

# BÖLÜM 11

## İŞ GÜVENLİĞİNDE RİSK ANALİZİNİN ROLÜ<sup>1</sup>

Serap TEPE<sup>2</sup>  
İhsan KAYA<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Ekonomik, sosyal, teknik ve hukuki yönleri olan iş sağlığı ve güvenliği (İSG), çalışanların iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı korunmalarının sağlanması şeklinde tanımlanmaktadır. İSG, işin yapılışı sırasında, çalışanların karşılaştıkları sağlık sorunları ve mesleki tehlikelerin ortadan kaldırılması ve azaltılması üzerine bilimsel çalışmaları ele almaktadır. Çalışma koşullarının olumsuz etkilerinden, iş kazaları, meslek hastalıkları ve her türlü zararlardan korunma faaliyetleri ile daha güvenli iş yerleri oluşturma ve bu kapsamda değerlendirilecek ilgili konular İSG'nin *çalışma alanları arasında yer almaktadır*. İSG, kaza olduktan sonra konuyu ele alan değil; kaza olasılıklarını ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar yapan multi-disipliner bir bilimin adıdır.

İSG bakımından risk, bir problemin gerçekleşme ihtimalinin yaratacağı etkinin bileşkesidir. Bir tehlikenin yaratacağı etkiye bağlı olarak saptanan riskin hesaplanması kazanın ve sorunun giderilmesi için fırsat yakalamaktır. Risk değerlendirmesi ise; “işyerlerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin, işçilere, işyeri ve çevresine verebileceği zararların ve alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar” olarak tanımlanmaktadır. Risk yönetimi, insan hayatı ve çevre güvenliği ile ilgili risklerin değerlendirilmesi, iş kazası veya meslek hastalıklarının nedenleri ve bunları etkileyen faktörlerle ilgili en geçerli bilgiyi toplayarak tehlikelerin ortaya çıkmasını engellemek için etkili bir güvenlik ağı kurmaktır. Bu güvenlik ağı; devlet, işverenler, çalışanlar, sendikalar, üniversiteler ve meslek örgütlerinin birlikte çalışarak oluşturacağı bir ağıdır.

*Çalışma hayatının en önemli parçalarından biri olan işçilerin çalıştıkları yerlerde İSG bakımından güvensiz unsurlarla birlikte olmaları ve söz konusu unsurlara karşı önlemlerin yetersizliği, bu konuda farklı yönetmeliklerin oluşturulmasını*

<sup>1</sup> Bu çalışma 1. yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, serap.tepe@sbu.edu.tr,

<sup>3</sup> Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü ihkaya@yildiz.edu.tr

*gerektirmiştir. Bu yönetmelikler kapsamlı ve etkin risk analizi yapılmasını zorunlu kılar niteliktedir.*

Risk analizi faaliyetleri işverene; tehlikelerin tanınması, risklerin önceden belirlenmesi, çalışanlar için güvenli ortam tesisi, kazaların önlenmesi ile kayıpların azaltılması, kalite ve verim artışı sağlanması, saygınlık, proaktif yaklaşım, acil durumlara hazır olma ve görev paylaşımı gibi birçok konuda fayda sağlamaktadır. Bu nedenle, risk analizi kavramı günümüzde İSG için vazgeçilmez unsurlardan biri haline gelmiştir. Risk analizi çalışmaları yapılırken bir takım stratejik kararların verilmesi gerekmektedir. Çalışanları ve iş yerini direkt ya da dolaylı etkileyen faktörler, fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, psikolojik etmenler, hukuki yönler ve yönetmelikler vb. verilecek kararlara etki eden kriterlerdir. Bu açıdan bakıldığında, risk analizi yapılması çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak düşünülebilir. Risk analizi yapılırken nitel kriterler kapsamında değerlendirilmesinde klasik mantık sistemi yetersiz kalmaktadır. Çünkü klasik mantık sisteminde kesin doğruluk değerleri “doğru” ya da “yanlış” tan birisine sahip önermelerle ilgilenir. Belirsizliklerle ilgilenmez. Gerçek dünyada karşılaşılan birçok problemde olduğu gibi risk analizi süreci de birçok belirsizlik içermektedir. Bulanık mantık sistemi, bu belirsizliklerin karar modelinde dikkate alınmasına fırsat vermektedir. Literatürde, farklı sektörlerin İSG açısından çalışma koşullarını, özelliklerini, mevcut durumu analiz etmek için birçok nicel ve nitel risk değerlendirme araçları mevcuttur. İSG risk değerlendirmesi, herhangi bir endüstride güvenlik uygulamalarının temelidir. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi, ölçülmesi güç olan birçok parametrenin değerlendirilmesini içeren karmaşık bir süreçtir [1]. Bu parametrelerin değerlendirilmesinde nitel ve nicel durumların dikkate alınması oldukça önemlidir. Bu nedenle, İSG risk değerlendirmelerinde bulanık mantığı kullanan çalışmaların literatürde önemli bir yeri vardır. Bulanık mantık sistemlerinde, bilgi aynı görüşte olmayan bir uzman grubundan alınır ve farklı insanlar için kelimelerin farklı anlamları nedeniyle belirsizlikler söz konusudur [2]. Genelde bulanık tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı yaygın olarak, her bir dil teriminin «0,1» aralığındaki değerli bir derece ile temsil edildiği geleneksel Tip-1 bulanık kümelerle dayanır. Subjektif söylemin belirlediği belirsizlik düzeyi sayısal yargılardan algılamaya kadar değişmektedir. Gerçek yaşamdaki ÇKKV problemleri için, bu durum, daha fazla belirsizlikle baş edebilecekleri ve daha sağlam sonuçlar çıkarabildikleri için, bulanıklık kavramını Tip-2 bulanık kümelerin kullanımıyla genişletmeyi gerektirmektedir [3]. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreç (BAHS) ve aralık Tip-2 bulanık DEMATEL'in entegrasyon modeli, sürdürülebilir insan kaynakları yönetimi uygulamasının başarısını etkileyen faktörleri vurgulamak için Tooranloo [4] tarafından önerilmiştir. Bobillo [5]

mevcut uygulamaların ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak Tip-2 bulanık ontolojiler için resmi bir çerçeve önermiştir ve bu çerçevede nöro-bulanık sistemlerin gerçek hayat sistemlerini modellemek için etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Nöro-bulanık sistemler, sunulan verilerden bilgiyi genelleştirebilme yeteneğine sahiptir. Bu sistemlerin önemli faydaları, yaratılan modellerin yorumlanabilirliği [6]. Diyabetik hastalarda retinopatiyi öngörmek için aralık Tip-2 bulanık regresyon modeli Bajestani [7] tarafından önerilmiştir. Vella [8] yüksek sıklıkta bulanık sistemlerin, yüksek frekanslı bir ticaret senaryosunda yer alan piyasa mikro yapısı gürültüsünün neden olduğu artan belirsizliği ele alma konusunu araştırmıştır. Bu çalışmada ilgi alanı ağırlıklı olarak risk ayarlı performanstır. Popüler Tip-1 ANFIS modelinin geliştirilmesine dayanan bir aralık Tipi-2 modeli tasarlamak için özgün bir çalışma önermişlerdir. Bu çalışmanın vurgusu, akıllı ticaret algoritmalarında Tip-2 bulanık kümelerin tanıtılmasının bir sonucu olarak, tasarım ve hesaplama karmaşıklığındaki asgari bir artışla riske göre ayarlanmış performansın geliştirilmesi amacına dayanmaktadır. Ayhan [10], yaz spor okulu seçmek için entegre çok üyelikli bulanık AHS ve TOPSIS yaklaşımı için bir çerçeve önermiştir. Bu yaklaşımda, çok üyelikli bulanık AHS, TOPSIS ile entegre olarak kullanılmıştır. Önerilen modelde, 4 ana ve alt kriterin önem ağırlıkları çok üyelikli bulanık AHS ile belirlenmiştir. En iyi yaz spor okulu, TOPSIS yöntemini kullanarak 3 alternatif arasından seçilmiştir. Yeni bir entegre yaklaşım olan Fine Kinney, Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses (PBAHP), iş sağlığı ve güvenliği alanında İlbahar ve arkadaşları [11], tarafından çalışılmıştır. Kosinüs benzerlik ölçümlerine dayanan aralık değerli Nötrosifik AHP, nötrofilik belirsizlik altında ikili karşılaştırma matrisleri için objektif bir skorum prosedürü sağlar [12]. Kuşan ve arkadaşları [13], inşaat sektörü ile ilgili projelerde risklerin belli bir düzen çerçevesinde değerlendirilebilmesi, risk büyüklüğünün belirlenebilmesi ve risklerin meydana getirebileceği etkilerin tahmin edilebilmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirmiştir. Üç ayrı projeye uygulanan modelin performansı değerlendirilmiş ve ortaya çıkan sonuçların konunun uzmanlarının görüşleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Zile [14], iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak iş yerlerindeki organizasyonlardan, çevre şartlarından ve değişik faktörlerin birbiriyle etkileşmesinden kaynaklanan farklı tehlikeleri değerlendirerek temeli bulanık mantığa dayanan bir risk değerlendirme analiz modeli oluşturmuş ve buna bağlı bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. Güranlı ve Müngen [15], çalışmalarında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yönteminden faydalanarak kontrol listesi hazırlamış, inşaat sektöründe meydana gelen on temel kazanın kaza şiddetlerini tespit etmiş ve inceleme yapılan şantiyenin iş güvenliği risk puanını hesaplamıştır. Durmaz [16], bulanık bir model oluşturulan ve risk öncelik sayıları tespit edilen çalışma-

sında risk düzeyini sayısal olarak ifade etmek yerine sözel ifade edilmesine imkân sağlayan bulanık mantık yaklaşımını kullanmıştır, bu kapsamda bulanık mantık yaklaşımı iş güvenliği risk değerlendirmesi uygulaması bir inşaat şantiyesinde gerçekleştirilmiştir. Bulanık risk değerlendirme sonucu tespit edilen Risk Öncelik Sayıları ile Hata Modu ve Etkileri Analizi yönteminde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, bulanık mantığın daha doğru ve güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Efe ve arkadaşları [17], yaptıkları çalışmada geleneksel Hata Türleri ve Etkileri Analizinde noksanlıklar olduğu için eleştirilen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik gibi risk faktörlerine ait ağırlıkları değerlendirmek için üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen dilsel değişkenler kullanmış ve Bulanık PROMETHEE yöntemini önermiştir. Şişman [18], tarafından gerçekleştirilen çalışmada otomotiv sektöründeki yan sanayilerden birinde hata türü ve etkileri analizinde bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanılmıştır, risk değerlendirilmesi yapılan bu çalışmada öncelikle bulanık AHP yöntemi ile risk faktörlerine ilişkin önem ağırlıkları belirlenmiş ardından hata türlerinin risk önceliği bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Wang ve arkadaşları [19], çalışmalarında risklerin değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi için COPRAS ve analitik ağ süreci yöntemini kullanarak entegre bir risk değerlendirme modeli önermiştir. Önerilen risk derecelendirme yaklaşımı belirsizlikle başa çıkmada aralık değerli sezgisel bulanık kümelerin avantajlarını birleştirmiş ve bu yöntem hastane hizmetlerinde bir uygulama ile durumun doğruluğunu göstermek için sunulmuştur. Kumru ve arkadaşları [20], farklı fonksiyonel yapılar da risk dereceleri ile risk indeksleri arasındaki ilişkiyi tanımlamayı amaçladıkları çalışmalarında risk derecelerinin her zaman risk indeksleri ile doğrusal bir ilişki göstermediği varsayımından hareketle çalışma koşullarının iş sağlığı ve güvenliği açısından uzman değerlendirmesi için üç farklı üyelik fonksiyonu kullanarak bulanık temelli hesaplamalar yapmışlardır. Mure ve arkadaşları [21], çalışmalarında iş kazası risklerini değerlendirme yöntemini bulanık mantığa dayalı olarak sunmuşlardır. Bu çalışmanın amacı, farklı sanayi ve saha faaliyetleri için iş kazası riskini yarı niceliksel olarak değerlendirebilen ve riskleri azaltmak için alınabilecek en etkili müdahale önlemlerini tespit edebilen bir metodoloji oluşturmaktır. Azadeh ve arkadaşları [22], bir petrokimya tesisinde var olan sağlık, güvenlik, çevre ve ergonomi başlıklarında risk değerlendirme uygulaması için bir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) önermiştir.

Çalışma ortamlarında koşulların iş sağlığı ve güvenliğine uygun hale getirilmesi, iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı önlemler alınması, gerekli iş-

leyişin oluşturulması, iş sağlığı güvenliği kültürünün tüm paydaşlar tarafından benimsenmesi, tüm bunlara bağlı olarak işçinin kendini güvende hissetmesi iş hayatına olumlu etki etmektedir. Bu kültürün oluşmasında risk analizi önemli bir basamaktır. İş mevzuatımızda risk analizinden kast edilen husus, işyerlerinde var olan veya var olması muhtemel tehlikelerin işçi, işyeri ve çevresine verebileceği zararların önceden tespit edilerek alınacak tedbirlerin belirlenmesi çalışmasıdır. Risk değerlendirmesinin amacı; mevcut risklerin neler olduğunun, nerelerden kaynaklandığının, kimleri etkilediğinin, kabul edilebilir olup olmadığının ve önleme faaliyetlerinin belirlenmesidir. Risk değerlendirmesi faaliyetleri işverene; tehlikelerin tanınması, risklerin önceden belirlenmesi, çalışanlar için güvenli ortam tesisi, kazaların önlenmesi ile kayıpların azaltılması, kalite ve verim artışı sağlanması, saygınlık, proaktif yaklaşım, acil durumlara hazır olma ve görev paylaşımı gibi birçok konuda fayda sağlamaktadır. Tarihsel akışta koruyucu iş hukuku mevzuatının oluşturulması, örgütlenme özgürlüğünün elde edilmesi, çalışma hayatındaki risklere karşı sosyal sigortaların oluşturulması ve ücretin korunması gibi konuların yanı sıra risk değerlendirmesi de İSG açısından elzem bir başlık olarak ifade edilebilir.

## **1. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE KAVRAMLAR VE RİSK ANALİZİ**

### **1.1 İş Sağlığı ve Güvenliği**

İSG, çalışanlarla ilgili süreçlerde oluşabilecek tüm sorunların mümkün olan en az düzeye indirgenmesini amaçlayan işlemler bütünüdür. İSG bakımından asfalt üretim hizmetleri yapısal zorlukları, karmaşıklığı, riskleri, geniş üretim yelpazesi, hızla değişen teknolojisi ve farklı uzmanlıklar gerektiren iş kolları itibariyle detaylı ve özenli bir çalışma yapılmasını gerektirmektedir. Bu sektörün en önemli parçalarından biri olan işçilerin çalıştıkları yerlerde İSG bakımından güvende olmaları adına yapılan ölçümler, tetkikler, raporlamalar ve değerlendirmeler konunun hassasiyetini ortaya koymaktadır. İSG tehlike sınıflandırılması listesinde asfalt üretim kuruluşlarının iş kazaları ve mesleki hastalıklar bakımından en tehlikeli grupta yer alması bu sektörde kapsamlı ve etkin risk analizi yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

### **1.2 İş Sağlığı İle İlgili Kavramlar**

“Halk içinde muteber bir nesne yok devlet gibi.

Olmaya devlet cihanda bir nefes sıhhat gibi.”

Kanuni Sultan Süleyman'a ait olan bu şiirde sağlık yer yüzündeki en önemli kıymet olarak tanımlanmıştır. Çünkü sağlık iyi olma halidir. Sağlık kavramı için

çok sayıda tanımlama mevcuttur. En genel tanımıyla sağlık, kişinin bedeninde hastalığın ya da hastalık yapıcı bir etkenin bulunmaması halidir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), sağlığı sadece hastalık veya maluliyet durumunun olmayışı değil, 'kişinin kendini fiziksel, psikolojik ve sosyolojik açıdan tamamlanmış ve tam bir güvenlik içinde hissetmesidir' şeklinde tanımlamaktadır [23]. Görüldüğü üzere DSÖ, sağlık için üç faktörden bahsetmektedir; bunlar beden sağlığı, sosyal sağlık ve ruhsal sağlık olarak ifade edilmiştir. Beden sağlığı kişinin vücudunda hastalık, engellilik, hastalık etkeni gibi durumların olmaması; ruhsal sağlık kişinin yaşına ve konumuna göre nerede nasıl hareket edeceğini bilmesi, sosyal sağlık ise; kişinin yaşadığı çevre ile anlaşılır bir dil oluşturması ve toplum içerisindeki rolünü yaşadığı toplumun gereklerine göre ifa etmesi olarak belirtilmektedir. Tüm bu iyilik halleri birlikte mevcut olduğunda kişinin tam sağlıklı olduğu söylenebilmektedir. Bu hallerden herhangi birinde meydana gelecek bir bozukluk, kişinin diğer yönlerinde de aksamalara ve dengesizliğe yol açacaktır. Bu da sağlığı oluşturan unsurların birbirinden tümüyle bağımsız olduğu değil, aksine bir bütün olduğunu işaret etmektedir. DSÖ'ye göre sağlığın temel belirleyicileri sosyal ve fiziksel çevreyle birlikte kişinin süregelen alışkanlıkları, ya da karakteristiğidir. Bireyin sağlıklı olup olmadığını etkileyebilecek birtakım faktörler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Gelir veya sosyal konum
- Toplumsal İlişkiler ve Sosyal Destek Alabilme
- Okuryazarlık ve Eğitim
- İş ve Çalışma Koşulları
- Sosyal Çevrenin Özellikleri
- Fiziksel Çevrenin Özellikleri
- Problemlerle Başa Çıkma
- Çocuk Gelişimi
- Bireyin Biyolojik veya Genetik Özellikleri
- Cinsiyet
- Kültür

Bu açıdan bakıldığında sağlık, iş sağlığı kavramının temelini oluşturmaktadır. Çalışanın işte veya işyerinde bulunduğu sürede sağlığı için tehdit oluşturacak faktörlere maruz kalmaması ve tehlikelerden korunması iş sağlığı kavramının sağlıkla olan en temel ilişkisidir. Bireyin en tabii hakkı olan yaşama hakkının çalışma koşullarından kaynaklı nedenlerle tehlikede olmaması için yapılan çalışmalar iş sağlığının çıkış noktasıdır. Çalışanların sağlığını korumanın yanı sıra, iş yerindeki işleyişi kontrol altında tutma, kalite standartları gerekliliklerini uygulama, sürdürülebilir bir çalışma ortamını oluşturma da yine iş sağlığı kavramının bir parçası konumundadır. İş sağlığının bir kültür olarak kavranması sadece işçi-işveren iliş-

kisi açısından değil; toplumun tüm katmanlarınca sağlıklı ve güvenli bir ortamın oluşması bakımından oldukça önem arz etmektedir [24]. Çalışanın sorumlu olduğu işte bilinçli ve bilgili olması, iş sağlığı gereklerini yerine getirmesi mümkün olabilecek en üst seviyede verimi de beraberinde getirecektir.

### **1.3 İş Güvenliği İle İlgili Kavramlar**

Güvenlik kavramı tehdit içerisinde bulunmama olarak ifade edilmektedir. Güvenlik, tehditlerden korunma ve bireylerin bağımsız kimliklerini ve fonksiyonel bütünlüklerini zararlı olarak niteledikleri değişimin zorlamalarına karşı muhafaza etme kabiliyetleri olarak tanımlanmaktadır. Güvenliğin en alt seviyesi hayatta kalmadır. Bu çerçevede, güvenlik, tehlikelerden korunma ve şüpheden uzak olma gibi temel kriterlere atıfta bulunarak ifade edilmeye çalışılmaktadır [25]. Güvenlik kavramının uygulama alanlarından biri de iş güvenliğidir. İş güvenliği çalışanın işte veya işyerinde bulunma sürecinde karşılaştığı risklere karşı tedbirli olması ve tehlikelerden korunmasını belirtmektedir. İş sağlığı ve güvenliği ailesini meydana getiren sağlık ve güvenlik kavramları birbirinden farklı olmakla birlikte aynı amaca hizmet etmektedirler. İş sağlığı, çalışanların iş ortamlarındaki fiziksel, sosyal, psikolojik durumlarını araştıran ve gelişmesini amaçlayan; iş güvenliği ise işte veya işyerinde bulunma sürecinde çalışanların karşılaştığı risklere karşı tedbirli olmalarını ve tehlikelerden korunmalarını ifade eden kavramlardır. İş sağlığı ve güvenliğinin tam olarak sağlanması bu iki kavramın temel amacıdır.

### **1.4 İş Sağlığı ve Güvenliği Tarihçesi**

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çalışmalar antik Yunan zamanlarında başlamıştır. Hipokrat'ın (MÖ 460-370) kurşun zehirlenmesi üzerindeki çalışmaları ve Pliny'nin (MS 23-77) kurşun ve kükürt kaynaklı zehirli etkileri ele alan çalışmalarının sonrasında ilk kişisel korunma aracı olan deri maskelerini üretmesi iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili bilinen ilk çalışmalardır. MS 2. yüzyılda, Yunanlı Doktor Galen kurşun zehirlenmelerini ve bakır ocaklarındaki asit buharlarının zararlarını incelemiştir. İSG ile ilgili ilk yasal düzenleme, Percival Pott'un çoğu baca temizleyicilerinin kanser hastalığına yakalanması ile ilgili olarak yapmış olduğu incelemeler sonucu iş ile hastalık arası bulduğu ilişki üzerine İngiliz Parlamentosu'nun 1788'de kabul ettiği Baca Temizleyicileri Kanunu ve 1833 yılında kabul edilen İngiliz Fabrikaları Kanunu'dur. Bu iki kanunun benzer özellikleri, önlem almadan çok, tazminat ödemeyi gündeme getirmeleridir. On dokuzuncu yüzyıldan itibaren İSG ile ilgili kanunların hazırlanması ve yaptırımlar uygulanması konusunda çeşitli önlemler alınmıştır. Sosyal güvenlik kavramı bu yüzyılda yaygınlaşmış, çeşitli sigorta kurumları kurulmuş ve iş kazaları ile meslek hastalıkları sigortası uygulanmaya başlanmıştır. Meslek hastalıkları ve iş kazalarını önlenme amaçlı 1919 yılında faa-

liyetine başlayan Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) “Milletler Cemiyeti”ne bağlı olarak bu konuda önemli çalışmalar yapmış ve 1946 yılında Birleşmiş Milletler ile imzaladığı anlaşma sonucu bir uzmanlık kuruluşu durumuna gelmiştir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve bu kuruluşlarla işbirliği yapan birçok kuruluş, İSG yönünden önemli çalışmalar gerçekleştirmiştir [26]. İSG ile ilgili dünyadaki tüm bu gelişmelere paralel olarak ülkemizde de İSG’de yaşanan tarihsel süreç, çalışma yaşamındaki ilerlemeler doğrultusunda çeşitli aşamalardan geçmiştir. Osmanlı İmparatorluğu’nda tersane, baruthane, top arabası, fişekhane, dökümhane gibi askeri amaçlı iş yerleri ile dokuma fabrikaları ağırlık taşımaktadır. Ayrıca küçük zanaat ve atölye üretimine dayanan işyerleri sanayi devrimi öncesi oldukça yaygındır. Bu işyerlerinde usta, kalfa ve çırak olarak ücretle çalışanlarla işverenler arasındaki ilişkileri ve çalışma koşullarını lonca adı verilen meslek dernekleri düzenlemekteydi. Tanzimattan sonra bazı girişimler sonucu işçi yararına çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Kömür ocaklarında çalışan işçilerin çalışma koşullarını düzenleyen kanunlar yapılmıştır. Ülkemizde İSG ile ilgili ilk yazılı belge 1865 yılında çıkarılan “Dilaver Paşa Nizamnamesi”dir. Dilaver Paşa Nizamnamesi, çalışma koşullarına ilişkin olarak getirdiği düzenlemeler yanında, madende bir hekim bulundurulmasını da zorunlu tutmuştur. 100 maddelik Dilaver Paşa Nizamnamesi daha çok üretimin artırılmasına yönelik olmasına rağmen, İSG ile ilgili ilk yasal belge olması açısından da önemlidir. Sonraki ikinci önemli belge olan “Maadin Nizamnamesi”, genellikle iş güvenliğini ilgilendiren önemli hükümlerden bahsetmektedir. 8 Mayıs 1921 tarihli ve 114 sayılı “Zonguldak ve Ereğli Havza-i Fahmiyesinde Mevcut Kömür Tozlarının Amele Menafii Umumiyesine Olarak Furuhtuna Dair Kanun” ile 10 Eylül 1921 tarih ve 151 sayılı “Ereğli Havza-i Fahmiyesi Maden Amelesinin Hukukuna Müteallik Kanun” ile ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği kavramı hukuksal bir boyut kazanmaya başlamıştır. “Umumi Hıfzısıhha Kanunu” [27] ve “Belediyeler Kanunu” 1930 yılında yürürlüğe girmiştir [28]. Daha sonra 1936 yılında yürürlüğe giren ve çalışma yaşamının birçok sorunlarını kapsayan 3008 sayılı İş Kanunu ile ülkemizde ilk kez İSG konusunda sistemli bir düzenlemeye gidilmiştir. Sırasıyla, 931, 1475, 4772, 4792, 5502, 6700, 4857 ve 6331 numaralı kanunlar çıkarılarak iş hayatı, çalışma koşulları, sigorta, emeklilik, iş sağlığı, meslek hastalıkları gibi konularda değişen çağa ayak uydurmak için güncellemeler yapılmıştır. Tüm bu yasal düzenlemeler ülkemizdeki İSG’ye yönelik faaliyetler adına umut verici gelişmelerdir.

### **1.5 İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yönetim Anlayışı**

Kurumların iş sağlığı ve güvenliğini sağlayabilmeleri açısından, bu konu ile il-



gili politikalar geliştirmeleri ve bunu sistematik bir şekilde takip etmeleri gerekmektedir. Kurumların üretimlerini olumsuz yönde etkileyen iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı mevcut durumun analizini yaparak risk unsurlarını tespit ettikleri ve bu risk unsurlarını kontrol altına almak için yasal mevzuata uygun çeşitli programları oluşturdukları sisteme iş sağlığı ve güvenliği yönetim anlayışı denilmektedir [29]. 2014-2018 üçüncü dönem İSG politika belgesi ve eylem planına göre aşağıdaki başlıklar ülkemizdeki iş sağlığı ve güvenliği yönetim anlayışını özetlemektedir.

1. İş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan faaliyetlerin niteliğinin artırılması ve standart hale getirilmesi.

- Teknik düzenlemelere uygun olmayan kişisel koruyucu donanım kullanımının azaltılması.
- Yapılacak denetimlerle İSG hizmetlerinin mevzuata uygunluğuna katkı sağlanması.
- İSG mevzuatının teknolojik gelişmelere ve iş yeri çalışma koşullarına uygun olarak güncellenmesi.
- İSG uzmanlarının görevlendirilmesi konusunda sektörel düzenlemelere öncelik verilmesi.
- İSG profesyonellerinin eğitimlerinin nitelik ve yeterliliklerinin artırılması.
- Sektöre özgü İSG yönetim sistemlerinin oluşturulması ve yaygınlaştırılması.
- Özel politika gerektiren grupların çalışma hayatında korunmasına yönelik tedbirlerin artırılması.
- Tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde çalıştırılacakların mesleki eğitimlerine yönelik iş birliklerinin oluşturulmasına öncelik verilmesi.

2. İş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerinin ve kayıt sisteminin geliştirilmesi.

- İş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerinin, İSG kanununun kapsamı dikkate alınarak, uluslararası standartlara göre kayıt altında tutulması.
- Meslek hastalığı verilerinin ön tanılarının toplanması
- İş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerine kamu çalışanlarının dâhil edilmesi.

3. Metal, maden ve inşaat sektörlerinin her biri için iş kazası oranının azaltılması.

- *İnşaatlara yüksekte düşme kaynaklı kazaların önlenmesine yönelik çalışmaların yapılması.*
- Madenlerde göçük, patlama vb. nedenlerle meydana gelen kazaların önlenmesine yönelik çalışmaların yapılması.

- Metal sektöründe sıkışma, el-kol yaralanması vb. nedenlerle meydana gelen kazaların önlenmesine yönelik çalışmaların yapılması.

4. Karşılaşılması muhtemel meslek hastalıklarının belirlenerek ön tanılarının toplanması.

5. Kamu ve tarım sektörlerinde İSG' nin geliştirilmesine yönelik faaliyetlerin artırılması.

Tüm bu eylem planları dikkatle incelenecek olursa İSG konusunda çağın gerekliliklerine uygun şekilde düzenlemelerin, kontrollerin ve yaptırımların devlet güdümünde gerçekleştirilmeye çalışıldığı anlaşılmaktadır.

### **1.6 İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizi**

İnsanla ilgili çoğu faaliyetlerde risk mevcuttur ve neredeyse tüm disiplinlerde riski değerlendirmek ve anlamak amacıyla yürütülen çalışmalar bulunmaktadır. Hemen hemen tüm bilim dalları, bu konuyu aktif olarak ele alarak, riskle ilgili çok çeşitli tanımlar üretmiştir. Risk kavramı için farklı alanlara göre farklı tanımlamalar yapmak mümkündür. Temelde risk iki bölümden oluşur; bir şeyin yanlış gitme olasılığı ve bu olasılığın olumsuz sonuçları. Risk aynı zamanda iç veya dış zafiyetlerden kaynaklanan ve önleyici eylemle önlenebilecek bir hasar, yaralanma, sorumluluk, kayıp veya başka bir olumsuz durum olasılığı veya tehdidi olarak da tanımlanmaktadır. Risk esasen bir tehlikenin yaratacağı etkiye bağlı olarak saptanan ve kazanın ya da sorunun giderilmesi için fırsat yakalamaktır. Bu fırsatı yakalayabilmek için uygulanması gereken adımlar bir bakıma risk analizinin de temelini oluşturmaktadır. Risk analizi, işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gereken çalışmaların tümü olarak tanımlanabilmektedir. Risk analizi sürecinde ilk adım risklerin belirlenmesidir. Risklerin doğru belirlenmesi meydana gelebilecek iş kazaları ya da meslek hastalıklarına karşı gerekli ve yeterli önlemlerin alınabilmesi için önem arz etmektedir. Doğru belirlenen riskler beraberinde doğru önlemleri getirmektedir. Risk belirlemeden sonraki aşama analizdir. Risk analizi ile belirlenmiş ve sebepleri listelenmiş riskler incelenmektedir. Ardından risklerin hesaplanma süreci başlamakta ve bu kapsamda öncelikle mevcut risklerin bir sıraya konulması gerekmektedir ki önem sırasına göre öncelikler doğrultusunda önlemler alınabilsin. Önem derecesine göre belirlenen risklerin, her biri için kontrol önlemleri planlanır. Bu kontrol önlemleri, mevcut riskleri ortadan kaldırmaya yönelik olabileceği gibi, ortadan kaldırılması mümkün olmayan risklerin en az zararı verecek seviyeye çekilmesini sağlayacak şekilde de olabilmektedir. Gerekli kontrol önlemleri alındıktan sonra

bu önlemlerin işleyip işlemediği gözlenmek durumundadır. Eğer önlemler uygun olarak işleмиyorsa kurum halen risk altındadır, tekrar değerlendirmek gerekmektedir; ayrıca gözlem yapmak ters giden durumlar için acil müdahale yapma şansı vermektedir. Tüm bu aşamalar risk analizini ve değerlendirmesini oluşturmakta, risk analizi de iş sağlığı ve güvenliğinin temel taşı olarak birçok çalışmaya konu olmaktadır. Risk analizi içerdiği kompleks yapı nedeniyle hassasiyet gerektiren bir sahadır. İSG çalışmalarının bu kompleks yapısı aslında İSG'nin hem hukuki hem teknik hem de sosyal yönlerinden kaynaklanmaktadır. İş yeri ortamı ile ilgili çalışmalar teknik önlemleri, çalışanların hakları ve sorumlulukları ile ilgili çalışmalar hukuki boyutu, çalışma hayatındaki eşitsizlikleri düzeltme, avantajsız grupların şartlarını geliştirme ve yardım sağlama amacıyla yapılan çalışmalar da sosyal yönü temsil etmektedir. Çok tehlikeli grupta yer alan bir işletme için risk analizi yapılan bu çalışmada hem risk analizi için yeni bir yöntem önerilmiş hem de genel çerçevede çalışan refahı için dikkat edilmesi gereken parametrelerle ilgili önerilerde bulunulmuştur.

## **2. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI**

### **2.1 Bulanıklık Tanımı**

Açık bir şekilde tanımlanmamış belirsizlik içeren ifadeler karar vermeyi zorlaştırmaktadır. Bu ifadelerin klasik mantık sistemleriyle değerlendirilip çözümlenmeler yapılması, yargılara ulaşılması güçtür. Klasik mantık sistemleri, belirsizliklerle ilgilenmezler. Oysa ki bulanıklık belirsizlikle ilgilenen bir kavramdır. Matematiksel olarak bulanıklık, çok değerlilik demektir ve kökenleri kuantum mekaniğindeki "Heisenberg'in konum-momentum belirsizliği ilkesine dayanmaktadır. Bu ilke, bir elektronu gözlerken, konumunu ve hızını aynı anda doğru olarak belirlemenin mümkün olmadığını ifade etmektedir [30].

### **2.2 Bulanık Mantık**

Klasik mantık sisteminde, 'doğru' ya da 'yanlış' vardır. Bu sistemde üçüncü bir ihtimalin gerçekleşmesinin imkânsız olduğu düşünölmekte ve çoğu zaman bu tür durumlar 'paradoks' olarak adlandırılmaktadır. Klasik mantık (0-1) gibi iki değere sahiptir, bulanık mantık ise [0-1] aralığında değerlere sahiptir. Bulanık mantığın esas söylemi, bir önermenin 'doğru', 'yanlış', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış' olabileceğidir. Başka bir ifade ile; doğruluk, klasik yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak [0, 1] gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur. Bu söylem Zadeh 'in bulanık mantık üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucu olarak kabul görmektedir [31]. Bulanık mantık gün geçtikçe daha

çok alanda kullanılır duruma gelmiştir. Hem sosyal konulara hem de mühendislik alanlarına gerçekçi çözümler sunması ve yapay zekâ teknolojisi gibi birçok alana olan katkıları nedeniyle bulanık mantık kullanımı artmıştır. Bulanık mantığın modern anlamda ilk kurucusu Zadeh bu alanın önderi sayılmaktadır. 1975 yılında Assilian ve Mamdani tarafından bulanık mantık kavramı ilk defa bir buhar makinasının kontrol sistemine entegre edilmiştir. “Eğer türbinin hızlanma ivmesi yükseliyorsa basınç çok düşünce buhar vanasını bir miktar aç” şeklinde direktifler ile bu sistemi gerçekleştirmişlerdir. 1987 yılında Hitachi firması Sendai Metrosuna bulanık mantık kavramını uygulamıştır. Bu çalışma ile %10 enerji tasarrufu sağlanmıştır. 1988 yılında Tokyo Borsasında kara Pazar olarak da anılan krizin sinyallerini Yamaichi Securities tarafından bulanık mantık temelli akıllı sistem 18 gün önceden haber vermiştir. Bütün bu gelişmelerin ardından 1989 yılında aralarında IBM, Matsuhita, Toshiba, Omron, SGS, Thomson gibi firmalarında olduğu toplam 51 firma tarafından Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering (LIFE) isimli laboratuvar kurulmuştur. Temelleri Zadeh tarafından atılan bulanık mantığın ilkeleri şu şekilde özetlenebilmektedir. Bulanık mantıkta kesin belli olan değerler yerine yaklaşık değerler kullanılmaktadır. Bulanık mantık için bilgi çok az, az, fazla, çok fazla şeklinde dilsel ifadeler ile tanımlanmaktadır. Bulanık mantıkta tüm değerler  $[0-1]$  aralığında bir üyelik derecesi ile gösterilmektedir. Her mantıksal ifade bulanık halde ifadeye dönüştürülebilmektedir.

### **2.3 Bulanık Kümeler**

Küme kavramı, mantığın ve aritmetiğin temelini oluşturmaktadır. Klasik kümeler kesin çizgilerle tanımlanmışlardır. Ancak bulanık kümeler belirsiz sınırlara sahiptirler. Klasik kümede bir elemanın kümeye ait olup olmaması kesindir ancak bulanık kümelerde durum farklı tanımlanmaktadır. Bulanık kümelerin sınırları belirsiz olduğundan elemanın aitliği  $[0, 1]$  aralığında herhangi bir değerle tanımlanmaktadır. Bulanık küme kavramı, klasik küme kavramına benzerlik gösterir, fakat daha geneldir ve uygulama alanı daha geniştir. İnsanların kararlarından, duygularından ve algılarından etkilenen sistemleri sayısal değerlerle modellemek zordur. Bu sebeple, çok karmaşık olan düşünme ve karar verme süreçlerinde kesin değerler yerine insan düşünce sistemine çok yakın olan dilsel değişkenler ve dilsel etiketlerin kullanılması gerekmektedir. Klasik küme teorisinde, kümeler evrensel kümenin alt kümesi olan bir kümeye ait olsun ya da olmasın, kesin olarak sınırlandırılır. Bu kümelerde bir elemanın üyeliği,  $0-1$  üyelik fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Gerçek dünyada, özellikle insanlarla ilgili karmaşık sistemlerle başa çıkmadaki yetersizlik nedeniyle, olayları ikili değerler  $0-1$  ile açıklamak zordur. Bu sebeple Zadeh, klasik kümelenebilir kavramının, kademeli üyelik işlevleriyle

ifade edilen bulanık kümeler olarak tanımlanması gerektiğini önermektedir; klasik kümelenebilirler yerine, nitelikleri (kümelenebilir unsurları) ikili üyelik işleviyle temsil edilmektedir [32], [33], [34], [35]. Bir örnekle açıklanacak olursa; 'uzun boylu erkekler kümesi' oluşturulmak istendiğinde ve boyu 180 cm'ye eşit veya daha uzun olanların uzun olduğunu belirtildiğinde 'uzun' kümenin üyeliğini tanımlamaktadır, elemanlar kümenin ya içindedir ya da içinde değildir. Bu keskin kenarlı üyelik işlevleri, ikili işlemler ve matematik için iyi bir şekilde çalışmaktadır.

Ancak bu durum gerçek dünyayı açıklamak için çok da iyi çalışmamaktadır. Çünkü bu tarz bir tanımlamada üyelik işlevi boyu 180 cm veya 200 cm olan iki kişi arasında hiçbir ayrım yapmaz, ikisi de uzun boyludur der. Oysa iki uzunluk arasında önemli bir fark vardır. Diğer taraftan 179 cm ve 180 cm arasındaki fark sadece bir cm olmasına rağmen üyelik işlevi sadece birinin uzun ve diğerinin uzun olmadığı anlamına gelmektedir. Uzun boylu erkek kümesine bulanık yaklaşımı, bir insanın uzunluğunun daha iyi temsil edilmesini sağlamaktadır.

## **2.4 Tip 2 Bulanık Kümeler**

Tip-2 bulanık küme kavramı ilk olarak klasik tip-1 bulanık kümelerin bir uzantısı olarak sunulmuştur. Tip-2 bulanık kümeleri, bulanık bir küme için tam bir üye fonksiyonunun belirlenemediği durumlarda çok kullanışlıdır; bu nedenle, bu kümeler belirsizliklerin üstesinden gelmede çok etkilidir. Belirsizliklerin ele alınmasında daha etkili olan tip-2 bulanık kümeler daha fazla parametre ile açıklanmaktadır. Bulanık mantıkta, kullanılan kelimelerin anlamlarının belirsiz olması, bilginin aynı fikirde olmayan uzmanlardan elde edilmesi, sistemi aktive eden ölçümlerin gürültülü olması ayrıca sistemin parametrelerini ayarlamak için kullanılan verinin de gürültülü olması gibi belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizlikler tip-1 bulanık kümeler ile direkt olarak çözülemediklerinden tip-2 bulanık kümeler devreye girmektedir. Tip-2 kümeler tip-1 kümelerin bir uzantısı olduğu için ana hatlarıyla iki küme birbirlerine benzer özellikler göstermektedir. İki küme arasında ilk farklılık bulanıklaştırma kısmında göze çarpmaktadır. Bulanıklaştırma işlemi üyelik fonksiyonları ile gerçekleşmektedir iki küme için de kural yazımı ve çıkarım işlemleri aynı çerçevede yapılmaktadır fakat üyelik fonksiyonlardaki farklılıktan dolayı gösterimleri farklı olmaktadır. İki denetim sistemi arasında diğer önemli farklılık da indirgeme işlemidir. Tip-1 bulanık mantık denetim sisteminde çıkış değeri kural yazımı ve çıkarım işlemi yapıldıktan sonra sadece durulaştırma işlemi ile elde edilmektedir. Tip-2 denetim sisteminde ise durulaştırma kısmına geçmeden önce tip-2/tip-1 indirgeme işlemi yapılmaktadır [36].

## 2.5 Çok Üyelikli Bulanık Kümeler

Zadeh tarafından geliştirilen klasik bulanık küme teorisi, karar vericinin karar verme hususunda karşılaştığı yetersizliklerin üstesinden gelme adına iyi çalışmasına rağmen, insan kararlarının karmaşıklığı ve dilsel ifadelerin çeşitliliği bu alanda farklı arayışlara gidilmesine sebep olmuştur. Bu yüzden Torra [37], *çok üyelikli* ya da başka bir ifade ile birden fazla üyelikli bulanık kümeleri tanımlamıştır. Daha sonra Rodriguez ve ark. [38] bu kümelermeleri incelemek ve dilbilimsel ifadelerin içeriğini zenginleştirmek için bir dizi çalışmalar yapmıştır. Böylece, iki alternatifi karşılaştırırken daha esnek ve etkileyici şekilde daha zengin ifadeler kullanabilmek mümkün olmuştur. Örneğin, “Orta ve En Yüksek Orta” ya da “En Yüksek Orta Orta” *çok üyelikli* bulanık kümeler ile karşılaştırılabilir. Bu ifadeler, tek bir bulanık dilbilimsel ifadeyle karşılaştırılması zor ve şüpheli durumlarda insanların dil yapılarına daha uygundur.

## 2.6 Sezgisel Bulanık Kümeler

“Intuitionistic Fuzzy Sets” şeklinde tasvir edilen sezgisel bulanık kümeler teorisi temel olarak bulanık küme nesnelerrinin ilgili tanımlarının uzantıları ve yeni nesnelerrin tanımları ile özellikleri esasına dayanmaktadır. Sezgisel bulanık kümeler Atanassov [39] tarafından literatüre kazandırılmış ve sonrasında birçok karar verme problemlerinde kullanılmıştır. Karar vericiler tarafından kriterlerin göreceli öneminin tayin edilmesi sırasında yaşanabilecek kararsızlık, bir elemanın üyelik derecesinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, sezgisel bulanık kümeler tarif edilmiştir.

## 2.7 Nötrosifik Kümeler

Nötrosifik kümeler, çalışma alanının belirsizlik içerdiği durumlarda klasik ölçünün geliştirilmesi ve belirsizlikle mücadele edilmesi için kullanılan kümelerrdendir. Nötrosifik kümeler, standart olmayan gerçek sayılar, hiperreal sayılar ve aralıklar olarak da bilinmektedir [40]. Nötrosifik küme kavramı; klasik set, bulanık set, aralık değerli bulanık set, sezgisel bulanık set, aralık değerli sezgisel bulanık set kavramlarını geliştiren güçlü bir genel formal çerçevedir. Nötrosifik kümede, belirsizlik açıkça ölçülür ve hakikat üyeliği, belirsizlik-üyelik ve yanlış üyelik bağımsızdır. Nötrosifik kümeler, verilerin farklı sensörlerden geldiği ve birleştirildiği birçok uygulamada kullanışlılık ve tutarlılık açısından çok önemlidir [41].

### **3. ASFALT ÜRETİM SEKTÖRÜ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ÇALIŞMALARI**

Türkiye’de asfalt üretim sektörü çok çeşitli firmalarda gerçekleştirilen bir hizmet türüdür. Ülkemizde asfaltın ana kullanım alanı yollardır. Asfalt içerdiği ana bileşeni bitüm ve bitümlü bağlayıcılardan çeşitli katkılara, soğuk karışımlardan, bitümlü sıcak karışıma ve satih kaplamalarına kadar uzanan geniş bir yelpazede, üretim ve uygulama ekipmanlarıyla önemli bir endüstri kolu olarak değerlendirilmektedir [42].

#### **3.1 Asfalt Tanım ve Tarihçe**

Asfalt, tahmini 5000 yıldan daha uzun süredir bilinen bir inşaat malzemesidir. İlk zamanlarda doğal depozitlerden elde edilen asfalt, geçirimsizliği sağlayan bir kaplama malzemesi ve harç olarak da kullanılırdı. Asfaltlı yol kullanımının geçmişi 100 yıl öncesine dayanmaktadır, o zamanlarda asfalt, bağlayıcı kullanılmadan yapılan yüzey tabakası üzerinde seyreden araçların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmıştır. Ülkemizde ilk asfalt uygulamaları Osmanlı zamanında başlamış ve bu konuda Fransızlardan destek alınmıştır [43]. Ülkemizde otomotiv endüstrisinin gelişmesi, yolcu ve yük taşımadaki artış, karayollarındaki artış ve benzer nedenlerle asfalt kullanımı ve buna bağlı olarak asfalt üretimi giderek yaygınlaşmıştır.

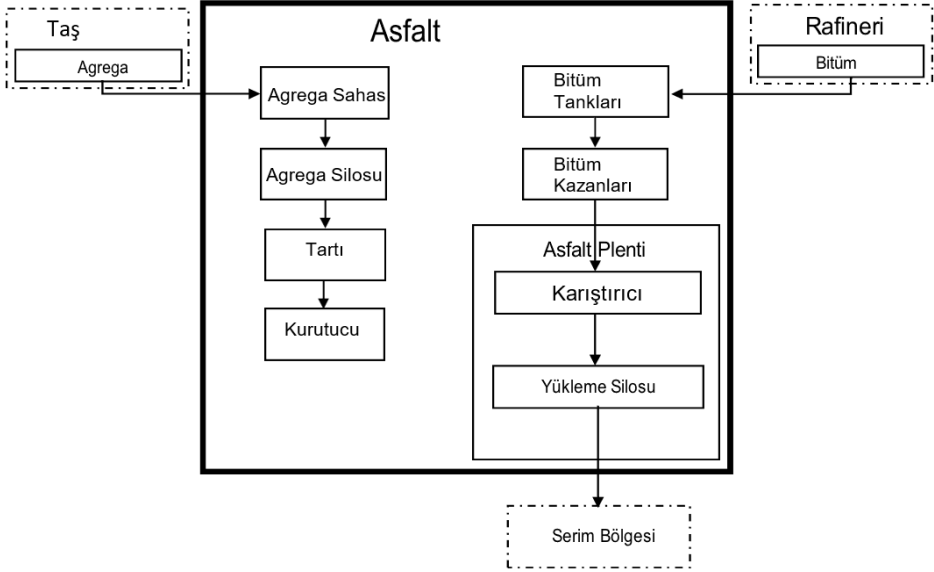
Bir üst yapı malzemesi olarak kullanılan asfalt, esasen iri ve ince agregası ile yapışkan özelliğe sahip bitümlü bağlayıcı karışımıdır. Asfalt karışımında kullanılan agregalar, karışım tasarımına bağlı olarak boyutlarına göre ayrıştırılıp seçilen sert minerallerdir. Bu mineraller kırmataş, çakıl ve kum gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu gibi yapay olabilmektedir.

Bitümler, ham petrolün damıtılmasından elde edilen viskoz hidrokarbonlardır. Bitümler, belirli bir sıcaklıkta viskozitesi, sertliği veya kırılabilirliği ile ilişkili olarak farklı sınıflarda üretilmektedir. Bazen asfalt karışımların hizmet verdiği geniş bir sıcaklık aralığında performansı artırmak için bitümler polimerlerle modifiye edilmektedir. Bitümün en önemli fiziksel niteliği, ısıtıldığında yumuşaması ve daha akıcı hale gelmesi, soğuduğunda ise tekrar sertleşmesidir. Asfalt yol yapımı ve serimi tipik olarak 140°C-160°C sıcaklık aralığında yapılmaktadır. Bitümün diğer önemli özelliği de normal hava sıcaklığında bir katı gibi davranmakla beraber, viskoz akışkanlığa ve yük altında kendini onarma özelliklerine sahip olmasıdır.

### **3.2 Asfalt Üretimi**

Asfalt üretiminde önceden tedarik edilmiş bitüm, ısıtılmış halde servis tanklarına konur. Kalite kontrol onayından geçmiş olan agregası stok sahasında hazır tutulur. Müşteriden gelen talep doğrultusunda, plant operatörü üretim reçetesini ekranda bulunan karta işler ve üretim başlar. Üretim tipine göre, kullanılacak olan agregası sınıfları yükleyici operatörüne kumanda panosu vasıtasıyla iletilir. Agregası, agregası silolarına yükleyiciler vasıtasıyla yüklenir. Oranları ayarlanmış taşıyıcı bantlar harekete geçerek kurutucuya doğru agregayı hareket ettirir. Kurutucuya gelen agregası, 1450C -175 0C'de yaklaşık olarak 25 saniye kurutulduktan sonra, döner tambur vasıtasıyla üzerine bitüm püskürtülerek karıştırılmaktadır. Isınma ve bitüm karıştırılma süresi toplam 45 saniye civarındadır. Elekli makinelerde, kurutucudan çıkan sıcak agregası dik elevatör ile eleklere taşınmakta, eleklere elendikten sonra, elek altında bulunan mikserde karıştırılarak karışımı hazırlanmaktadır. Agregası ve bitüm mikserde karıştırılır. Mikserden asfalt olarak çıkan ürün sıcak asfalt silosuna taşınır. Sıcak asfalt, açılan kapaklar vasıtasıyla serbest düşüşle kamyonlara boşaltılır. Hazırlanan asfalt karışımı, yalıtımlı kamyonlarla üstü kapalı olarak plantten serim yerine taşınır. Taşınan asfalt karışımı kamyonun sericinin haznesine boşaltılır. Serici haznesindeki karışım arka helezonla tablaya doğru iletilerek makinanın genişliğince serilir. Helezon malzemeyi asfalt yol boyunca dağıtır ve serici öne doğru hareket ederken tabla düzgün ve belirli bir kalınlıkta serimi gerçekleştirir. Bu işlemler sırasında asfalt hızla soğuyarak sertleşmeye başladığından, belirli bir yoğunlukta ve düzgün bir yol tabakası elde etmek için serim işleminin ardından geciktirilmeden karışımın silindirlerle sıkıştırılması gerekmektedir. Asfalt üretim iş akış şeması Şekil 3.1' de gösterilmektedir.





Şekil 3.1 Asfalt üretim iş akış şeması

### 3.3 Asfalt Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı

İSG uygulamaları tüm sektörlerde önemli olmakla birlikte asfalt üretim bazında ayrı bir öneme sahiptir. Asfalt üretim fabrikaları çok tehlikeli grupta yer almaktadır. İşin yapısı gereği; fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikolojik faktörler işçilerin çalışma ortamında mevcut olup her biri ayrı ayrı risk oluşturmaktadır. Asfalt üretim hizmetleri bu yüzden birçok tehlike içermektedir. Birbiri ile bağımlı ya da birbirinden bağımsız yapılan iş sayısının oldukça fazla olduğu bu işletmelerde karşılaşılan risk ve tehlikeler de birbiriyle aynı değildir. Bu sektörde 2872 numaralı Çevre Kanunu, 4857 numaralı İş Kanunu, 6331 numaralı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 4734 numaralı Kamu İhale Kanunu'nun yanı sıra Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Karayolları Teknik Şartnamesi, Bitümlü Karışım Standartları, Agregasilosu Karışım Standartları ve Makine Standartları gibi hükümlerle iş sağlığı ve güvenliği şartları sağlanmaya çalışılmakta, çalışanların maruz kaldığı tehlike ve risklerin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.

### 3.4 Asfalt Üretim Sektöründe Tehlike Grupları ve Uygulamaya Dair Bilgi

Asfalt ve yan ürünlerin üretiminin gerçekleştirildiği asfalt üretim sektörü bazında risk değerlendirmesi çalışması için risk gruplarının nelerden oluştuğu ve nitelikleri hakkında bilgiler aktarılmaktadır. Bu çalışmada gerçek hayat verileri kullanılmış, veriler İstanbul'da faaliyet gösteren bir firmadan alınmıştır. İstanbul'un iki

yakasında bulunan fabrikalarda üretilen ürünlerle şehrin asfalt ihtiyacını karşılayıp, sektöre danışmanlık hizmeti de veren firma Türkiye'nin en büyük 500 sanayi şirketi arasındadır. Firma, üretim ve performans rakamları açısından gerek ülkemizde gerekse Avrupada en büyük şirketlerden biri olmayı da başarmıştır. Firma, asfalt üretimi, geri dönüşüm ve önleyici bakım hizmetleri alanında geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Çalışmada risk değerlendirmesi yapılırken tehlikelerin basınçlı kap, aydınlatma, emisyon, elektrik ve gürültü olarak sınıflandırılması uzmanlarca uygun görülmüştür.

### **3.4.1 Basınçlı Kap**

İç basıncı 0.5 bardan büyük olan kaplara basınçlı kap denilmektedir. Basınçlı kap başlığı altında kazanlar, gaz tüpleri, LPG tankları, hava tankları, kompresörler, boru hatları, sınav gaz tankları, kriojenik tanklar, otoklavlar, hidrolik akışkan devreleri, pnomatik akışkan devreleri, soğutma üniteleri ve hidroforlar yer almaktadır. Basınçlı kaplardan kaynaklı tehlikeler; infilak, parçalanma, boğulma, zehirlenme, yangın, patlama olarak sıralanabilmektedir. Asfalt üretim fabrikalarında oldukça sık kullanılan basınçlı kaplar, çalışanlar için iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır.

Genel manada basınçlı kaplarla ilgili risklerden korunmanın yolları uygun tasarımı seçmek, periyodik kontrolleri yapmak, maruziyet alanı belirlemek, gaz detektörü ve alarm sistemi sağlamak, manometre, termometre, emniyet valfi, geri tepme valfi gibi sistemleri düzenli olarak kontrol etmek ve çalışır durumda olduklarından emin olmak olarak özetlenebilir.

### **3.4.2 Aydınlatma**

Asfalt üretim fabrikaları ofisler, üretim alanları, ekranlar, iç destek alanları gibi birimler sebebiyle; ayrıca yapılan işin hassasiyeti de entegre edildiğinde aydınlatma faktörü nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli tehlikeler barındırmaktadır. İş kazalarının oluşmasında %20 gibi azımsanmayacak bir paya sahip ve güvensiz şartlar başlığı altında değerlendirilebilecek aydınlatma; içerisinde parlama, yetersizlik, kör nokta, yansıma gibi faktörleri de barındırmaktadır.

### **3.4.3 Emisyon**

Asfalt üretim işletmelerinde en fazla rastlanan tehlike türlerinden biri de emisyon kaynaklı tehlikelerdir. "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği" ve "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında belirlenen yasal emisyon limitleri ile çevreyi koruma adına önlemler alınmıştır. Bu bağlamda tüm endüstriyel tesisler belirlenen bu limitler dahilinde emisyonlarını sınırlamakla mükelleftir. Emisyon ölçümleri, endüstriyel tesislerin ürettiği ve

bacalarından çevreye salınan atık gazların yaydığı salınımların analiz edilmesi ile belirlenmektedir. Asfalt üretiminde çok çeşitli gazlar ve artıklar açığa çıktığından bunların yanma hızı, havaya karışma hızı ve miktarı, solunma miktarları gibi faktörler tehlike oluşturmaktadır.

#### **3.4.4 Gürültü**

İstenmeyen, huzursuz eden ses olarak tanımlanan gürültü, tüm sektörlerde olduğu gibi asfalt üretim sektöründe de iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır. Kazanlar, iş makineleri, vinçler, sericiler, kamyonlar vb birçok gürültü kaynağının bir arada olduğu bu fabrikalarda çalışanlar ciddi tehdit altındadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) 63. konferansında imzalanan sözleşmenin 3. maddesinde gürültüyü şu şekilde tanımlamaktadır: “Gürültü, işitme kaybına yol açan veya sağlığa zararlı olan veya başka tehlikeleri ortaya çıkaran bütün sesleri kapsar” [44]. Bu tanıma göre gürültü hem kendi başına bir tehlike hem de başka tehlikelere sebeptir. Bir ortamdaki toplam gürültü, gürültü kaynağı sayısı arttıkça artmaktadır. Gürültü düzeyinin periyodik olarak ölçülmesi, uygun tasarımda cihaz kullanımı, kişisel koruyucu donanımlar, gürültüye maruz kalma süresini azaltma, sağlık kontrolleri gibi süreçlerle gürültü ile ilgili önlemler alınabilmektedir.

#### **3.4.5 Elektrik**

Elektrik ile çalışma iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli tehlike gruplarından biridir. Ana şalter, durdurma düğmeleri, sesli ikazlar, acil durum düğmeleri, sigortalar, kilitleme, tevzi tabloları, panolar ve daha birçok sistem elektrikle çalışma başlığına dahildir. Çok geniş bir yelpazede kullanım amacı olan elektrik, asfalt üretim fabrikalarında dikkat edilmesi gereken risk gruplarından.

Elektrik tesisatının cana ve mala zarar vermeyecek şekilde yapılması, insanların yanlışlıkla ulaşabilecek tesislerin gerilim altındaki bölümlerine kişilerin doğrudan veya araç ile dokunulmasını önleyecek gerekli tertibatların alınması, elektrik tesislerinin bakım onarım ya da işletme esnasında kolay ulaşılacak şekilde açık olarak düzenlenmesi gibi önlemler bu risk grubuna karşı alınan genel tedbirlerdir. Ayrıca gerilim altındaki tüm elektrik devreleri, makine ve cihazların bakım ve onarımı bu işle görevlendirilen yetkili teknik elemanlar tarafından veya gözetimi altında yapılmalıdır. Yer altı kablolarında yapılacak işlemlerde elektrik kesilmeden hemen sonra üzerinde çalışılacak kabloların tüm iletkenleri kısa devre edilmeli ama topraklama devam etmelidir. Elektrik işlerinde kullanılan tüm aletler (neon lambalı istaka, eldiven, ayakkabı, giysiler, yalıtkan sehpa, sigorta pensleri) her zaman kullanıma hazır bakımlı uygun halde saklanmalıdır. Asfalt üretim sürecinde risk gruplarının nelerden oluştuğu uzmanlardan elde edilen bil-

gilerle basınçlı kap, aydınlatma, emisyon, elektrik ve gürültü olarak tespit edilmiştir. Basınçlı kap denildiğinde bu gruba ait elemanların periyodik olarak kontrol edilmeleri ve durumun düzenli raporlanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca manometrenin uygun büyüklükte olmaması, yeterli mesafeden görünememesi gibi tehlikeler basınçlı kap ailesi adına önemli tehlikelerdendir. Sistemdeki sesli ve ışıklı alarmların çalışmaması, geri tepme vanasındaki bir bozukluk, maksimum basınçta kırmızı çizginin görülememesi ve kötü çevre şartları basınçlı kap risk grubunda değerlendirilmesi gereken tehlikelerdendir. Çevre şartları, termal konfor, fiziksel ve kimyasal şartlar, ayrıca aletlerin kalibrasyonu ile ilgili tehlikeler aydınlatma başlığı altında değerlendirilmiştir. Asfalt üretiminde birbirinden farklı organik ya da inorganik gaz, tehlikeli madde, atık gaz gibi tehlikeler emisyon başlığı altında incelenmiştir ayrıca toz yapıcı maddenin taşınması esnasındaki tehlikeler de bu grupta değerlendirilmiştir. Asfalt üretim fabrikasında faaliyetin süresine ve konusuna göre farklı gürültü oluşmakta, farklı gürültü kaynakları hem çalışanlar hem de çevre için tehdit unsuru haline gelmektedir. Arka plan gürültü kaynakları, işletmenin çevresi, ses yalıtımı ve hava şartları da gürültü başlığı altında değerlendirilen tehlikelerdir. Bu başlıklar altında kısaca ifade edilen asfalt üretimindeki tehlikelerin sınıflandırılması Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 Asfalt üretiminde tehlikelerin sınıflandırılması

Basınçlı Kap(B)	Periyodik kontrol raporu (B1) Manometre büyüklüğü (B2) Yağ tahliyesi (B3) Emniyet valfi (B4) Maksimum basınçta kırmızı çizgi (B5) Sesli ve ışıklı alarm sistemi (B6) Geri tepme vanası (B7) Kötü çevre şartları (B8)
Aydınlatma(A)	Çevre şartları (A1) Termal konfor (A2) Fiziksel şartlar (A3) Kimyasal şartlar (A4) Kalibrasyon (A5)
Emisyon(E)	Toz (E1) Toz yapıcı madde taşıma(E2) Atık gaz(E3) İnorganik ve organik gaz(E4) Aşırı tehlikeli madde(E5)

Elektrik (EL)	Ortam şartları (EL1) Toprak şartları (EL2) Topraklayıcı tesis şekli (EL3) Topraklama iletken kesiti (EL4) Pano, şase kullanımı (EL5) Paratoner uygunluğu (EL6)
Gürültü(G)	Faaliyet süresi(G1) Faaliyet konusu(G2) Gürültü kaynakları(G3) Yapısal özellik(G4) Ses yayılımı(G5) Hava şartları(G6) İşletmenin çevresi (G7) Arka plan gürültü kaynakları(G8)

Risk değerlendirmesi yapılan saha birbirine bağımlı ve birbirinden bağımsız çok farklı tehlike gruplarından oluşmaktadır. Tehlike gruplarının ve alt başlıklarının çeşitliliği çalışmada bulanık temelli hareket etmeye sebep olmuş, tehlikelerin sınıflandırılması ve karşılaştırılması yapılırken bir kriterin diğer kriterlere göre önem derecesi verilerin çeşitliliği göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının fazla belirsizlik içerdiği durumlarla mücadele etmede PBAHS ve NAHS yöntemleri etkili olduğundan karar vericilerin karar verme süreçleri boyunca objektif değerlendirme yapabilmeleri adına bu yöntemler tercih edilmiş; her iki yöntemle çözüm yapılarak çift taraflı kontrol sağlanması amaçlanmış, çalışmada kosinüs benzerliği yöntemi dahil edilerek de kullanıcıların ikili karşılaştırmalarda subjektif skora yerine, objektif bir skorlama yapmasına imkan verme ve tutarlılığı artırma hedeflenmiştir.

#### 4. UYGULAMA

**Önerilen yaklaşımda** asfalt üretim fabrikası verilerinden hareketle iş sağlığı ve güvenliğinde yeni bir bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmış ve risk değerleri hesaplanmıştır. Asfalt üretim fabrikası risk parametrelerinin iş sağlığı ve güvenliğinde bulanık mantıkla değerlendirilmesi literatürde ilk kez kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kosinüs benzerlik yaklaşımı entegre edilen PBAHS ve NAHS ile karşılaştırılmıştır. PBAHS için önerilen yaklaşımın ana adımları şunlardır:

Adım 1: Potansiyel tehlikeleri belirlemek için çalışma etkinlikleri tanımlanır, aralık değerlendirme ölçeği belirlenir.

Adım 2: Bir hiyerarşi oluşturmak için uzman görüşü alınarak bu tehlikeler sınıflandırılır, sorun bir hedef ve kriter hiyerarşisine dönüştürülür.

Adım 3: Çizelge 4.1'i referans alarak aralık değerli kümeler kullanılıp ölçütler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Adım 4: Önerilen aralık değerlendirme ölçeği kullanılarak normalize edilmiş ölçüt ağırlıkları hesaplanır.

Adım 4.1 Matrisin her sütunundaki değerler toplanır.

Adım 4.2. Her parametre için en yüksek değerleri seçtikten sonra, her parametre seçilen en yüksek değere bölünür.

Adım 4.3. Öncelik vektörlerini hesaplamak için her bir dizinin ortalaması hesaplanır.

Adım 4.4 Anlatılan süreç kriterlerin her biri için tekrarlanır ve tüm vektörler için ağırlık vektörleri elde edilir. Bu prosedürler, bu kriterlerin öncelik ağırlıklarını elde etmek için tekrarlanmıştır.

Adım 5: Elde edilen öncelik ağırlıklarını kullanarak her alternatif çift arasında kosinüs benzerlik ölçüsü uygulanır.

Adım 6: Doğrusal regresyon fonksiyonu kullanarak, ilgili AHP skoru atanır.

Adım 7: Klasik AHP adımlarına dayalı olarak alternatif ağırlıklar elde edilir.

Adım 8: L matris yöntemini kullanabilmek için alternatiflerin olasılık ve şiddet kriterleri derecelendirilir.

Adım 9: Elde edilen dereceleri kullanarak L matris uygulanır.

**Çizelge 4.1 PBAHS yöntemi için ağırlıklandırma ölçeği**

Sözel İfade	Karşılık			
Kesinlikle Düşük Önem - KDÖ	0	0	0,9	1
Çok Düşük Önem - ÇDÖ	0,1	0,2	0,8	0,9
Düşük Önem - DÖ	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalama Önem Altında - OÖA	0,35	0,45	0,55	0,65
Ortalama Önem - OÖ	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalama Önem Üzerinde - OÖÜ	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek Önem - YÖ	0,65	0,8	0,2	0,35
Çok Yüksek Önem - ÇYÖ	0,8	0,9	0,1	0,2
Kesinlikle Yüksek Önem - KYÖ	0,9	1	0	0
Tam Eşit - TE	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965

NAHS için önerilen yaklaşımın ana adımları şunlardır.

Adım 1. Saaty 1-9 skalasına denk düşen nütrosifik sayılar tanımlanır. Bunlar önerilen NAHS yönteminde farklı kriterleri karşılaştırmak için kullanılırlar.

Adım 2. Karar verme probleminin kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri belirlenir. Ardından, göz önüne alınan sorunun hiyerarşisinin inşası gerçekleştirilir.

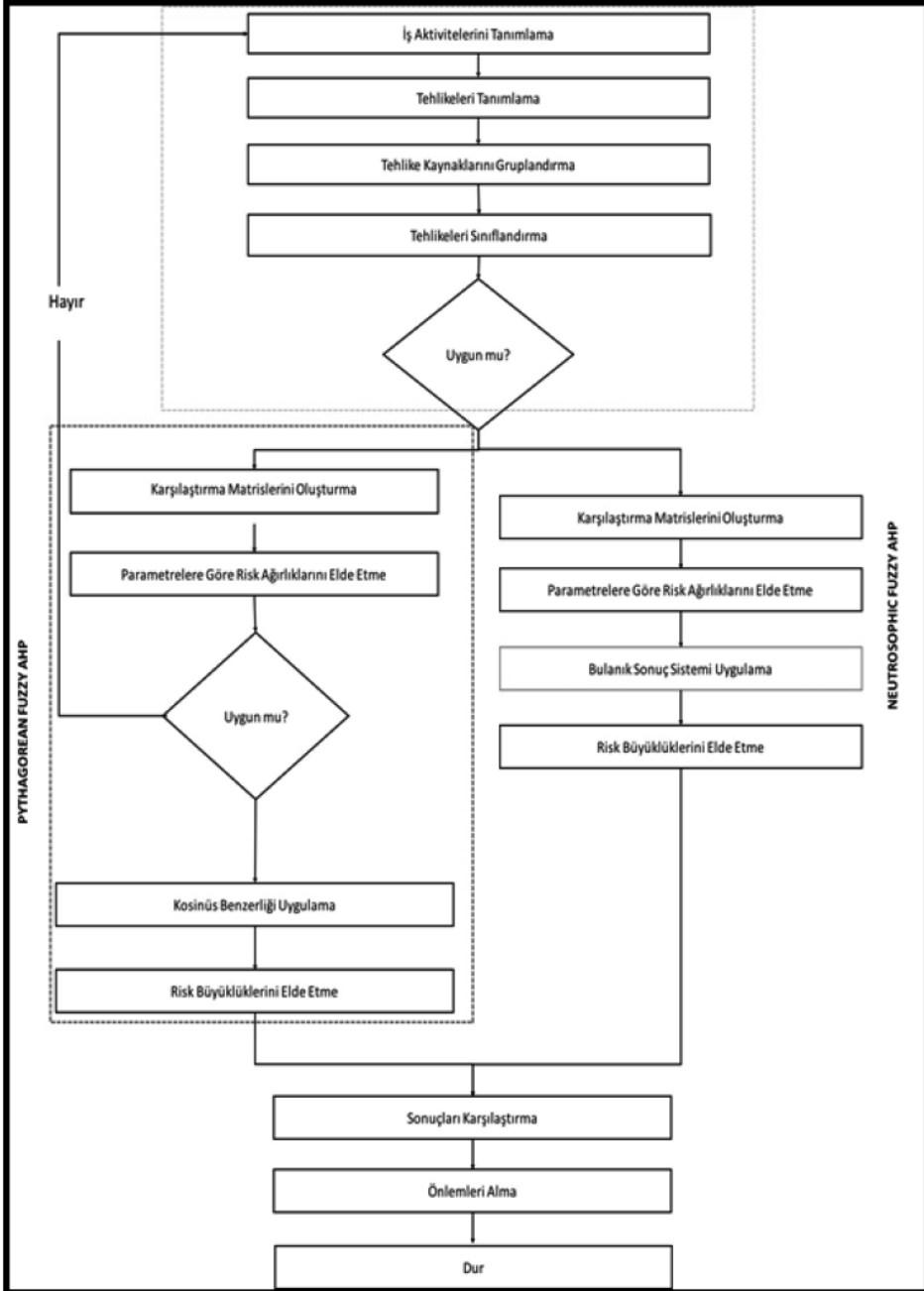
Adım 3. Her bir kriter ve alt kriter arasındaki ikili karşılaştırma yoluyla nütrosifik tercih belirlenir. Daha sonra, her bir kriter veya alt ölçüt altındaki alternatifler, uzmanların Çizelge 4.2'ye dayanan değerlendirmelerine göre karşılaştırılır.

Adım 4. Her bir ikili karşılaştırmanın tutarlılığı kontrol edilir ve nütrosifik tercih ilişkisi inşa edilir. Elde edilen öncelik ağırlıkları kullanarak her alternatif çift arasında kosinüs benzerlik ölçüsü uygulanır. Her bir tercih ilişkisinin nütrosifik göreceli ağırlığının hesaplanması yapılır.

Adım 5. Genel ağırlıklar derecelendirilir.

<b>Çizelge 4.2 NAHS yöntemi için ağırlıklandırma ölçeği</b>	
Sözel İfade	Karşılık
Eşit önem	
Zayıf bir şekilde daha fazla önem	
Orta önem	
Orta derecede daha fazla önem	
Güçlü önem	
Çok daha fazla önem	
Çok güçlü önem	
Çok daha fazla önem	
Aşırı önem	
Son derece yüksek önem	
Kesinlikle daha fazla önem	

Yapılan çalışmada sistemin kurgusu; tehlikeleri tanımlama, tehlike kaynaklarını gruplama ve uygun sınıflandırmayı yapma şeklinde inşa edilmiştir. Asfalt üretim fabrikasında çalışanları etkileyecek, asfalt üretim süreci boyunca olumsuz koşullar meydana getirecek tehlikeler karar vericiler tarafından tanımlanmış ve gruplanmıştır. Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerden sonra hem PBAHS hem de NAHS ile işlem adımları takip edilerek çözüm yapılmıştır. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve risk değerlendirmesi sonucu elde edilen bulgulara yönelik alınması gereken tedbirler tartışılmıştır. Önerilen risk değerlendirme modeli Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Önerilen risk değerlendirme modeli



Çizelge 4.3 Önerilen model için PBAHS sonuçları					
Ağırlık	Olasılık	Şiddet	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	R=O*Ş
B1	0,0288895	0,0319889	3	3	9
B2	0,0359620	0,0382263	4	4	16
B3	0,0292252	0,0342594	3	3	9
B4	0,0293072	0,0311869	3	3	9
B5	0,0306547	0,0340662	3	3	9
B6	0,0312662	0,0313769	3	3	9
B7	0,0319874	0,0307201	3	3	9
B8	0,0308890	0,0334917	3	3	9
A1	0,0305454	0,0355994	3	4	12
A2	0,0297896	0,0309706	3	3	9
A3	0,0257092	0,0315330	2	3	6
A4	0,0405810	0,0355366	4	4	16
A5	0,0295181	0,0301873	3	3	9
E1	0,0311648	0,0304890	3	3	9
E2	0,0435201	0,0311307	4	3	12
E3	0,0300081	0,0299285	3	3	9
E4	0,0284628	0,0305836	3	3	9
E5	0,0477568	0,0330582	5	3	15
G1	0,0313591	0,0296629	3	3	9
G2	0,0295978	0,0299113	3	3	9
G3	0,0376584	0,0247396	4	2	8
G4	0,0303860	0,0291168	3	3	9
G5	0,0305461	0,0324798	3	3	9
G6	0,0239110	0,0310265	2	3	6
G7	0,0273094	0,0284204	3	3	9
G8	0,0247626	0,0324997	2	3	6
EL1	0,0316309	0,0321433	3	3	9
EL2	0,0332864	0,0271973	3	3	9
EL3	0,0280311	0,0327200	3	3	9
EL4	0,0300465	0,0280349	3	3	9
EL5	0,0253144	0,0307817	2	3	6
EL6	0,0309231	0,0269323	3	3	9

Elde edilen sonuçlara göre manometre büyüklüğü (B2) ve kimyasal koşullar (A4) en kritik faktörler olarak tespit edilmiştir. Bu faktörleri sırasıyla aşırı tehlikeli madde (E5), çevre şartları (A1) ve toz yapıcı madde taşıma (E2) izlemektedir.

Çizelge 4.4 Önerilen model için NAHS sonuçları					
Ağırlık	Olasılık	Şiddet	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	R=O*Ş
B1	0,03	0,03	3	3	9
B2	0,03	0,04	3	4	12
B3	0,03	0,03	3	3	9
B4	0,04	0,03	4	3	12
B5	0,02	0,03	2	3	6
B6	0,03	0,03	3	3	9
B7	0,03	0,03	3	3	9
B8	0,03	0,03	2	3	6
A1	0,06	0,02	5	2	10
A2	0,06	0,03	5	2	10
A3	0,05	0,03	5	2	10
A4	0,06	0,02	5	2	10
A5	0,05	0,03	5	3	15
E1	0,04	0,03	4	3	12
E2	0,05	0,03	5	3	15
E3	0,04	0,03	4	3	12
E4	0,04	0,03	4	3	12
E5	0,03	0,03	3	3	9
G1	0,03	0,03	3	3	9
G2	0,04	0,03	4	3	12
G3	0,03	0,03	3	3	9
G4	0,03	0,03	3	3	9
G5	0,02	0,03	2	3	6
G6	0,02	0,03	2	3	6
G7	0,02	0,03	2	3	6
G8	0,02	0,03	2	3	6
EL1	0,01	0,04	1	4	4
EL2	0,01	0,04	1	4	4
EL3	0,01	0,04	1	4	4
EL4	0,01	0,04	1	4	4
EL5	0,01	0,03	1	3	3
EL6	0,01	0,03	1	3	3

Önerilen model için NAHS sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sırasıyla toz yapıcı madde taşıma (E2), kalibrasyon (A5) en kritik faktörler ve yine sırasıyla manometre büyüklüğü (B2), emniyet valfi (B4), toz (E1), atık gaz (E3), organik & inorganik gaz (E4) ve gürültü faaliyet konusu (G2), kritik faktörler olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki asfalt üretim sürecinde fabrikada bulunan birbirinden farklı tehlike kaynakları çalışanlar için geniş bir yelpazede risk oluşturmakta, her bir tehlike kaynağı için tedbirlerin hassasiyetle uygulanması gerekmektedir. Toz yapıcı madde taşımada kullanılan araçların kapalı tutulması, araç-gereçlerin kalibrasyonlarının düzenli takibi, manometre, emniyet valfi gibi kritik noktalardaki araç gereçlerin yönetmeliklere uygun olarak kullanılması ve periyodik kontrollerinin yapılması, çalışma alanında oluşan atık gazın ve tozun tahliyesinde ekstra tedbirler alınması, gürültü ölçümlerinin düzenli olarak yapılması, gürültüye maruziyette kişisel koruyucu donanımların kullanılmasına daha fazla özen gösterilmesi gibi tedbirler bu tehlike gruplarına karşı alınabilecek önlemlerdir.

### **Duyarlılık Analizi**

Duyarlılık analizi, bir problemde katsayı değerlerinde yapılan değişikliklerin problemin çözümü üzerinde yaptığı etkidir. Kriter ağırlıkları belirlenirken kişisel yargılar karar modeline etki etmektedir. Farklı ortamlarda veya farklı uzmanlar tarafından farklı yargılar verilebileceğinden nihai sonucun kişisel yargılardan ne kadar etkilendiğini anlamak amacıyla çalışmada duyarlılık analizi yapılmıştır.

**Çizelge 4.5 PBAHS için duyarlılık analizi senaryoları**

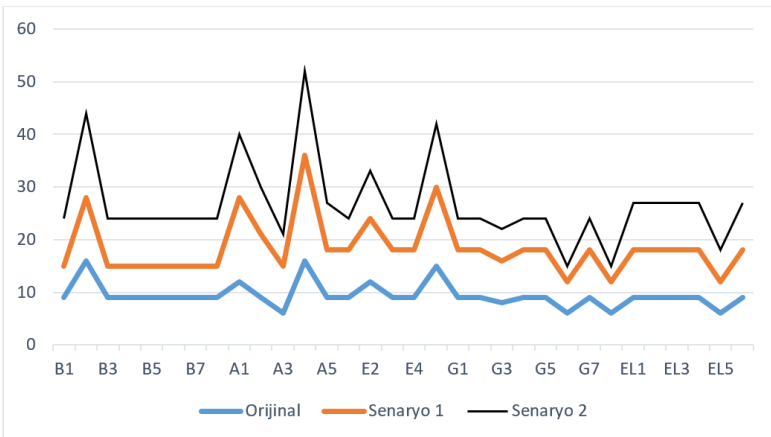
	<b>Orijinal</b>	<b>Senaryo 1</b>	<b>Senaryo 2</b>
B1	9	6	9
B2	16	12	16
B3	9	6	9
B4	9	6	9
B5	9	6	9
B6	9	6	9
B7	9	6	9
B8	9	6	9
A1	12	16	12
A2	9	12	9
A3	6	9	6
A4	16	20	16
A5	9	9	9

Çizelge 4.5 PBAHS için duyarlılık analizi senaryoları (devamı)			
E1	9	9	6
E2	12	12	9
E3	9	9	6
E4	9	9	6
E5	15	15	12
G1	9	9	6
G2	9	9	6
G3	8	8	6
G4	9	9	6
G5	9	9	6
G6	6	6	3
G7	9	9	6
G8	6	6	3
EL1	9	9	9
EL2	9	9	9
EL3	9	9	9
EL4	9	9	9
EL5	6	6	6
EL6	9	9	9

Çizelge 4.6 NAHS için duyarlılık analizi senaryoları			
	Orijinal	Senaryo 1	Senaryo 2
B1	9	6	9
B2	12	8	12
B3	9	6	9
B4	12	9	12
B5	6	3	6
B6	9	6	9
B7	9	6	9
B8	6	3	6
A1	10	10	10
A2	10	10	10
A3	10	10	10
A4	10	10	10
A5	15	15	15

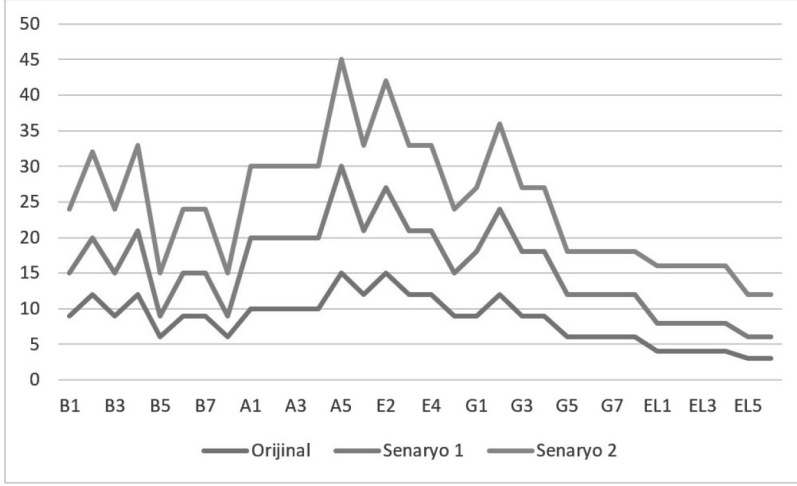
E1	12	9	12
E2	15	12	15
E3	12	9	12
E4	12	9	12
E5	9	6	9
G1	9	9	9
G2	12	12	12
G3	9	9	9
G4	9	9	9
G5	6	6	6
G6	6	6	6
G7	6	6	6
G8	6	6	6
EL1	4	4	8
EL2	4	4	8
EL3	4	4	8
EL4	4	4	8
EL5	3	3	6
EL6	3	3	6

Bu senaryolar doğrultusunda diğer tüm faktörler sabit bırakılarak karar modeli yeniden çalıştırılmış ve her bir senaryo için nihai sonucun nasıl değiştiği PBAHS için Şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, kriter ağırlıklarındaki değişim nihai sıralamayı anlamlı bir oranda etkilememiştir.



Şekil 4.2 PBAHS için duyarlılık analizi

Bu senaryolar doğrultusunda diğer tüm faktörler sabit bırakılarak karar modeli yeniden çalıştırılmış ve her bir senaryo için nihai sonucun nasıl değiştiği NAHS için Şekil 4.3' te gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, kriter ağırlıklarındaki değişim nihai sıralamayı anlamlı bir oranda etkilememiştir.



Şekil 4.3 NAHS için duyarlılık analizi

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Risk değerlendirmesi, işyerinde var olabilecek veya dışarıdan doğabilecek tehlikelerin ve bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan faktörlerin analizi, derecelendirilmesi ve kontrol önlemlerinin belirlenmesidir. Risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, alınacak tedbirlere karar verme, raporlama, gerçekleştirilen faaliyetlerin güncellenmesi ve ihtiyaç halinde yenileme aşamaları sırasıyla izlenerek uygulanmasıdır. İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında risk değerlendirmesi hem çalışan sağlığının korunması hem de işin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi, sınıflandırılması zor olan birçok farklı parametre içeren çok karmaşık bir süreçtir. Risk değerlendirmelerinde bulanık mantığın kullanılmasının en önemli nedeni bu karmaşık durum için en uygun çözümü üretme amacıdır.

Bu çalışmada bulanık mantığın kullanılması, söz konusu kriterlerin karar vericiler açısından değerlendirme adına çok çeşitli olması ve birbiri ile ilgili ya da birbirinden bağımsız çok fazla risk faktörü bulunması nedeniyle önemlidir. Verilerin elde edildiği fabrika asfalt üretimi esnasında çalışanı direkt ya dolaylı olarak

etkileyen birçok tehlikeye de ev sahipliği yapmaktadır. Bu tehlikeler kimi zaman iç içe geçmiş iş akışlarında kimi zaman da birbirinden bağımsız yapılan işlerde değişik sıklıkta ve olasılıkta çalışanın karşına çıkmaktadır. Bulanık mantık sistemlerinin en yeni iki modeli olan PBAHS ve NAHS'nin bu çalışmada kullanılması, karar verme sürecini kolaylaştırmıştır.

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada hibrit bulanık risk değerlendirme yaklaşımı sunulmuştur. Bu yaklaşım, kosinüs benzerliği entegre edilmiş PBAHS yönteminin NAHS ile karşılaştırılmasını içermektedir. Çalışmada gözlem gerektiren, anında harekete geçilmesi gereken veya sürecin durdurulmasını gerektiren riskler belirlenmiştir. PBAHS ye göre sırasıyla manometre büyüklüğü (B2), kimyasal koşullar (A4) ve aşırı tehlikeli madde (E5), toz-ajan transportu (E2) ve çevre koşulları (A1) en kritik faktörler iken, fiziksel koşullar (A3), hava koşulları (G6), arka plan gürültü kaynakları (G8) en az kritik faktörler olarak tespit edilmiştir.

NAHS çözümlerine göre kalibrasyon (A5), toz-ajan transportu (E2), manometre büyüklüğü (B2), emniyet valfi (B4), toz (E1) ve inorganik & organik gaz (E4) en kritik faktörler olarak tespit edilmiştir. Manometre büyüklüğü (B2) ve toz ajan transportu (E2) kriterleri, çalışmada kullanılan her iki yöntem için en kritik faktörlerdir. Kimyasal koşullar (A4), çevre koşulları (A1) ve aşırı tehlikeli madde (E5) kriterleri, PBAHS ye göre önemli kritik faktörlerdir; kalibrasyon (A5), toz (E1) ve inorganik ve organik gaz (E4) ise NAHS yöntemine göre kritik öneme sahiptir. Olasılık ve şiddet açısından değerlendirilen kriterlerden her iki yöntemde de sonuçlarda en kritik faktörlerde benzerlik saptanmış; kritiklik düzeyi azaldıkça iki yöntem sonuçları arasında bazı farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışmada önerilen her iki yöntem için en kritik faktörlerde benzer sonuçlar elde edilmesi çalışmanın tutarlılığına dair bilgi vermiş; bir nevi çift taraflı kontrol yapılarak en hassas sonuçların elde edilmesi için çalışılmıştır. İşyerinde alınan tedbirlerin etkili olması doğru tespit sonucu belirlenen tedbirlerin hayata geçirilmesi ile ilgilidir ve ancak tedbirler bu şekilde çalışanın sağlığını korumaya, işin devamlılığını sağlamaya yardımcı olabilirler. Huzurlu bir çalışma ortamının oluşması ve güvenlik kültürünün yaygın hale gelmesi için devlet, çalışanlar, iş verenler ve sendikalarından oluşan yapı yurt içi ve yurt dışı çalışma örgütleri ile desteklenerek İSG'de proaktif bir yaklaşım modelini benimsemelidir. Geçmişten günümüze iş güvenliğini sağlamak amacıyla birçok yasal, tıbbi ve teknik çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar gerek güvenlik kültürü oluşturmak gerekse çalışma hakkı çerçevesinde sosyal politika tedbirleri gereği iş sağlığı ve güvenliği koşullarını iyileştirmek için önemli adımlardır.

## **KAYNAKLAR**

- 1 Pinto, A., Nunes, I.L. ve Ribeiro, R.A., (2010). *Qualitative Model for Risk Assessment in Construction Industry: A Fuzzy Logic Approach*, 314, Springer, Heidelberg, Berlin.
- 2 Ozek, M.B. ve Akulut, Z.H., (2008). "A Software Tool: Type-2 Fuzzy Logic Toolbox", *Computer Applications in Engineering Education* 16(2):137-146.
- 3 Görener, A., Ayvaz, B., Kuşakçı, A.O. ve Altınok, E., (2017). "A Hybrid Type-2 Fuzzy Based Supplier Performance Evaluation Methodology: The Turkish Airlines Technic Case", *Applied Soft Computing* 56:436-445.
- 4 Tooranloo, H.S, Azadi, M.H. ve Sayyahpoor, A., (2017). "Analyzing Factors Affecting Implementation Success of Sustainable Human Resource Management (SHRM) Using a Hybrid Approach of FAHP and Type-2 Fuzzy DEMATEL", *Journal of Cleaner Production* 162:1252-1265.
- 5 Bobillo, F. ve Straccia, U., (2017). "Generalizing Type-2 Fuzzy Ontologies and Type-2 Fuzzy Description Logics", *International Journal of Approximate Reasoning*, 87: 40-66.
- 6 Siminski, K., (2017). "Interval Type-2 Neuro-Fuzzy System With Implication-Based Inference Mechanism", *Expert Systems with Applications*, 79:140-152.
- 7 Bajestani, N.S, Kamyad, A.V, Esfahani, E.N ve Zare, A., (2018). "Prediction of Retinopathy in Diabetic Patients Using Type-2 Fuzzy Regression Model", *European Journal of Operational Research*, 264(3):859-869.
- 8 Vella, V. ve Wing, L.N., (2016). "Improving Risk-Adjusted Performance in High Frequency Trading Using Interval Type-2 Fuzzy Logic", *Expert Systems with Applications* 55:70-86.
- 9 Khooban, M.H, Vafamand, N., Liaghat, A. ve Dragicevic, T., (2016). "An Optimal General Type-2 Fuzzy Controller for Urban Traffic Network", *ISA Transactions* 66:335-343.
- 10 Ayhan, M.B., (2017). "An Integrated Hesitant Fuzzy AHP and TOPSIS Approach for Selecting Summer Sport School", *Sakarya University Journal of Science* 22:269-284.
- 11 İlbarar, E., Kardeş, A., Çebi, S. ve Kahraman, C., (2018). "A Novel Approach to Risk Assessment for Occupational Health and Safety Using Pythagorean Fuzzy AHP & Fuzzy Inference System", *Safety Science* 103:124-136.
- 12 Bolturk, E. ve Kahraman, C., (2018). "A Novel Interval-Valued Neutrosophic AHP with Cosine Similarity Measure", *Soft Computing*, 15:4941-4958.
- 13 Kuşan, H., Aytekin, O. ve Özdemir, İ., (2016). "İnşaat Projelerinde Risklerin Bulanık Mantık Modeli İle Değerlendirilmesi", *Engineering Sciences*, 11 (1):1-14.
- 14 Zile, M., (2015). "İş Güvenliği Risk Değerlendirme Analiz Modellemesi ve Yazılımının Bulanık Mantıkla Oluşturulması", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 30 (2):267-273.
- 15 Gürçanlı, E. ve Müngen, U., (2007). "İnşaat Şantiyelerine Özgü Bir İş Güvenliği Risk Analizi Yöntemi", 4.İnşaat Yönetim Kongresi, 30-31 Ekim 2007, İstanbul.
- 16 Durmaz, R.C., (2010). *İnşaat Sektöründe Bulanık Risk Değerlendirmesi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.*
- 17 Efe, B., Yerlikaya, M.A. ve Efe, Ö.F., (2016). "İş Güvenliğinde Bulanık PROMETHEE Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama", *GÜFBET/GUSTIJ*, 6(2):126-137.
- 18 Şişman, B., (2017). "Hata Türü Ve Etkileri Analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleri İle Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi", *M. A. Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(18):234-250.
- 19 Wang, L.E., Liu, H.C. ve Quan, M.Y., (2016). "Evaluating The Risk of Failure Modes With a Hybrid MCDM Model Under Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Environments", *Computers & Industrial Engineering* 102:175-185.
- 20 Atalay, K.D., Can, G.F. ve Eraslan, E., (2018). "Evaluation of Effect of Different Membership Functions on Risk Assessment". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 24(3):373-385.
- 21 Mure, S., Demichela, M. Ve Piccinini, N., (2006). "Assessment of The Risk of Occupational



- Accidents Using a Fuzzy Approach”, *Cognition Technology & Work*, 8:103-112.
- 22 Azadeh, A., Saberli, M. Ve Rouzbahman, M., (2015). “ A Neuro-Fuzzy Algorithm For Assessment of Health, Safety, Environment and Ergonomics In a Large Petrochemical Plant”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 34:100-114.
- 23 The World Health Organization, Sağlık Tanımı, [www.who.int](http://www.who.int), 20 Eylül 2018.
- 24 The World Health Organization, Quality of Life Assessment (WHOQOL) User Manual, Division of Mental Health and Prevention of Substance Abuse, [www.who.int](http://www.who.int), 20 Eylül 2018.
- 25 Kurt, S.,(2015). “Toplumsal Güvenliğin Yükselişi”, *The Journal of Academic Social Science Studies*, 37:459-476.
- 26 Özaslan, B.Ö., (2011). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerde Bir Araştırma, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- 27 T.C. Resmî Gazete, 1593 Sayılı Umumi Hıfzısıhha Kanunu, (1489), 24.4.1930, 143.
- 28 T.C. Resmî Gazete, 1580 Sayılı Belediye Kanunu, (1471), 14.04.1930, 8822.
- 29 Koç, T.S., (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamalarının Örgütsel Güven ve İş Tatminine Etkisi: Alanyada Konaklama İşletmeleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı, Antalya.
- 30 Kılıç, M., (2015). Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Tabanlı Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- 31 Keskenler M.F. ve Keskenler E.F., (2017). “Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi “, *Takvim-i Vekayi*, 5(1):1-10.
- 32 Kahraman, C., ve Kaya, İ., (2009). “Fuzzy Process Accuracy Index To Evaluate Risk Assessment Of Drought Effects In Turkey”, *Human Ecological Risk Assessment International Journal* 15(4):789-810.
- 33 Kaya, İ. ve Kahraman, C., (2009). “ Air Pollution Control Using Fuzzy Process Capability Indices in the Six-Sigma Approach”. *Human Ecological Risk Assessment International Journal* 15(4):689-713.
- 34 Kaya, İ. ve Kahraman, C., (2011). “ A New Tool for Risk Assessment of Air Pollution: Fuzzy Process Capability Indices”. *Human Ecological Risk Assessment International Journal* 17(3):613-630.
- 35 Kaya, İ., (2011). “ Multicriteria Location Selection of Wastewater Treatment Plant by Fuzzy Analytic Hierarchy Process”. *Multiple-Valued Logic Soft Computer* 17(4):305-320.
- 36 Kelekçi, E., (2016). Tip 2 Bulanık Mantık Editörünün Geliştirilmesi ve Esnek Eklemlili Robot Kolunun Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
- 37 Torra, V., (2010). “Hesitant Fuzzy Sets”, *International Journal of Intelligent Systems*, 25:529-539.
- 38 Rodriguez, R.M., Martinez, L. ve Herrera, F., (2013). “A Group Decision Making Model Dealing with Comparative Linguistic Expressions Based on Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets”, *Information Sciences*, 241:28-42.
- 39 Atanassov, K., (1986). “Intuitionistic Fuzzy Sets”, *Fuzzy Sets and Systems*, 20:87-96.
- 40 Kharal, A., (2014). “ A Neutrosophic Multicriteria Decision Making Method”, *New Mathematics and Natural Computation*, 10 (2):143-163.
- 41 Jun, Y., (2014). “A Multicriteria Decision Making Method Using Aggregation Operators for Simplified Neutrosophic Sets”, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 26:2459-2466.
- 42 Asfalt Mütahitleri Derneği, Türkiye Asfalt Endüstrisi Raporu, [www.asnud.org.tr](http://www.asnud.org.tr), 01 Ekim 2018.
- 43 Asfalt Mütahitleri Derneği, Asfalt Yapım Aşamaları, [www.asnud.org.tr](http://www.asnud.org.tr), 01 Ekim 2018.
- 44 International Labour Organization, Gürültü Tanımı, [www.ilo.org](http://www.ilo.org), 09 Eylül 2018.