;0,2)	(0;0,1;0,2)	(0;0;0,2)	(0;0,1;0,2)
3 Düşük-Çok düşük							(0;0,1;0,3)	(0,1;0,2;0,3)
4 Düşük		(0;0,2;0,4)	(0,1;0,25;0,4)	(0;0;0,3)	(0;0,2;0,4)	(0,1;0,2;0,3)	(0;0,2;0,4)	(0,1;0,3;0,5)
5 Ortanın altı				(0;0,25;0,5)	(0,2;0,4;0,6)	(0,2;0,3;0,4;0,5)	(0,2;0,35;0,5)	(0,3;0,4;0,5)
6 Orta	(0,4;0,6;0,8)	(0,2;0,5;0,8)	(0,3;0,5;0,7)	(0,3;0,5;0,7)		(0,4;0,5;0,6)		(0,4;0,45;0,5)
7 Ortanın üstü						(0,5;0,6;0,7;0,8)	(0,3;0,5;0,7)	(0,3;0,5;0,7)
8 Az yüksek				(0,5;0,75;1)	(0,4;0,6;0,8)			(0,5;0,55;0,6)
9 Yüksek							(0,5;0,65;0,8)	(0,5;0,6;0,7)
10 Oldukça yüksek	(0,6;0,8;1)	(0,6;0,8;1)	(0,6;0,75;0,9)	(0,7;1;1)	(0,6;0,8;1)	(0,7;0,8;0,9)	(0,6;0,8;1)	(0,5;0,7;0,9)
11 Çok yüksek							(0,7;0,9;1;1)	(0,7;0,8;0,9)
12 Çok çok yüksek			(0,8;0,9;1)		(0,8;1;1)	(0,8;0,9;1;1)	(0,8;1;1)	(0,8;0,9;1)
13 Mükemmel								(0,9;1;1)

Dilsel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar, üyelik fonksiyonlarıyla da temsil edilebilmektedir. Tablo 2.2’de dilsel terimlerin üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi için bir örnek verilmiştir (Lu ve diğ., 2007).

Tablo 2.2. Dilsel ifadelerin üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi

Dilsel İfade	Üyelik Fonksiyonu
Çok Düşük	$U_{\lambda \in [0,1]} \lambda \left[0, \frac{\sqrt{1-\lambda}}{10} \right]$
Düşük	$U_{\lambda \in [0,1]} \lambda \left[\frac{\lambda}{10}, \frac{\sqrt{9-8\lambda}}{10} \right]$
Orta	$U_{\lambda \in [0,1]} \lambda \left[\frac{\sqrt{16\lambda+9}}{10}, \frac{\sqrt{9-8\lambda}}{10} \right]$
Yüksek	$U_{\lambda \in [0,1]} \lambda \left[\frac{\sqrt{32\lambda+49}}{10}, \frac{\sqrt{100-19\lambda}}{10} \right]$
Çok Yüksek	$U_{\lambda \in [0,1]} \lambda \left[\frac{\sqrt{19\lambda+81}}{10}, 1 \right]$

2.2.3. Bulanık Kümelerde Aritmetik İşlemler

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ üçgensel bulanık sayı olmak üzere bulanık kümelerde aritmetik işlemler şu şekilde tanımlanır (Lu ve diğ., 2007);

a) Toplama işlemi

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = [a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3] \quad (2.8)$$

b) Çıkarma işlemi;

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = [a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1] \quad (2.9)$$

c) Sabit bir sayıyla çarpma işlemi; $k > 0$

$$\tilde{A} \otimes k = (ka_1, ka_2, ka_3) \quad (2.10)$$

d) Sabit bir sayıyla çarpma işlemi; $k < 0$

$$\tilde{A} \otimes k = (ka_3, ka_2, ka_1) \quad (2.11)$$

e) Çarpma işlemi

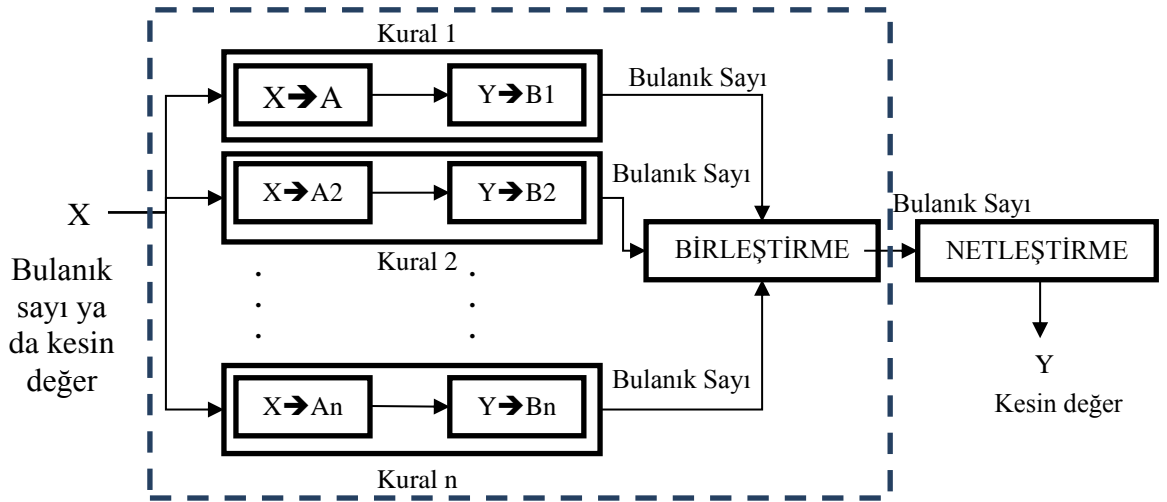
$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = [a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3] \quad (2.12)$$

f) Bölme işlemi

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = [a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1] \quad (2.13)$$

2.3. Bulanık Çıkarım

Bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy Inference System-FIS), karar analizleri, otomatik kontrol, uzman sistemler, görüntü işleme gibi bir çok alanda uygulanabilmektedir (Çebi, 2011). FIS veri tabanı, kural tabanı ve çıkarım mantığı olmak üzere üç bileşenden oluşur. Veri tabanı bulanık kural tabanında kullanılan üyelik fonksiyonlarını içerir. Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenmiş, bulanık mantık denetleyicisinin davranışlarını tespit eden denetim kurallarını içerir. Bu kurallar, sistemin girişleri ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. Bulanık mantık denetleyicisinin çıkışı, durum ve davranış bildiren kuralların değerlendirilmesi ile elde edilir. Kurallar, sistem değişkenlerinin tanımlandığı “eğer” ve denetim değişkenlerinin tanımlandığı “ise” komutlarıyla oluşturulur. Çıkarım mantığı ise, kuralların hangi sırayla işleneceğini belirleyen mantıktır. Literatürde en çok kullanılan çıkarım kuralları *MAKS - MIN* ve *MAKS - ÇARPIM* kurallarıdır (Wang, 1997). Bulanık çıkarımda giriş veri seti(kümesi) hem kesin değer hem de bulanık değer olabilmektedir. Ancak çıkış değeri bulanık bir sayı olarak elde edilmektedir. Sistemin verdiği sonuç hakkında kesin bir değere varabilmek için çıktı değerinin kesin bir değere dönüştürülmesi gerekir. Bu nedenle bulanık çıkarım sistemlerinde genellikle *durulaştırma* işlemi kullanılır. Şekil 2.3’de bulanık çıkarım sistemine ait blok diyagram verilmektedir.



Şekil 2.3. Bulanık çıkarım sistemine ait blok diyagram

Diğer bulanık modellerle kıyaslandığında daha basit ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle uygulamada en çok Mamdani bulanık modeli kullanılmaktadır. Mamdani FIS 1977 yılında buhar motoru ve kazanı bileşiminden oluşan sistemin operatörlerden elde edilen dilsel kural tabanı ile kontrol edilebilmesi için önerilmiş bir yöntemdir (Mamdani, 1977). Bu yaklaşım doğrusal olmayan ve dinamik davranışlarla başa çıkmada etkin bir tekniktir. Mamdani bulanık modelde, EĞER-İSE'lerden oluşan kural tabanı, sistemi karakterize eder. Mamdani bulanık modelin kural tabanındaki EĞER-İSE yapısının genel hali Denklem 2.14'de verilmektedir.

$$\mathbf{EĞER} x_1 A_{i1} \mathbf{VE} x_2 A_{i2} \mathbf{VE} x_3 A_{i3} \mathbf{VE} \dots x_n A_{in} \mathbf{İSE} y B_i \mathbf{dir.} \quad i = 1,2,3, \dots, k \quad (2.14)$$

Burada x_r ($r = 1,2,3, \dots, n$) giriş veri setini, A_i ve B_i üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı dilsel ifadeyi, y çıktı değerini ve k kural tabanında yer alan kural sayısını ifade etmektedir.

Gerçek bir sistem, Denklem 2.14'te tanımlanan kural gibi bir dizi ayrık kuralla tanımlanır ve kurallar bir operatör yardımıyla birleştirilerek çıktı elde edilir. Literatürde kullanılan *MİN-MAKS*, *MAKS-MAKS*, *MİN-MİN*, *MAKS-ORTALAMA* gibi birçok teknik olmasına rağmen en yaygın olarak tercih edilen *MAKS - MİN* operatörüdür. Sistemden elde edilen bir dizi ayrık kuralın birleştirilmesi için kullanılan *MAKS - MİN* operatörü Denklem 2.15'de verilmiştir.

$$\mu_{Bk}(y) = maks \left[min[\mu_{A1k}(x_1), \mu_{A2k}(x_2)] \right], k = 1,2,3, \dots, n \quad (2.15)$$

Burada $\mu_{Bk}, \mu_{A1k}, \mu_{A2k}$ sırasıyla y çıkış değerinin, x_1 ve x_2 kesin değer girdilerinin üyelik dereceleridir.

Durulaştırma işlemi, bulanık çıktı veren modelden anlamlı bir değer elde etmek için kullanılır. Uygulamada, ağırlık merkezi yöntemi (centroid of area veya center of gravity - COA), en büyük üyelik, en küçük üyelik, ağırlıklı ortalama yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, en büyük alan merkezi yöntemi gibi çeşitli teknikler mevcuttur. Bu çalışmada COA durulaştırma tekniği kullanılmaktadır. Sürekli fonksiyonlar için Denklem 2.16a kullanılırken kesikli fonksiyonlar için Denklem 2.16b kullanılmaktadır (Ross, 2004).

$$Z_{COA}^* = \frac{\int_z \mu_A(z)zdz}{\int_z \mu_A(z)dz} \quad (2.16a)$$

$$Z_{COA}^* = \frac{\sum_i^q \mu_A(z_i) z_i}{\sum_i^q \mu_A(z_i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (2.16b)$$

Burada Z_{COA}^* sistemin sunduğu bulanık değerın kesin değeridir.

2.4. Çalışmada Kullanılan Model

Çalışmada risk değerlendirmesi için önerilen modelin şematik gösterimi Şekil 2.4.'de verilmiştir. Yöntemin adımları şu şekildedir:

Adım 1. Risk değerlendirme ekibinin oluşturulması: Risk değerlendirme ekibi Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının yayımladığı Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde önerildiği şekilde, İşveren ya da işveren vekili, iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, çalışan temsilcisi, destek elemanı ve şantiyedeki tüm süreçlerde tecrübeli bir çalışan dan oluşmaktadır.

Adım 2. Risklerin tanımlanması: Bu aşamada ilk olarak risk değerlendirmesi ekibi tarafından işletmedeki mevcut tehlike kaynakları tanımlanır. Ardından tehlike kaynaklarının neden olabileceği işletmeye özgü riskler belirlenir. Bu aşamada belirlenen risklerin değerlendirmesi için uygun dilsel ölçek ve dil ölçeği temsil eden üyelik fonksiyonları tanımlanır.

Adım 3. Risklerin değerlendirilmesi: Risklerin tanımlanması safhasının ardından risk değerlendirme ekibi ilgili riskin işletmede gerçekleşme ihtimalini (RL), riskin gerçekleşmesi durumunda çalışana etkisi (RSW) ve riskin proje maliyetindeki artışına etkisini (RST) beyin fırtınası tekniği ile değerlendirerek her bir risk için ayrı ayrı ortak karar matrisleri elde edilir.

Adım 4. Risk derecesinin hesaplanması: Bu aşamada Bölüm 2.3'de anlatılan Mamdani FIS kullanılarak risk derecesi hesaplanmaktadır. İlk olarak sistemin girdi değerleri için üyelik dereceleri belirlenir. Ardından risk değerlendirme ekibi tarafından tanımlanan kural tabanına bu değerler girdi olarak sunulur ve her bir risk için risk derecesi sistemden çıktı olarak alınır. Risk derecesinin belirlenmesine ilişkin adımlar şu şekildedir;

Adım 4.1. Üyelik derecelerinin hesaplanması: Belirlenen RL , RSW ve RST değerleri bulanık çıkarım sisteminde doğrudan kullanılmadığı için kullanılan dilsel ölçek yardımıyla RL , RSW ve RST için üyelik dereceleri hesaplanır. RL için üyelik derecesi μ_{RL} , RSW için μ_{RSW} ve RST için μ_{RST} olarak belirlenir.

Adım 4.2. Mamdani FIS: Risk değerlendirme ekibi tarafından oluşturulan kural tabanı kullanılarak risk derecesi hesaplanır. Bu bölümde tanımlanan kurallar Denklem 2.14'te verildiği gibidir. Bu aşamadaki kuralın genel sunumu Denklem 2.17'de verilmiştir.

$$\mathbf{EĞER} \mathbf{RL} \mu_{RL}^k \mathbf{VE} \mathbf{RSW} \mu_{RSW}^k \mathbf{VE} \mathbf{RST} \mu_{RST}^k \mathbf{İSE} \mathbf{RM} \mu_{RM}^k \mathbf{dir.} \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (2.17)$$

Burada RM k 'inci kurala ait risk derecesinin dilsel ifadesi ve μ_{RM}^k de risk derecesinin üyelik derecesidir. μ_{RM}^k değeri Denklem 2.15'te verilen MAKS-MİN operatörü yardımıyla hesaplanır (Denklem 2.18 ve Denklem 2.19).

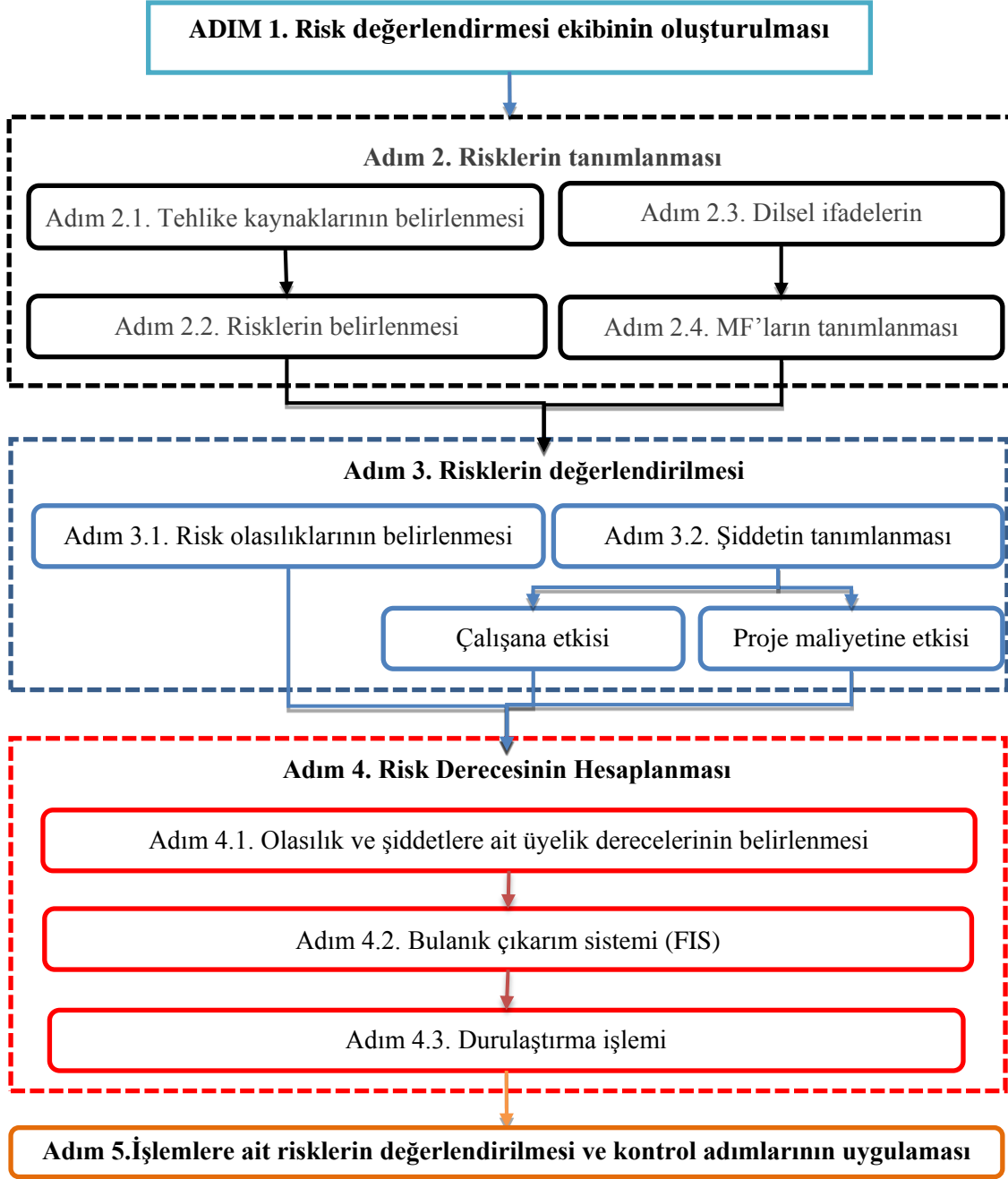
$$\mu_{RM^k}(y) = \mu_{RL}^k(x_1) \wedge \mu_{RL}^k(x_2) \wedge \mu_{RL}^k(x_3) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.18)$$

$$\mu_{RM}(y) = \vee_{k=1}^K (\mu_{RM^k}(y)) \quad (2.19)$$

Burada $\mu_{RM}(y)$ sistemden elde edilen risk derecesine ait üyelik derecesidir.

Adım 4.3. Durulaştırma: Bu aşamada risk büyüklüğü $\mu_{RM}(y)$ bulanık bir değerdir. Durulaştırma yöntemlerinden COA kullanılarak risk derecesine ilişkin sayısal değer Denklem 2.20'de gösterildiği hesaplanır.

$$RM^* = \frac{\sum_i^q \mu_{RM}(y_i) y_i}{\sum_i^q \mu_{RM}(y_i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (2.20)$$



Şekil 2.4. Önerilen modelin şematik gösterimi

3. UYGULAMA

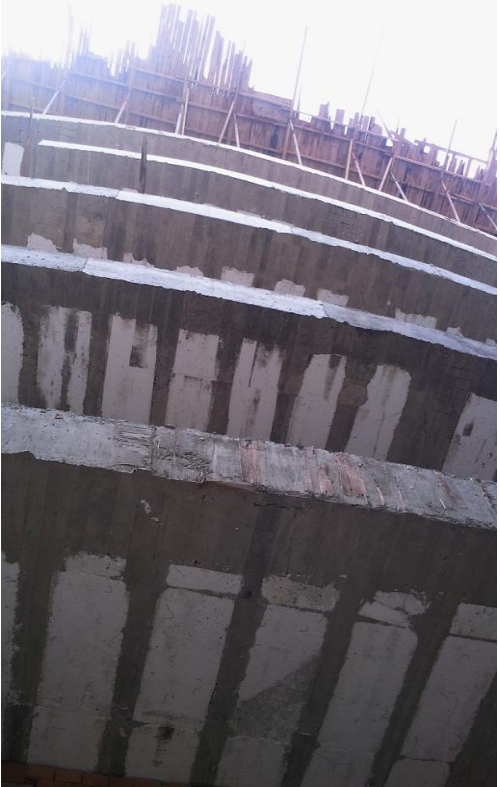
2. bölümde detayları verilen metodun uygulaması İstanbul Avrupa yakasında faaliyet gösteren 8 Blok 80 konutlu bir şantiyede gerçekleştirilmektedir. Uygulamanın yapıldığı zaman diliminde her seviye faaliyet için gözlem yapma fırsatı yakalanmıştır. Şantiyeye ait resimler Şekil 3.1’de sunulmuştur.

Adım 1. Risk değerlendirme ekibinin oluşturulması: İşletmede risk değerlendirmesi için oluşturulmuş düzenli bir ekibin olmaması nedeniyle, veriler üç mühendis tarafından yapılan gözlemlerden, çalışanlar ve yükleniciyle yapılan mülakatlardan elde edilmiştir. Değerlendirme ekibinin her bir üyesi, uzun yıllar şantiyelerde çeşitli pozisyonlarda görev yapmış ve şantiyelerde gerçekleştirilen faaliyetler ile ilgili yeterli ve gerekli tecrübeye sahiptir.

Adım 2. Risklerin belirlenmesi: Şantiyede yapılan faaliyetler, hafriyat, demir, kalıp yapım ve söküm, beton dökümü, duvar örme, sıva, iskele ve malzeme yükleme, taşıma ve boşaltma işlemlerinden oluşmaktadır. Bu faaliyetler esnasında karşılaşılabilecek riskler şunlardır;

➤ Genel Riskler

- ✓ Alanında uzman olmayan kişilerin inşaatta çalıştırılması (RG1)
- ✓ Çalışanların sağlık raporunun olmaması (RG2)
- ✓ Uygun olmayan ekipman ve aletle çalışma (RG3)
- ✓ Gerekli kişisel koruyucu donanımların sağlanmaması (RG4)
- ✓ Kişisel koruyucu donanımın çalışan tarafından kullanılmaması (RG5)
- ✓ Görevli olmayan (misafir/işçi) kişilerin çalışma noktasında olması (RG6)
- ✓ İkaz ve uyarı levhalarının olmaması (RG7)
- ✓ Şantiye alanının uygun malzemeyle sarılmaması (RG8)
- ✓ Şantiye girişinin kontrol altında tutulmaması (RG9)
- ✓ Şantiye alanının yeterli aydınlatılmaması (RG10)
- ✓ Yangın söndürücülerin şantiye alanında hazır bulundurulmaması (RG11)
- ✓ Şantiye içinde malzemelerin geliş güzel istiflenmesi (RG12)
- ✓ Lavabo ve tuvaletlerde hijyene dikkat edilmemesi (RG13)



Şekil 3.1. Şantiyeden genel görünüm

- ✓ Şantiyede kullanılan motorlu araç ve yaya yollarının ayrılmaması (RG14)
- ✓ Şantiye alanında hızlı araç kullanma (RG15)
- Malzeme Yükleme, Taşıma ve Boşaltma Faaliyetlerinden Kaynaklı Riskler
 - ✓ El arabasının aşırı doldurulması (RT1)
 - ✓ Ağır yüklerin elle taşınması (RT2)
 - ✓ Gırgır vincin bakımının yapılmaması (RT3)
 - ✓ Halatın tamburu sıyırması (RT4)
 - ✓ Taşınacak malzemeye uygun kovanın kullanılmaması (RT5)
 - ✓ Gırgır vinç kovanının aşırı yüklenmesi (RT6)
 - ✓ Kovanın halat bağlantı noktasının emniyetli olmaması (RT7)
 - ✓ Kovanın sarkaç hareketi yapması (RT8)
 - ✓ Uzun yüklerin dengelenmemesi sonucu sarkaç hareketi yapması (RT9)
 - ✓ Gırgır vincin kayış ksnak mekanizmasının açıkta kalması (RT10)
 - ✓ Gırgır vincin zemine düzgün sabitlenmemesi (RT11)
 - ✓ Vinç kovanının altında çalışılması (RT12)
- Hafriyat Faaliyetlerinden Kaynaklı Riskler
 - ✓ Hafriyat bölgesinde alt yapı şebekelerin olup olmadığının kontrolünün yapılmaması (RH1)
 - ✓ Derin kazı işlemlerinde gerekli iksaların yapılmaması (RH2)
 - ✓ Kazı bölgesine uygun giriş-çıkış alanlarının oluşturulmamış olması (RH3)
 - ✓ İş makinesi operatörüne uygun talimatların gözlemci tarafından verilmemesi (RH4)
 - ✓ Hafriyatın uygun araçla taşınmaması (RH5)
 - ✓ Kamyonların aşırı yüklenmesi (RH6)
 - ✓ Yükleme işlemi sırasında kamyon çevresinde çalışanın bulunması (RH7)
 - ✓ Aşırı yağışlı havalarda hafriyat işlemine devam edilmesi (RH8)
 - ✓ Zemin etüt raporunun hafriyat esnasında dikkate alınmaması (RH9)
- İskeleden Kaynaklı Riskler
 - ✓ İskelede emniyetli çalışma kurallarına uymama (Rİ1)
 - ✓ İskelenin zemine tam oturtulması nedeniyle yıkılması (Rİ2)
 - ✓ İskele bağlantı elemanlarından kaynaklı iskelenin çökmesi (Rİ3)
 - ✓ İskele platformu hareket etmeye müsaade edecek ebatta olmaması (Rİ4)

- ✓ İskelenin duvara uygun mesafeden ve uygun aralıklarda sabitlenmemesi sonucu yıkılması (Rİ5)
- ✓ İskele yüzeyinin uygunsuzluğu (kaygan olması ya da harç gibi malzeme olması) (Rİ6)
- ✓ İskelede kullanılan ahşap kalasın zamanla çürümesi ve hasar görmesi nedeniyle kırılma (Rİ7)
- ✓ İskelede korkuluk olmaması (Rİ8)
- ✓ İskelenin söküm işlemi sırasında talimatlara uyulmaması (Rİ9)
- Boşluklardan ve Zeminlerden Kaynaklı Riskler
 - ✓ Merdiven boşluklarında korkuluk olmaması (RZ1)
 - ✓ Asansör boşluklarında korkuluk olmaması (RZ2)
 - ✓ Merdiven basamaklıklarının uygun ölçüde ve eşit mesafede olmaması (RZ3)
 - ✓ Merdiven ve zeminlerde taş, harç, tuğla gibi parçaların bulunması (RZ4)
- Betonarme, Kalıp Yapımı-Sökümü Faaliyetlerinden Kaynaklı Riskler
 - ✓ Kalıp yapımı ya da sökümü işlemi sırasında göze çapak kaçması (RB1)
 - ✓ Kalıp yapım prosedürüne uyulmaması (RB2)
 - ✓ Kalıp malzemelerinin uygun taşınmaması (RB3)
 - ✓ Kalıp söküm prosedürüne uyulmaması (RB4)
 - ✓ İşçilerin dikmelere tırmanmaya çalışması (RB5)
 - ✓ Sökülen kalıbın gelişi güzel istiflenmesi (RB6)
 - ✓ Söküm işlemi sırasında kalıbın altında çalışma (RB7)
- Elektrikli Çalışmalardan Kaynaklı Riskler
 - ✓ Topraklamanın yapılmaması (RE1)
 - ✓ Makineleri besleyen panolarda kaçak akım rölesinin bulunmaması (RE2)
 - ✓ Sıvı ve nemli yüzeylerde elektrikle çalışılması (RE3)
 - ✓ Uygun olmayan ekli ya da hasarlı kablolarla çalışılması (RE4)
 - ✓ Pano kapaklarının açık bırakılması (RE5)

Adım 3. Risklerin Değerlendirilmesi: Tanımlanan risklerin meydana gelme ihtimali, çalışana etkisi ve işin bitiş maliyetine etkisi risk değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilerek ortak karar matrisi elde edilmiştir. Değerlendirme işlemi için literatürde sıklıkla tercih edilen dilsel ölçekler seçilmiştir. Tablo 3.1’de, riskin meydana gelme

ihtimaline ilişkin çalışmada kullanılan dilsel ifadeler verilmiştir. Tablo 3.2’de riskin çalışana verebileceği şiddet, Tablo 3.3’de de riskin neden olabileceği proje maliyetlerindeki artışa ilişkin dilsel ifadeler tanımlanmıştır. Risk derecesine ilişkin dilsel ifade ise Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.1. Riskin gerçekleşme ihtimaline ilişkin dilsel veriler (*RL*)

Olasılığa Ait Açıklama	Dilsel İfade
Hemen hemen gerçekleşmesi imkânsız	Çok Düşük
Nadir de olsa gerçekleşebilir	Düşük
Ara sıra gerçekleşebilir	Orta
Zaman zaman gerçekleşmesi mümkün	Yüksek
Sık sık yaşanabilir	Çok Yüksek

Tablo 3.2. Riskin neden olabileceği proje maliyetindeki artış (*RST*)

İşin Bitiş Maliyetine Etkisi	Dilsel İfade
Ortaya çıkan maddi hasar bir günlük işletme maliyeti kadardır	Çok Düşük
Ortaya çıkan maddi hasar bir-üç günlük işletme maliyeti kadardır	Düşük
Ortaya çıkan maddi hasar üç-yedi günlük işletme maliyeti kadardır	Orta
Ortaya çıkan maddi hasar bir haftalık işletme maliyetinden fazladır	Yüksek
Ortaya çıkan maddi hasar bir aylık işletme maliyetinden fazladır	Çok Yüksek

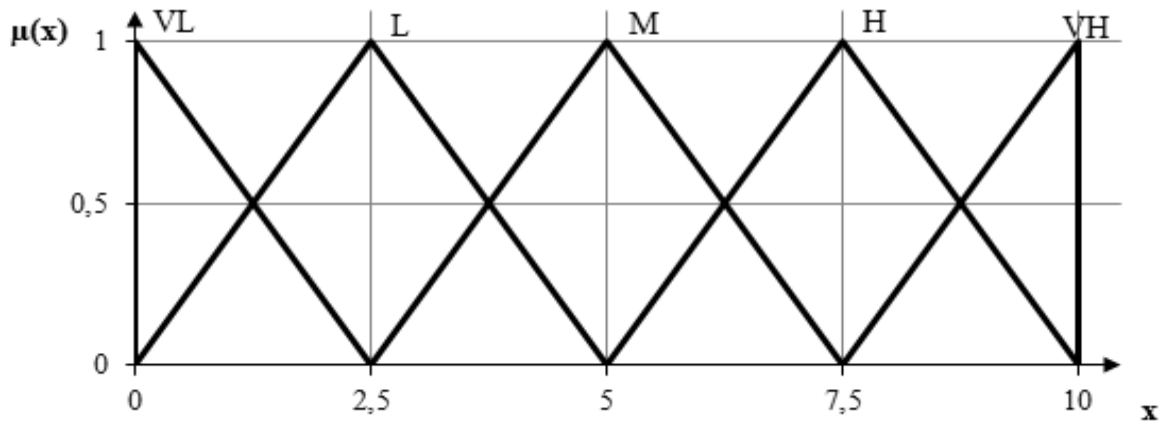
Tablo 3.3. Çalışan açısından riskin şiddetine ilişkin dilsel ifade (*RSW*)

Verilen Zarar	Dilsel İfade
Hafif Yaralanma (istirahat almaya gerek yok)	Çok Düşük
Yaralanma (Kısa süreli İstirahat gerektirir(1-3gün))	Düşük
Orta Dereceli Yaralanma (Uzun süreli istirahat gerektirir(3-10gün))	Orta
Meslek Hastalığı-Uzuv Kaybı-Sakat kalma	Yüksek
Ölüm	Çok Yüksek

Tablo 3.4. Risk derecesine ait dilsel ifade (RM)

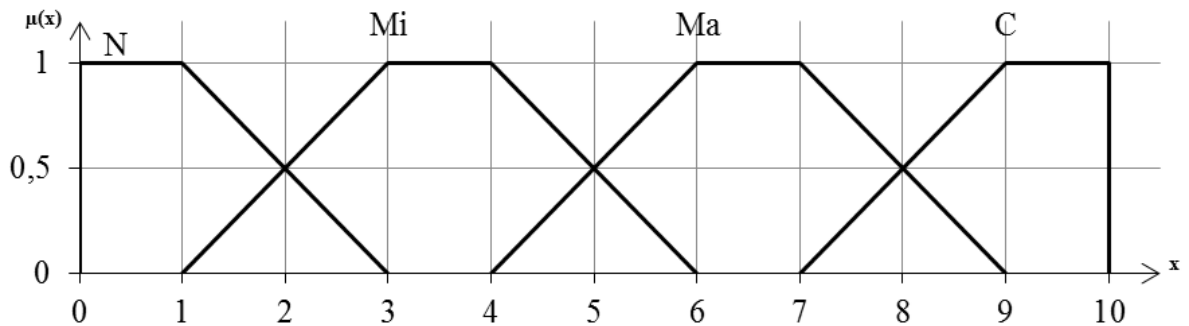
Risk Derecesi	Dilsel İfade
Tanımlanan risk işletmenin İSG politikası kapsamında kabul edilebilir	Çok Düşük
Risk derecesi düşüktür ve izlenmelidir	Düşük
Risk derecesi büyüktür ve hemen kontrol tedbirleri geliştirilmelidir	Büyük
Risk derecesi çok yüksektir ve işleme ara verilerek hemen önlem alınmalı	Kritik

Şekil 3.2’de riskin gerçekleşme ihtimaline ve risk şiddetlerine ait dilsel ifadeler için üyelik fonksiyonları verilmiştir (Zeng ve diğ., 2007).



Şekil 3.2. Risk olabilirliği ve risk şiddetine ait üyelik fonksiyonu (Çok Düşük-VL, Düşük-L, Orta-M, Yüksek-H, Çok Yüksek- VH)

Şekil 3.3’de risk derecesine ait dilsel ifadeler için üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır (Zeng ve diğ., 2007)



Şekil 3.3. Risk derecesine ait üyelik fonksiyonu (Çok düşük-N, Düşük-Mi, Büyük-Ma, Kritik-C)

Yukarıda verilen dilsel ifadeler kullanılarak risk değerlendirme ekibi tarafından gerçekleştirilen değerlendirmelerde uzlaşma aranarak ekibin ortak değerlendirmesini yansıtan tek bir değer alınmıştır. Tablo 3.5’de tanımlanan risklerin ihtimali (RL), risklerin gerçekleşmesi durumunda çalışana etkisi (RSW) ve risklerin gerçekleşmesi durumunda işin bitiş süresi üzerinden proje maliyetine etkisi (RST) verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.2.’de tanımlanan üyelik fonksiyonları yardımıyla da dilsel değerlendirmeler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmüştür (Tablo 3.5).

Adım 4. Risklerin Derecelendirilmesi: Tanımlanan risklerin derecelendirilebilmesi için riskin gerçekleşme ihtimali, riskin çalışana etkisi ve riskin işin bitiş süresine etkisi arasındaki ilişki $EĞER-İSE$ kurallarıyla risk değerlendirme ekibi tarafından tanımlanmıştır. Risk ekibi bu amaçla 125 kural tanımlamış ve tanımlanan bu kurallar Tablo 3.6’da özetlenmiştir.

Adım 4.1. Üyelik derecelerinin hesaplanması: Tablo 3.5’de verilen değerlendirmelere ait verilerin üyelik dereceleri Tablo 3.7’de verilmiştir. Üyelik derecesi, ilgili dilsel değerlendirmenin tanımlı olduğu bulanık kümeye aitlik derecesini temsil etmektedir.

Tablo 3.7’de verilen verileri örneklendirmek için RG1(Alanında uzman olmayan kişilerin inşaatta çalıştırılması) riski üzerinden hesaplama şu şekilde yapılmıştır;

RG1 riskinin meydana gelme ihtimali, proje maliyetindeki etkisi ve çalışana etkisi risk değerlendirmesi ekibinin ortak görüşü olarak sırasıyla H, VL, M olarak tanımlanmış ve ilgili dilsel ifadelerle ait bulanık sayılar Tablo 3.5’de verilmiştir. İlgili dilsel değerlendirmelerin kümeye ait olma dereceleri ise Şekil 3.2 yardımıyla şu şekilde belirlenir;

Riskin gerçekleşme ihtimali için

$$\left\{ \frac{0}{VL}, \frac{0}{L}, \frac{0,5}{M}, \frac{1}{H}, \frac{0,5}{VH} \right\}$$

Riskin proje maliyetine etkisi için

$$\left\{ \frac{1}{VL}, \frac{0,5}{L}, \frac{0}{M}, \frac{0}{H}, \frac{0}{VH} \right\}$$

Riskin çalışana etkisi için

$$\left\{ \frac{0}{VL}, \frac{0,5}{L}, \frac{1}{M}, \frac{0,5}{H}, \frac{1}{VH} \right\}$$

Tablo 3.5. Risklere ait dilsel değerlendirmeler ve risklere ait bulanık üçgensel sayılar

	RL	RST	RSW	RL			RST			RSW		
RG1	H	VL	M	5	7,5	10	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RG2	H	L	M	5	7,5	10	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RG3	H	L	M	2,5	5	7,5	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RG4	VH	H	VH	7,5	10	10	5	7,5	10	7,5	10	10
RG5	VH	L	VH	7,5	10	10	0	2,5	5	7,5	10	10
RG6	M	H	M	2,5	5	7,5	5	7,5	10	2,5	5	7,5
RG7	M	H	L	2,5	5	7,5	5	7,5	10	0	2,5	5
RG8	H	H	M	5	7,5	10	5	7,5	10	2,5	5	7,5
RG9	H	M	M	5	7,5	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
RG10	H	L	M	5	7,5	10	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RG11	H	L	M	5	7,5	10	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RG12	M	L	L	2,5	5	7,5	0	2,5	5	0	2,5	5
RG13	VH	VL	VL	7,5	10	10	0	0	2,5	0	0	2,5
RG14	H	M	M	5	7,5	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
RG15	H	M	M	5	7,5	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
RT1	M	VL	L	2,5	5	7,5	0	0	2,5	0	2,5	5
RT2	H	VL	M	5	7,5	10	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RT3	M	VL	L	2,5	5	7,5	0	0	2,5	0	2,5	5
RT4	L	L	M	0	2,5	5	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RT5	H	VL	M	5	7,5	10	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RT6	H	VL	M	5	7,5	10	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RT7	M	VL	M	2,5	5	7,5	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RT8	M	L	M	2,5	5	7,5	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RT9	H	L	L	5	7,5	10	0	2,5	5	0	2,5	5
RT10	H	L	L	5	7,5	10	0	2,5	5	0	2,5	5
RT11	M	L	L	2,5	5	7,5	0	2,5	5	0	2,5	5
RT12	VH	L	H	7,5	10	10	0	2,5	5	5	7,5	10
RH1	H	L	L	5	7,5	10	0	2,5	5	0	2,5	5
RH2	L	VH	VH	0	2,5	5	7,5	10	10	7,5	10	10
RH3	H	M	M	5	7,5	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
RH4	M	L	M	2,5	5	7,5	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RH5	L	L	L	0	2,5	5	0	2,5	5	0	2,5	5
RH6	H	L	L	5	7,5	10	0	2,5	5	0	2,5	5
RH7	H	L	L	5	7,5	10	0	2,5	5	0	2,5	5
RH8	M	L	L	2,5	5	7,5	0	2,5	5	0	2,5	5
RH9	L	VH	VH	7,5	10	10	7,5	10	10	7,5	10	10
Rİ1	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
Rİ2	L	L	VH	0	2,5	5	0	2,5	5	7,5	10	10
Rİ3	L	L	VH	0	2,5	5	0	2,5	5	7,5	10	10
Rİ4	M	L	H	2,5	5	7,5	0	2,5	5	5	7,5	10
Rİ5	L	L	VH	0	2,5	5	0	2,5	5	7,5	10	10
Rİ6	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
Rİ7	H	L	VH	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10	10
Rİ8	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
Rİ9	M	L	H	2,5	5	7,5	0	2,5	5	5	7,5	10
RZ1	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
RZ2	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
RZ3	VL	VL	VL	0	0	2,5	0	0	2,5	0	0	2,5
RZ4	L	VL	VL	0	2,5	5	0	0	2,5	0	0	2,5

Tablo 3.5'in devamı

	RL	RST	RSW	RL			RST			RSW		
RB1	L	VL	VL	0	2,5	5	0	0	2,5	0	0	2,5
RB2	L	L	H	0	2,5	5	0	2,5	5	5	7,5	10
RB3	M	VL	L	2,5	5	7,5	0	0	2,5	0	2,5	5
RB4	M	VH	L	2,5	5	7,5	7,5	10	10	0	2,5	5
RB5	H	VL	M	5	7,5	10	0	0	2,5	2,5	5	7,5
RB6	M	VL	L	2,5	5	7,5	0	0	2,5	0	2,5	5
RB7	M	L	M	2,5	5	7,5	0	2,5	5	2,5	5	7,5
RE1	L	VL	L	0	2,5	5	0	0	2,5	0	2,5	5
RE2	L	VL	H	0	2,5	5	0	0	2,5	5	7,5	10
RE3	M	L	H	2,5	5	7,5	0	2,5	5	5	7,5	10
RE4	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10
RE5	H	L	H	5	7,5	10	0	2,5	5	5	7,5	10

Tablo 3.6. Kural tabanı

RL	RST	RSW				
		VL	L	M	H	VH
VL	VL	N	N	N	N	Mi
	L	N	N	N	Mi	Mi
	M	N	N	Mi	Mi	Mi
	H	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi
	VH	Mi	Mi	Mi	Ma	Ma
L	VL	N	N	N	Mi	Mi
	L	N	N	N	Mi	Ma
	M	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	H	Mi	Mi	Ma	Ma	Ma
	VH	Mi	Mi	Ma	C	C
M	VL	N	N	Mi	Mi	Ma
	L	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	M	Mi	Mi	Ma	Ma	Ma
	H	Mi	Ma	Ma	Ma	C
	VH	Mi	Ma	Ma	C	C
H	VL	N	N	Mi	Ma	Ma
	L	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	M	Mi	Mi	Ma	Ma	C
	H	Mi	Ma	Ma	C	C
	VH	Ma	Ma	C	C	C
VH	VL	N	N	Mi	Ma	Ma
	L	N	Mi	Ma	Ma	C
	M	Mi	Ma	Ma	C	C
	H	Ma	Ma	C	C	C
	VH	Ma	C	C	C	C

Tablo 3.7. Dilsel değerlendirmelere ait üyelik dereceleri

	RL					RST					RSW				
	VL	L	M	H	VH	VL	L	M	H	VH	VL	L	M	H	VH
RG1			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RG2			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RG3		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RG4				0,5	1,0			0,5	1,0	0,5				0,5	1,0
RG5				0,5	1,0	0,5	1,0	0,5						0,5	1,0
RG6		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5	
RG7		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5		
RG8			0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5	
RG9			0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5	
RG10			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RG11			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RG12		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RG13				0,5	1,0	1,0	0,5				1,0	0,5			
RG14			0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5	
RG15			0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5	
RT1		0,5	1,0	0,5		1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		
RT2			0,5	1,0	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	
RT3		0,5	1,0	0,5		1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		
RT4	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RT5			0,5	1,0	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	
RT6			0,5	1,0	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	
RT7		0,5	1,0	0,5		1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	
RT8		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RT9			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RT10			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RT11		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RT12				0,5	1,0	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RH1			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RH2	0,5	1,0	0,5						0,5	1,0				0,5	1,0
RH3			0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5	
RH4		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RH5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RH6			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RH7			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RH8		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5		
RH9	0,5	1,0	0,5						0,5	1,0				0,5	1,0
Rİ1			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
Rİ2	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	
Rİ3	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	
Rİ4		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5

Tablo 3.7'nin devamı

	RL					RST					RSW				
	VL	L	M	H	VH	VL	L	M	H	VH	VL	L	M	H	VH
Rİ5	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5						0,5	1,0
Rİ6			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
Rİ7			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5						0,5	1,0
Rİ8			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
Rİ9		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RZ1			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RZ2			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RZ3	1,0	0,5				1,0	0,5				1,0	0,5			
RZ4	0,5	1,0	0,5			1,0	0,5				1,0	0,5			
RB1	0,5	1,0	0,5			1,0	0,5				1,0	0,5			
RB2	0,5	1,0	0,5			0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RB3		0,5	1,0	0,5		1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		
RB4		0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	1,0	0,5		
RB5			0,5	1,0	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5	
RB6		0,5	1,0	0,5		1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		
RB7		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5				0,5	1,0	0,5	
RE1	0,5	1,0	0,5			1,0	0,5				0,5	1,0	0,5		
RE2	0,5	1,0	0,5			1,0	0,5						0,5	1,0	0,5
RE3		0,5	1,0	0,5		0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RE4			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5
RE5			0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5					0,5	1,0	0,5

Adım 4.2. Mamdani FIS: Tablo 3.7'de verilen üyelik dereceleri, Tablo 3.6'da tanımlanan kural tabanında işleme girerek Denklem 2.18 ve Denklem 2.19 yardımıyla risk büyüklükleri hesaplanır. Hesaplan risk büyüklüklerine ait her bir risk için belirlenen üyelik dereceleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.8'de verilen değerler şu şekilde elde edilir; Adım 4.1'de örneklendirilen RG1 e ait üyelik dereceleri için Tablo 3.6'da verilen kural tabanından aşağıda verilen 18 kural aktif olur. Denklem 2.18 yardımıyla da ilgili kural için risk büyüklüğü hesaplanır. Örneğin aşağıda verilen ilk kural için;

$$\mu_{RM^1}(N) = \mu_{RL}^1(M; 0,5) \wedge \mu_{RST}^1(VL; 1) \wedge \mu_{RSW}^k(L; 0,5)$$

$$\mu_{RM^1}(N) = 0,5$$

R1 → EĞER RL M(0,5) VE RST VL(1) VE RSW L(0,5) İSE RM N(0,5)

R2 → EĞER RL M(0,5) VE RST VL(1) VE RSW M(1) İSE RM Mi(0,5)

R3 → EĞER RL M(0,5) VE RST VL(1) VE RSW H(0,5) İSE RM Mi(0,5)

- R4**→ *EĞER RL M(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW L(0,5) ISE RM Mi(0,5)*
R5→ *EĞER RL M(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW M(1) ISE RM Mi(0,5)*
R6→ *EĞER RL M(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW H(0,5) ISE RM Ma(0,5)*
R7→ *EĞER RL H(1) VE RST VL(1) VE RSW L(0,5) ISE RM N(0,5)*
R8→ *EĞER RL H(1) VE RST VL(1) VE RSW M(1) ISE RM Mi(1)*
R9→ *EĞER RL H(1) VE RST VL(1) VE RSW H(0,5) ISE RM Ma(0,5)*
R10→ *EĞER RL H(1) VE RST L(0,5) VE RSW L(0,5) ISE RM Mi(0,5)*
R11→ *EĞER RL H(1) VE RST L(0,5) VE RSW M(1) ISE RM Mi(0,5)*
R12→ *EĞER RL H(1) VE RST L(0,5) VE RSW H(0,5) ISE RM Ma(0,5)*
R13→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST VL(1) VE RSW L(0,5) ISE RM N(0,5)*
R14→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST VL(1) VE RSW M(1) ISE RM Mi(0,5)*
R15→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST VL(1) VE RSW H(0,5) ISE RM Ma(0,5)*
R16→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW L(0,5) ISE RM Mi(0,5)*
R17→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW M(1) ISE RM Ma(0,5)*
R18→ *EĞER RL VH(0,5) VE RST L(0,5) VE RSW H(0,5) ISE RM Ma(0,5)*

Denklem 2.19 yardımıyla da ilgili değerlendirme için risk büyüklüğü belirlenir

$$\mu_{RM}(N) = V(\mu_{RM^1}(N; 0,5), \mu_{RM^7}(N; 0,5); \mu_{RM^{13}}(N; 0,5))$$

$$\mu_{RM}(N) = 0,5$$

Benzer şekilde

$$\mu_{RM}(Mi) = 1 \text{ ve}$$

$$\mu_{RM}(Ma) = 0,5 \text{ elde edilir.}$$

Tablo 3.8. Risk büyüklüklerine ait üyelik dereceleri ve risk büyüklükleri

	N	Mi	Ma	C	RD	SONUÇ	
RG1	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RG2	0,5	1	0,5	0,5	🟡 5,2	%40 Mi	% 60 Ma
RG3	0,5	1	0,5	0,5	🟡 5,2	%40 Mi	% 60 Ma
RG4	0	0	0,5	1	🔴 9,0	%100 C	
RG5	0	0	0,5	1	🔴 9,0	%100 C	
RG6	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RG7	0,5	0,5	1	0,5	🟡 5,8	%10 Mi	%90 Ma
RG8	0	0,5	1	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RG9	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RG10	0,5	1	0,5	0,5	🟡 5,2	%40 Mi	% 60 Ma
RG11	0,5	1	0,5	0,5	🟡 5,2	%40 Mi	% 60 Ma
RG12	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RG13	1,0	0,5	0,0	0,0	🟢 2,0	%50 N	% 50 Mi
RG14	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RG15	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RT1	1	0,5	0	0	🟢 2,0	%50 N	% 50 Mi
RT2	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT3	1	0,5	0	0	🟢 2,0	%50 N	% 50 Mi
RT4	1,0	0,5	0,5		🟡 3,3	% 100 Mi	
RT5	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT6	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT7	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT8	0,5	1	0,5	0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT9	0,5	1	0,5	0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT10	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT11	0,5	1	0,5	0	🟡 4,0	%100 Mi	
RT12	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RH1	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RH2	0,0	0,5	0,5	1,0	🔴 7,8	%60 Ma	%40 C
RH3	0,0	0,5	1,0	0,5	🔴 7,0	%100 Ma	
RH4	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RH5	1,0	0,5	0,5	0,0	🟡 3,3	% 100 Mi	
RH6	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RH7	0,5	1,0	0,5	0,0	🟡 4,0	%100 Mi	
RH8	0,5	1	0,5	0	🟡 4,0	%100 Mi	
RH9	0,0	0,5	0,5	1,0	🔴 7,8	%60 Ma	%40 C

Tablo 3.8' in devamı

	N	Mi	Ma	C	RD	SONUÇ	
Rİ1	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
Rİ2	0,5	0,5	1,0	0,0	⚠ 4,8	%60 Mi	%40 Ma
Rİ3	0,5	0,5	1,0	0,0	⚠ 4,8	%60 Mi	%40 Ma
Rİ4	0,5	0,5	1	0,5	⚠ 5,8	%10 Mi	%90 Ma
Rİ5	0,5	0,5	1,0	0,0	⚠ 4,8	%60 Mi	%40 Ma
Rİ6	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
Rİ7	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
Rİ8	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
Rİ9	0,5	0,5	1,0	0,5	⚠ 5,8	%10 Mi	%90 Ma
RZ1	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
RZ2	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
RZ3	1,0	0,0	0,0	0,0	✔ 1,0	%100N	
RZ4	1	0,5	0	0	✔ 2,0	%50 N	% 50 Mi
RB1	1,0	0,5	0,0	0,0	✔ 2,0	%50 N	% 50 Mi
RB2	0,5	1	0,5	0,0	⚠ 4,0	%100 Mi	
RB3	1	0,5	0	0	✔ 2,0	%50 N	% 50 Mi
RB4	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
RB5	0,5	1,0	0,5	0,0	⚠ 4,0	%100 Mi	
RB6	1	0,5	0	0	✔ 2,0	%50 N	% 50 Mi
RB7	0,5	1,0	0,5	0,0	⚠ 4,0	%100 Mi	
RE1	1,0	0,5	0,0	0,0	✔ 2,0	%50 N	% 50 Mi
RE2	0,5	1,0	0,5	0,0	⚠ 4,0	%100 Mi	
RE3	0,5	0,5	1,0	0,5	⚠ 5,8	%10 Mi	%90 Ma
RE4	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	
RE5	0,0	0,5	1,0	0,5	✖ 7,0	%100 Ma	

Adım 4.3. Durulaştırma: Bu aşamada risk büyüklüğü Denklem 2.20 yardımıyla net skora dönüştürülür ve ardından Şekil 3.3 yardımıyla da risk büyüklüğüne ait dilsel ifade hesaplanır. Uygulama örneğimizle bu adımdaki hesaplamalar şu şekildedir;

Bir önceki adımda RG1 için Risk büyüklüğünün risk kümelerine üyelik dereceleri $\mu_{RM}(N) = 0,5$, $\mu_{RM}(Mi) = 1$ ve $\mu_{RM}(Ma) = 0,5$ olarak hesaplanmıştı. Buradaki üyelik dereceleri ve Şekil 3.3'te verilen bulanık sayılar kullanarak RG1 in risk büyüklüğü için net bir skor elde edilir.

$$RM^{RG1} = \frac{0,5 * 1 + 1 * 4 + 0,5 * 7}{0,5 + 1 + 0,5}$$

$RM^{RG1} = 4$ elde edilir ve Şekil 3.3'de 4 değerine karşılık gelen risk büyüklüğünün dilsel ifadesi %100 Mi'dir. RG1 olarak tanımlanan risk önemli derecede riskli olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle işletmenin ilgili risk derecesini düşürecek kontrol tedbirlerini kararlaştırmalı ve devreye almalıdır. Çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir.

4. BULGULAR

Gerçekleştirilen çalışmada toplanan veriler ve çalışmada elde edilen sonuçlar Bölüm 3'te tablolar halinde verilmiştir. Bu verilerden elde edilen bilgiler ışığında aşağıda özetlenen çıkarımlar yapılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı şantiyede Tablo 4.1. tanımlanan riskler düşük riskli sınıfta yer almaktadır. İlgili alanlarda şantiyenin almış olduğu önlemler ciddi bir riskin oluşmasını önlemeye yeterlidir.

Tablo 4.1. Şantiye için tanımlanan risklerden kabul edilebilir risk derecesine sahip olanlar

Lavabo ve tuvaletlerde hijyene dikkat edilmemesi (RG13)
El arabasının aşırı doldurulması (RT1)
Gırgır vincin bakımının yapılmaması (RT3)
Merdiven basamaklıklarının uygun ölçüde ve eşit mesafede olmaması (RZ3)
Merdiven ve zeminlerde taş, harç, tuğla gibi parçaların bulunması (RZ4)
Kalıp yapımı ya da sökümü işlemi sırasında göze çapak kaçması (RB1)
Kalıp malzemelerinin uygun taşınmaması (RB3)
Sökülen kalıbın gelişi güzel istiflenmesi (RB6)
Topraklamanın yapılmaması (RE1)

Tablo 4.2'de verilen riskler ise çalışma kapsamındaki şantiye için önemli riskler olarak görülmektedir. Bu risklerin derecesini azaltacak tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu kısımda gözlemlenen birçok eksiklik basit kontrol tedbirleri ve küçük önlemler alınarak giderilebilir. İlgili önlemler için rehber olarak Yapı Sektöründe İş Güvenliği El Kitabı kaynak olarak dikkate alınabilir (Tezel, 2012).

Tablo 4.2. Çalışmada gözlemlenen önemli riskler

Alanında uzman olmayan kişilerin inşaatta çalıştırılması (RG1)
Çalışanların sağlık raporunun olmaması (RG2)
Uygun olmayan ekipman ve aletle çalışma (RG3)
İkaz ve uyarı levhalarının olmaması (RG7)
Şantiye alanının yeterli aydınlatılmaması (RG10)
Gerekli yangın söndürücülerin şantiye alanında hazır bulundurulmaması (RG11)
Şantiye içinde malzemelerin gelişi güzel istiflenmesi (RG12)
Ağır yüklerin elle taşınması (RT2)
Halatın tamburu sıyırması (RT4)
Taşınacak malzemeye uygun kovanın kullanılmaması (RT5)
Gırgır vinç kovanının aşırı yüklenmesi (RT6)
Kovanın halat bağlantı noktasının emniyetli olmaması (RT7)
Kovanın sarkaç hareketi yapması sonucu çalışana ya da binaya çarpması (RT8)
Uzun yüklerin dengelenmemesi sonucu sarkaç hareketi yapması (RT9)
Gırgır vincin kayış kasnak mekanizmasının açıkta kalması (RT10)
Gırgır vincin zemine düzgün sabitlenmemesi (RT11)
Hafriyat bölgesinde salt yapı şebekelerin olup olmadığının kontrolünün yapılmaması (RH1)
İş makinesi operatörüne uygun talimatların gözlemci tarafından verilmemesi (RH4)
Hafriyatın uygun araçla taşınmaması (RH5)
Kamyonların aşırı yüklenmesi (RH6)
Yükleme işlemi sırasında kamyon çevresinde çalışanın bulunması (RH7)
Aşırı yağışlı havalarda hafriyat işlemine devam edilmesi (RH8)
İskelenin zemine tam oturtulması nedeniyle yıkılması (Rİ2)
İskele bağlantı elemanlarından kaynaklı iskelenin çökmesi (Rİ3)
İskele platformu hareket etmeye müsaade edecek ebatta olmaması (Rİ4)
İskelenin duvara uygun mesafeden ve uygun aralıklarda sabitlenmemesi sonucu yıkılması (Rİ5)
İskelenin söküm işlemi sırasında talimatlara uyulmaması (Rİ9)
Kalıp yapım prosedürüne uyulmaması (RB2)
İşçilerin dikmelere tırmanmaya çalışması (RB5)
Söküm işlemi sırasında kalıbın altında çalışma (RB7)
Makineleri besleyen panolarda kaçak akım rölesinin bulunmaması (RE2)
Sıvı ve nemli yüzeylerde elektrikle çalışılması (RE3)

Tablo 4.3’de verilen riskler ise çalışma kapsamındaki şantiye için yüksek dereceli riskler olarak görülmektedir. Faaliyetlerin derhal durdurulup, bu riskleri ortadan kaldıracak ya da risklerin derecelerinin kabul edilebilir seviyeye indirilmesini sağlayacak gerekli kontrol tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Şantiyede gerekli koruyucu donanımın

sağlanmaması ya da sağlanan koruyucu donanımların da gerekli güvenliği sağlamaktan uzak olması çalışmada tespit edilen yüksek risk derecesine sahip faaliyetlerdir. Bununla birlikte, çalışanların da gerekli kişisel koruyucu donanımı talep etmediği ya da şantiyede verilen koruyucu donanımın gerektiği gibi kullanılmadığı görülmüştür. Örneğin, iskele üzerinde çalışan işçilerin hiçbirinin emniyet kemeri takmadığı gözlemlenmiştir. Yine göze çarpan bir diğer husus da şantiyede yürütülen faaliyetlerin farklı olmasına karşın tüm faaliyetler için tek tip eldiven kullanıldığı tespit edilmiştir. Şantiyede yürütülen faaliyet türüne göre uygun eldivenin sağlanması gerekir. Her iki riskin ortadan kaldırılması için hem işverene hem de çalışana koruyucu ekipman ve donanım hakkında eğitim verilmeli ve koruyucu donanımın çalışanlar tarafından kullanılıp kullanılmadığının tespitini sağlayacak denetim sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Yine şantiyede tespit edilen bir diğer yüksek dereceli risk ise iskele üzerinde kullanılan ahşap kalaslardır. Bazı kalalarda çatlaklar tespit edilmiş olup bazılarında ise kalasın üzerine yapışıp kalan ve ayağın takılması sonucu düşmelere neden olabilecek engellerin olduğu görülmüştür. Kullanılan ahşap kalasların kontrol edilerek uygun olmayanların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çalışanlara, iskele ile çalışma kuralları eğitimlerle benimsetilmelidir. Diğer yüksek riskli faaliyetler için alınabilecek tedbirler şunlardır; Şantiye alanı çevrilmeli ve şantiyenin güvenliğinden sorumlu görevli çalıştırılmalıdır. Ayrıca hafriyat işlemi sırasında gerekli iksalar mutlaka yapılmalı ve hafriyat işlemi zemin etüt raporuna göre gerçekleştirilmelidir. Çalışma ortamında görülen bir diğer eksiklik de ekskavatörle yapılan kazılarda makinenin hareket alanı içinde dolaşan çalışanların bulunmasıdır.

Tablo 4.3. Çalışmada gözlemlenen yüksek dereceli riskler

Gerekli kişisel koruyucu donanımların sağlanmaması (RG4)
Gerekli kişisel koruyucu donanımın çalışan tarafından kullanılmaması (RG5)
Görevli olmayan (misafir/işçi) kişilerin çalışma noktasında olması (RG6)
Şantiye alanının uygun malzemeye sarılmaması (RG8)
Şantiye girişinin kontrol altında tutulmaması (RG9)
Şantiye alanında kullanılan motorlu araç ve yaya yollarının ayrılmaması (RG14)
Şantiye alanında hızlı araç kullanma (RG15)
Vinç kovanının altında çalışılması (RT12)
Derin kazı işlemlerinde istinat duvarının ya da perdenin yapılmaması (RH2)
Kazı bölgesine uygun giriş-çıkış alanlarının oluşturulmamış olması (RH3)
Zemin etüt raporunun hafriyat esnasında dikkate alınmaması (RH9)
İskelede emniyetli çalışma kurallarına uymama (Rİ1)
İskele yüzeyinin uygunsuzluğu (kaygan olması ya da harç gibi malzeme olması) (Rİ6)
İskelede kullanılan ahşap kalasın zamanla çürümesi ve hasar görmesi nedeniyle kırılma (Rİ7)
İskelede korkuluk olmaması (Rİ8)
Merdiven boşluklarında korkuluk olmaması (RZ1)
Asansör boşluklarında korkuluk olmaması (RZ2)
Kalıp söküm prosedürüne uyulmaması (RB4)
Uygun olmayan ekli ya da hasarlı kablolarla çalışılması (RE4)
Pano kapaklarının açık bırakılması (RE5)

Çalışmadaki uzman değerlendirmeleri incelendiğinde Derin kazı işlemlerinde gerekli iksaların yapılmaması (RH2), Zemin etüt raporunun hafriyat esnasında dikkate alınmaması (RH9) risklerinin gerçekleşmesi durumunda proje maliyetlerini çok yüksek ölçüde arttırdığı görülmektedir. Bu durumun risk büyüklüğüne yansımaya baktığımızda da her iki riskin de yüksek dereceli risk olarak elde edilmesini sağlamıştır. Değerlendirmede RH2 riski için tanımlanan ihtimal L ve çalışana etkisi VH'dir. Maliyet parametresini dikkate almadığımızda ve klasik L Matris Tekniğiyle risk skorunu hesapladığımızda $L(2) \cdot VH(5) = 10$ değerini elde ederiz ki bu değer L Matris Tekniğinde orta seviye riske tekabül eder. RH9 için de benzer durum söz konusudur. Oysa çalışmamızda her iki risk de yüksek dereceli risk olarak görüldüğünden faaliyetlerin derhal durdurulup önlemlerin alınmasını gerektirir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Risk değerlendirmesi, işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek çalışanlara maddi ya da manevi zarar verebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerden açığa çıkabilecek risklerin tanımlanması, risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi, kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, alınan önlemlerin izlenmesi ve yenilenmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Risk değerlendirme sürecinin kanuni zorunluluğunun yanında, çalışanların çalışma koşullarını iyileştirmesi ve verimliliği arttırması gibi önemli faydaları da vardır. Bu nedenle risk değerlendirme süreci dinamik yapısı olan bir faaliyettir. Literatürde risk değerlendirme teknikleri incelendiğinde birçok tekniğin mevcut olduğu ve bu tekniklerin büyük bir kısmının da kategorik verilere dayanan bir hesaplama mantığını içerdiği görülmektedir. Çalışmamızda inşaat sektöründeki mevcut risklerin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan tekniklerden ziyade bulanık mantık temelli bir teknik tercih edilmiştir. Bu tekniğin seçilmesindeki ana amaç, kullanılan kategorik verilerin bulanık mantık temeline uygun olması ve bu tür verilerin bulanık modellerle daha iyi işlenebileceğinin literatürde çeşitli alanlardaki farklı uygulamalarla gösterilmiş olmasıdır. Bu nedenle alışmamızda Mamdani Bulanık ıkarım tekniği kullanılarak şantiye için risk değerlendirmesi yapılmıştır. Literatürde risk derecelendirilirken genellikle riskin gerçekleşme ihtimali ile gerçekleştiğinde çalışana vereceği zarar parametreleri dikkate alınmaktadır. Çalışmamızda ise, literatürde kullanılan parametrelere ilaveten, tanımlanan riskin gerçekleşmesi durumunda işin bitiş süresini uzatması nedeniyle ya da malzeme ya da ekipmana vereceği maddi hasar nedeniyle proje maliyetlerindeki artış da bir parametre olarak ele alınmıştır. şantiyelerde risk değerlendirme çalışmalarında bulanık mantık temelli bir yöntemin kullanılması ve İSG açısından risk derecelendirmesinde proje maliyetlerindeki artışın da bir şiddet parametresi olarak dikkate alınması çalışmamızın orijinal yönünü oluşturmaktadır. Çalışmanın uygulaması İstanbul Avrupa yakasında faaliyet gösteren 8 Blok 80 konutlu bir şantiyede gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında ilk olarak ilgili şantiyeye ait tehlike kaynakları tanımlanmış ardından da meydana gelebilecek riskler belirlenmiştir. Çalışmada göze çarpan ve inşaatın durdurulmasını gerektirebilecek önemli riskler şunlardır;

- Gerekli kişisel koruyucu donanımların sağlanmaması ve/veya çalışan tarafından kullanılmaması

- Şantiye alanının çevre ortamdan ayrılmaması nedeniyle çalışma alanına 3. şahısların rahatlıkla girebilmesi
- Kazı işlemlerinde uygun tedbirlerin alınmaması
- İskelede çalışmalarda ya da geçiş yollarında kullanılan malzemelerin uygunsuzluğu

Bunların dışında da çalışma ortamında acil tedbir gerektiren ancak çalışmanın durdurulmasını gerektirmeyecek ve Bulgular Bölümünde tanımlanan önemli derecede birçok risk tanımlanmıştır.

Uygulama yapılan işletmede tespit edilen eksikliklerin oldukça fazla olmasının başlıca nedenleri şunlardır;

- Yapıyormuş gibi göstermek: İşletmede İSG kültürünün oluşmamış olması ve yapılan işlemlerin ihtiyaçtan değil de kanuni zorunluluktan dolayı yerine getiriliyor olması. Gerek çalışma yapılan şantiyede gerekse benzer şantiyelerde iş güvenliğinin ana amaç olarak görülüyor olması söz konusudur.
- Bilgi eksikliği: İşletmenin İSG açısından oturmuş bir politikasının olmaması ve çevreden alınan duyumlarla hareket edilmesi çalışma ortamında bir bilgi eksikliğini göstermektedir. Bu nedenle işverenlere İSG açısından iş güvenliğinin önemi ve iş güvenliğini sağlamada da risk değerlendirmesinin önemi eğitim ve seminerlerle yaygınlaştırılmalıdır.
- Değişkenlik: İnşaat ekipleri sürekli olarak değişkenlik göstermektedir. İnşaat sektöründe yaşanan gelişmeler bu sektörde çalışan kalifiye eleman sıkıntısının yaşanmasına neden olmaktadır. Bu durum birçok ekipte yeni işe başlayan çalışanların sayısının artmasına ve ekipler içinde yaşanan işçi değişiklik hızının yüksek olmasına neden olmaktadır. Ayrıca inşaat sektöründe işin başlangıcından bitişine kadar geçen sürede birçok ekip görev almakta ve işveren bir sonraki projede aynı ekiple çalışma fırsatını yakalayamamaktadır. Bu da işverenin çalıştığı ekibi iyi tanıyamamasına neden olmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenler özellikle de değişkenlik maddesi şantiyelerde risk değerlendirmesinin yapılmasını da zorlaştırmaktadır. Gerek risk değerlendirmesinin dinamik bir yapı içermesi gerekse de şantiyede ki faaliyetlerin dinamik yapıda olması risk değerlendirmesini zorlaştıran unsurlardır. Bir şantiyede yapılan faaliyetler emek yoğun bir özelliğe sahiptir ve basit insan hatasının sonuçları vahim boyutlara ulaşabilmektedir. Dolayısıyla şantiyede çalıştırılan işçilerin günümüzdeki örneklerinin aksine eğitilmiş ve bilinçli olması gerekmektedir. Bir sanayi üretimi düşünüldüğünde yapılan iş ve sahip

olunan teknoloji bellidir ve sermaye yoğun bir yapıdadır. İşçi değişim hızı da oldukça düşüktür. Bir işçi yıllarca hemen hemen aynı işi yapmakta aynı çalışma ortamında aynı çalışma gruplarıyla çalışmaktadır. Oysa şantiyelerde yapılan iş, çalışılan çevre ve mesai arkadaşları da hızla değişmektedir. Bu da insan hatasının kolaylıkla yapılmasına neden olabilmektedir. O nedenle, şantiyelerde karşılaşın risklerin derecesini azaltabilmek için çalışanların iş güvenliği yanında mesleki eğitimlere de tabi tutulmasını sağlanmalıdır. Ayrıca şantiyelerde yürütülecek risk değerlendirme çalışmalarını daha kolaylaştırmak amacıyla şantiyedeki her faaliyet için bir kontrol listesi oluşturulmalı ve bu kontrol listesine göre işe başlamadan önce denetim sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Abbe, O., O., Harvey, C., M., Ikuma, L., H. ve Aghazadeh, F., 2011. Modeling the Relationship between Occupational Stressors, Psychosocial/Physical Symptoms and Injuries in the Construction Industry, International Journal of Industrial Ergonomics, 41, 2, 106-117.
- Acuner, Ö. ve Çebi, S. 2013. İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Değerlendirme için Bulanık Tabanlı Bir Model Önerisi, 19. Ulusal Ergonomi Kongresi Eylül Bildiriler Kitabı, 497-505, 27-29.
- Ali J, Maryam M., Environmental Risk Assessment of Dams by Using Multi-Criteria Decision-Making Methods: A Case Study of the Polrood Dam, Guilan Province, Iran, An International Journal,(2013) 20, 69-85.
- Aneziris, O., N., Papazoglou, I., A. ve Kallianiotis, D., 2010. Occupational Risk of Tunneling Construction, Safety Science, 48, 8, 964-972.
- Barlas, B., 2012. Occupational Fatalities in Shipyards: an Analysis in Turkey, Brodogradnja, 63, 1, 35-41.
- Barlas, B., 2012. Shipyard Fatalities in Turkey, Safety Science, 50, 5, 1247-1252.
- Beriha, G.S., Patnaik, B., Mahapatra, S., S. ve Padhee, S., 2012. Assessment of Safety Performance in Indian Industries Using Fuzzy Approach, Expert Systems with Applications, 39, 3, 3311-3323.
- Bragatto, P., A., Agnello, P., Gnoni, M., G., Lettera, G. ve Sciancalepore, F., A., 2010. The Impact of the Occupational Safety Control Programs on the Overall Safety Level in an Industrial Cluster, Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications, 1, 3, 745-752.
- Çebi, S. 2011. Developing a Fuzzy Based Decision Making Model for Risk Analysis in Construction Project, Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 17, 387-405.
- Çelebi, U., B., Ekinci, S., Alarcin, F. ve Unsalan, D., 2010. The Risk of Occupational Safety and Health in Shipbuilding Industry in Turkey, Advances in Maritime and Naval Science and Engineering, 178-185.
- Chen, S., J. ve Hwang, C., L., 1992. Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York.
- Chevreau, F., R., Wybo, J., L. ve Cauchois, D., 2006. Organizing Learning Processes on Risks by using The Bow-Tie Representation, Journal of Hazardous Materials, 130, 3, 276-283.
- Fouladgara M.M., Yazdani-Chamzini A. ve Zavadskas E.K., 2012. Risk evaluation of tunneling projects, Archives of Civil And Mechanical Engineering, 12, 1-2.
- Guo, G., Zhang, C., Wu, G., Ding, Q., Wang, S. ve Li, F., 2013. Health and Ecological Risk-Based Characterization of Soil and Sediment Contamination in Shipyard with Long-Term Use of DDT-Containing Antifouling Paint, Science of the Total Environment, 450, 0, 223-229.

- Heller S., 2006. Managing industrial risk—having a tested and proven system to prevent and assess risk, Journal of Hazardous Materials, 130, (2006) 58–63.
- Jacinto, C. ve Silva, C., 2010. A Semi-Quantitative Assessment of Occupational Risks using Bow-Tie Representation, Safety Science, 48, 8, 973-979.
- Karimi A., Mousavi N., Mousavi S. F., Hosseini S., Risk assessment model selection in construction industry, Expert Systems with Applications **38** (2011) 9105–9111.
- Kuo Y. ve Lu S., 2013. Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects, International Journal of Project Management, 31, 602–614.
- Liu J., Li Q. ve Wang Y., 2013. Risk analysis in ultra deep scientific drilling project — A fuzzy synthetic evaluation approach, International Journal of Project Management, 31, 449–458.
- Lu J., Zhang G., Ruan D., Wu F., 2007. Multi-Objective Group Decision Making Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques, Imperial Collage Press, Singapore.
- Mamdani, E. H., 2013. "Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey," in *Fuzzy Automata and Decision Processes*, M. M. Gupta, G. N. Saridis and B. R. Gaines, eds., North-Holland, New York, 1977, pp. 1-13.
- Mattorano, D., Harney, J., Cook, C. ve Roegner, K., 2001. Metal Exposure During Ship Repair and Shipbreaking Procedures, Occupational and Environmental Hygiene, 16, 3, 339–349.
- Nishikido, N., Yuasa, A., Motoki, C., Tanaka, M., Arai, S., Matsuda, K., Ikeda, T., Iijima, M., Hirata, M., Hojoh, M., Tsutaki, M., Ito, A., Maeda, K., Miyoshi, Y., Mitsuhashi, H., Fukuda, E. ve Kawakam,i Y., 2006. Development of Multi-Dimensional Action Checklist for Promoting New Approaches in Participatory Occupational Safety and Health in Small and Medium-Sized Enterprises, Industrial Health, 44, 1, 35-41.
- Ölçer, A.İ. and Odabaşı, A.Y, 2005. A new fuzzy multiple attributive group decision making methodology and its application to propulsion/maneuvering system selection problem, European Journal of Operational Research, 166,93-114.
- Özkılıç, Ö., 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu Yayınları, No. 246, Ankara, 244 s.
- Özkök, M., 2013. Risk Assessment in Ship Hull Structure Production Using FMEA, Journal of Marine Science and Technology, doi:
- Pinto, A., Nunes, I., L. ve Ribeiro, R., A., 2011. Occupational Risk Assessment in Construction Industry - Overview and Reflection, Safety Science, 49, 5, 616-624.
- Pinto, A., Ribeiro, R., A. ve Nunes, I., L., 2012. Ensuring the Quality of Occupational Safety Risk Assessment, Risk Analysis, 33, 3, 409-419.
- Prasad, S., 1990. Improving Manufacturing Reliability in IC Package Assembly Using FMEA Technique, 9th IEEE/CHMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Publ. By IEEE, 356-360.
- Resmi Gazete, 2012. 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Başbakanlık Basımevi 28339

- Resmi Gazete, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği Başbakanlık Basımevi 28512
- Robu, B., Gavrilescu, M. ve Macoveanu, M., 2003. Risk Assessment for a Shipyard from Romanian Black Sea Coast, Environmental Engineering and Management Journal, 2, 4, 303-316.
- Ross, T., J., 2004. Fuzzy Logic Engineering Applications, John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- Saaty, T., L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw Hill.
- Sabuncu, H., H., 2008. İş Sağlığı Tehlike ve Değerlendirilmesi Risk ve Değerlendirilmesi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul.
- Swatt, K., 1997. Monitoring of Accidents and Risk Events in Industrial Plants, Journal of Occupational Health, 39, 0, 100-104.
- Tamosaitiene J., Zavadskas E.K. ve Turskis Z., 2013. Multi-criteria risk assessment of a construction Project, Procedia Computer Science, 17, 129 – 133.
- Tezel, M., 2012. Yapı Sektöründe İş Güvenliği El Kitabı, ISBN : 978-975-455-166-2, CSGB İSG El Kitabı Seri No. 3.
- URL1. <http://www.ceis.org.tr/dergi/2013temmuz/makale2.pdf>. 24.12.2013.
- URL2. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk_istatistik_yilliklari. 24. 12. 2013 .
- URL3. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16118>. 24. 12. 2013.
- URL4. http://www.csgb.gov.tr/csgbPortal/ShowProperty/WLP%20Repository/isggm/dosyalar/isgip_insaat_2 . 1.09.2013
- Wang Y. ve Elhag T.M.S., 2006. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment, Expert Systems with Applications, 31, 309–319.
- Wang L-X, 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall.
- Yun, J., M. ve Park, P., 2012. Development of Industrial Safety Management System for Shipbuilding Industry using RFID/USN, 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC), September, Fukuoka, JAPAN, DOI: 10.1109/UIC-ATC.2012.54, 285-291.
- Zadeh, L., A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8,0, 338-353.
- Zadeh, L., A., 1987. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Design Process, John Wiley&Sons, 16.
- Zeng, J., An, M. ve Smith, N., J., 2007. Application of a Fuzzy Basen Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment, International Journal of Project Management, 25,0, 589–600.

ÖZGEÇMİŞ

Aslıhan ÇEBİ 1980 yılında Bandırma'da doğdu. 1998 yılında Bandırma Şehit Mehmet Gönenç Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2002 yılında mezun oldu. Mezun olduğu yıldan sonra özel sektörde çeşitli firmalarda yapı kontrol, yaklaşık maliyet gibi farklı görevlerde aktif olarak çalıştı. 2002-2007 yılları arasında yapı denetim sektöründe, 2007-2008 yılları arasında deprem güçlendirmesi yapan Ülker Mühendislik ve Müşavirlik Şirketinde, 2008-20014 yılları arasında İstanbul İl Özel İdaresi Yatırım ve İnşaat Müdürlüğünde görev yaptı. Şuan İstanbul Büyük Şehir Belediyesi bünyesinde görev yapan Aslıhan ÇEBİ evli ve iki çocuk annesidir.