

## İNŞAAT FİRMALARININ İSG BAĞLAMINDA BULANIK GRUP KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Saime Gülden ÖZCAN<sup>1</sup>, Abdullah YILDIZBAŞI<sup>2\*</sup>, Ergün ERASLAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Ankara

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-1527-3303>

<sup>2</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8104-3392>

<sup>3</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS), Bulanık TOPSIS, Çok Kriterli Karar Verme, İş kazası, İnşaat Sektörü</i>	<i>Günümüzde iş kazası görülme oranı yüksek olan sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Emek yoğun bir sektör olan inşaat sektörü ülke kalkınmasına ve ekonomisine bulunduğu önemli katkılar göz önünde bulundurulduğunda meydana gelen iş kazalarının ve toplumu uğrattığı zararların bertaraf edilmesi elzem bir konu haline gelmiştir. Söz konusu kaza nedenlerinin araştırmasıyla ilgili birçok çalışma yer almakla beraber bu çalışmalarda farklı yöntemlerinin uygulandığını görmekteyiz. Bu çalışmanın ilk aşamasında inşaat sektöründe meydana iş kazası nedenlerin çok kriterli karar verme yöntemiyle değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. İş kazası nedenleri 3 ana kriter ve 14 alt kriterde alanında uzman kişiler tarafından değerlendirmeye alınmış ve belirlenen her bir kriter ağırlıklandırılmıştır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHS yöntemi kullanılmıştır. Uzman görüşleri dikkate alındığında “makine ve araç tertibatlarının kontrolünün yeterli olmaması” ağırlığı en yüksek kriter olarak hesaplanmıştır. İkinci aşamada belirlenen alt kriterler doğrultusunda sektördeki yeri göz önünde bulundurularak seçilen üç inşaat firması Bulanık TOPSIS ile değerlendirilmeye alınmıştır. Değerlendirme neticesinde üç inşaat firması sıralandığında sektörde önemli bir yere sahip olan inşaat firması ilk sırayı yer alarak iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekli hassasiyete sahip olduğu görülmüştür.</i>

### EVALUATION OF CONSTRUCTION COMPANIES WITH THE FUZZY GROUP DECISION MAKING APPROACH IN OSH CONTEXT

Keywords	Abstract
<i>FAHP, FTOPSIS, Multi-Criteria Decision Making, Work Accident, Construction Sector</i>	<i>Today, construction industry is one of the main industries that the rate of occupational accidents is high. Taking the significant contributions of the construction industry as a labor-intensive industry to the development and economy of the country into consideration, averting occupational accidents taking place and the damages they bring to the society becomes a crucial issue. There are many studies that focus on the causes of such occupational accidents, and it can be seen that various methods have been employed in such studies. In the first stage of this study, it is aimed that the causes of occupational accidents are analyzed through the method of multi-criteria decision-making method. The causes of occupational accidents are taken under review in terms of 3 main criteria and 14 sub-criteria, and each criterion identified is weighted. Fuzzy AHP method is employed to determine the weights of the criteria. When expert opinions are taken into account, it is estimated that the criterion with the highest weight value is “insufficient inspection of machine and vehicle gears”. In the second stage, in line with the sub-criteria identified, three construction companies, which have been chosen by taking their status in the relevant industry into consideration, are evaluated with Fuzzy TOPSIS. As a result of the evaluation, when these three construction companies are ranked, it is revealed that the construction company taking a significant place in the industry ranks first, and acts responsibly towards occupational health and safety.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 19.08.2019	Submission Date : 19.08.2019
Kabul Tarihi : 13.11.2019	Accepted Date : 13.11.2019

\*Sorumlu yazar; e-posta : [ayildizbasi@ybu.edu.tr](mailto:ayildizbasi@ybu.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüzde teknolojidaki gelişmeler ile beraber üretimin ve rekabetin de artması çalışma hayatında çalışanların sağlıklarını ve güvenliklerini tehdit eden unsurların artmasına yol açmıştır. Özellikle de 20.yüzyıldaki sanayileşme, üretim yönetiminde meydana gelen değişiklikler ve yoğun makineleşme iş kazalarında ve bu kazalara bağlı olarak ortaya çıkan ölümlerde ve meslek hastalıklarında artış yaşanmasına neden olmuştur (Akalp ve Özok, 2017). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de iş kazaları ve sonucunda yaşanan yaralanma ve ölümler ciddi sorun haline gelmiştir. Bu bağlamda iş sağlığı ve güvenliği kavramı gün geçtikçe önem kazanmaya başlamıştır (Mızrak ve Tolon, 2017).

İş sağlığı ve güvenliği "Çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal iyilik hallerini en üst düzeye getirmek ve düzeyi sürdürmek, sağlıklarına gelebilecek olan zararları önlemek, işçiyi fizyolojik ve psikolojik yeteneklerine uygun işlere yerleştirmek, güvenli ve rahat bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır." olarak ifade edilmektedir (Kesgin ve Topuzoğlu, 2006). Literatürde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramı ile ilgili birçok tanım yer almaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin temel amacı kişilerin çalıştıkları ortamların güvenli ve sağlıklı olmasını sağlamak böylece yaptıkları iş nedeniyle çalışanların sağlıklarının bozulmasının önüne geçerek çalışanların sağlığını korumaktır (Akalp ve Özok, 2017). İSG'nin diğer bir amacını ise işin yürütümü esnasında oluşan risklerin ortadan kaldırıldığı, çalışanların sağlığına zarar verecek tehlikelerin bertaraf edildiği, çalışma şartlarının iyileştirildiği sistematik çalışmaların bütünlüğünün sağlanması olarak ifade etmemiz mümkündür (Mızrak ve Tolon, 2017).

Son yıllarda ülkemizdeki uzmanlar tarafından iş sağlığı ve güvenliği konusunda gerek ulusal gerekse uluslararası platformlarda çalışmalar ve projeler yürütülmektedir. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen her yıl birçok çalışan meydana gelen iş kazaları sonucu yaralanmakta, hastalanmakta veya hayatını kaybetmektedir (Ercan, 2010).

İş kazası meydana gelme oranına göre sektörleri kıyasladığımızda ülkenin büyümesinde oldukça önemli bir rol oynayan, ürettiği mal ve hizmete talep yaratan inşaat sektörü maalesef işleyiş sürecinde yaşanan iş kazalarıyla adından sıkça söz ettirmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından her yıl yayınlanan istatistik yıllıkları incelendiğinde inşaat sektöründe 587 kişi iş kazası

sonucunda yaşamını yitirmiştir (Sosyal Güvenlik Kurumu, 2017). Bu durum, kazaların asıl nedenlerinin araştırılması, iş kazalarının önlenmesine yönelik alınacak tedbirlerin belirlenmesi konusunda çalışmalara odaklanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

İnşaat sektöründe meydana gelen kaza nedenlerinin araştırılması ve tespit edilmesi sürecinde birçok kriter göz önünde bulundurulması gerektiğinden söz konusu süreci çok kriterli karar verme süreci olarak ifade edebiliriz (Doğanalp, 2016). Karar sürecini kontrol altında tutulmasına, karar sürecinin modellenmesine ve analizine imkân veren, karar sürecine etki etmesi olası tüm bilgilerin yeterli şekilde değerlendirilmesini sağlayan sistematik yaklaşımlar sunulması için çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotları geliştirilmiştir. Yöntemlerin çoğunda değerlendirilen bilgi, kesin yargılar içermektedir. Ancak gerçek hayatta karar süreci genellikle kesin olmayan öznel bilgilere dayalı bir süreçtir. Bu durumlarda ise klasik karar verme yöntemleri karar sürecinin kontrol etmekte yetersiz olmaktadır. Karar verme sürecinde eksik, belirsiz ya da yargısal bilgiler olduğunda ise bulanık küme teorisinin ÇKKV yöntemlerine eklenmesi ve bulanık ÇKKV yöntemlerinin kullanılması daha sağlıklı sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Bulanık küme teorisi, ÇKKV problemlerinin çözümünde alternatiflerin karşılaştırılmasında belirsizliği ele almak için başvurulan bir yöntem olmuştur (Kul, Şeker ve Yurdakul, 2014).

## 2. Literatür Araştırması

Çalışmanın bu bölümünde inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Ercan (2010) çalışmasında, Türkiye'de inşaat sektöründe işçi sağlığı ve güvenliğinin durumunu, yapı sektörünün kendine özgü çalışma koşullarını inceleyerek sektörde yaşanan kaza nedenlerini ve alınabilecek önlemleri sunmuştur. Müngen (2011), inşaat sektörümüzde en çok karşılaşılan kaza tiplerini açıklamış olup bazı önemli kaza tiplerinin alt ayrımları ile beraber öne çıkan kaza tiplerini sayısal verilerle tanıtmaya çalışmıştır. Yılmaz, Yıldız ve Kanit (2015), şantiyede yaşanan iş kazaları ve ramak kala olaylarında, sektörel yapı, şantiye şartları, firma yönetimi, yasal mevzuat ve denetim eksikliği, işçinin kendi özel durumu ve kader anlayışı faktörlerinin etkilerini çalışanlar açısından bulanık

mantık yöntemi ile belirlemeye çalışmışlardır. Çavuş ve Taçgın (2016), Türkiye’de belirli bir dönem aralığında inşaat sektöründeki yaşanmış olan iş kazaları incelenmiş ve söz konusu kazaları oluş biçimlerine göre sınıflandırmıştır. Elde edilen kaza tiplerinin de kendi içerisindeki sayısal dağılımları detaylandırılarak, kazalarının nedenlerini araştırılarak da iş kazalarının azaltılması yönünde çeşitli değerlendirme ve önerilerde bulunulmuştur. Akboğa Kale (2018), il bazında, inşaat sektöründe meydana gelen iş kazası sebebiyle meydana gelen can kayıpları hesaplanmış ve ölümlü iş kazaları açısından bütün illerin bir arada yorumlamıştır. Yapılan analiz sonrasında ise iş kazalarının tekrarlanmaması ve sistemin istikrarlı bir şekilde iyileştirilmesi için çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemleri çeşitli alanlarda karşılaşılan problemlere çözüm üretmek amacıyla kullanılan yöntemler olarak gerek işletme gerekse mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Karakaşoğlu (2008), Denizli makine imalat sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye firması seçiminde, belirlenen kriterler altında Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak işletmenin Kazakistan’da faaliyet gösteren müşterisine ürünlerin teslimatı için beş nakliye firması arasından en uygun nakliye firmasının belirlenmesinde işletmeye yol göstermiştir. Ünal (2011), Türkiye A Milli Futbol Takımı için oyuncu seçimi problemini Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemleriyle ele alınarak kaleci, defans, orta saha ve forvet oyuncularının seçimi yapılmıştır. Behzadian, Khanmohammadi Otaghsara, Yazdani ve Ignatius (2012), Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini bilişim sektöründe çalışacak personel seçiminde kullanmıştır. Moayeri, Shahvarani, Behzadi ve Hosseinzadeh-Lotfi. (2015), matematik öğretmeni seçim probleminde belirlenen kriterler doğrultusunda Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlar ve çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Söyler ve Yaraş (2016), küresel pazara girmenin riskinin değerlendirilmesinde Bulanık AHS yöntemi kullanmış, ülkelerin bu risk ölçüsüne göre sıralanmasında ise Bulanık TOPSIS metodundan yararlanmışlardır. Işık, Engeloğlu ve Karaoğlu (2017), yükselen piyasa ekonomisi ülkelerinin 2013 yılı ihracat performansı Bulanık AHS ve TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmiş ve 22 ülke performanslarına göre sıralanmıştır.

İş kazası nedenleri, önceki çalışmalarda kaza tipleri ve Sosyal Güvenlik Kurumundan alınan veriler ışığında analiz edilmiş ve analiz sonucunda iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Bu

çalışmada ise sektörde aktif olarak görev alan inşaat mühendislerinin görüşleri neticesinde belirlenen iş kazalarına neden olan faktörlerin önem dereceleri Bulanık AHS yöntemiyle hesaplanmıştır. Bulanık AHS ile hesaplanan ağırlık değerleri Bulanık TOPSIS yönteminde girdi olarak kullanılarak inşaat sektöründe faaliyet gösteren üç firma tespit edilen faktörlere göre karşılaştırılmış ve elde edilen veriler ışığında iş kazalarını azaltmak için her firmaya aynı öneriler sunmak yerine kuruluşların eksik olduğu noktalar tespit edilerek her bir firmaya farklı öneriler sunulmuştur.

### 3. Metodoloji

#### 3.1 Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), sonlu sayıda seçeneği seçme, sıralama, sınıflandırma, önceliklendirme veya eleme amacıyla, çoğunlukla ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çeliştiği görülen, aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi olarak ifade edilmektedir (Çelik, 2015).

#### 3.2 Bulanık Mantık

Bulanık mantık yaklaşımı, 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan “Bulanık Kümeler” adlı makalede ortaya konmuştur. Söz konusu çalışmada bulanık kümelerin tanımı, temel işlemleri, kavramları ve özellikleri belirtilmiştir (Karakaşoğlu, 2008).

Bulanık mantıkta temel fikir, bir önermenin doğruluğunun kesin yanlış ve kesin doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren kümedeki değerler veya sayısal olarak  $[0,1]$  gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyon olarak kabul edilmesi gösterilir (Ünal, 2011). Bulanık temel kümelerin her biri alt sınırı ve bir de üst sınırı olan aralık değerleri ifade eden bulanık sayılar olarak düşünülmesi mümkündür (Baykal ve Beykan, 2004; Karakış, 2019). Bulanık kümeler üçgen, yamuk, çan eğrisi, sigmoid gibi üyelik fonksiyonlarıyla gösterilir ancak uygulamada üçgen ve yamuk sayıların daha çok kullanıldığı görülmektedir.  $(a_1, a_2, a_3)$  şeklinde gösterilen üçgen bulanık sayılarda  $a_1$  en düşük değeri,  $a_2$ , en uygun değeri,  $a_3$  en yüksek değeri ifade etmektedir. Sözel ifadelerin bulanık sayılarla bulanık kümeyle ait olma derecesi bulunarak bulanık mantığın ve belirsizlik ve bulanıklık taşıyan karar

problemlerin çözümünde kullanılması sağlanmaktadır (Karakış, 2019).

Bulanık mantığın genel özellikleri (Karakışoğlu, 2008; Hantekin, 2014 ):

- ✓ Bulanık mantıkta kesin nedenlere dayalı düşünme yerini yaklaşık değerlere dayanan düşünme almaktadır.
- ✓ Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile ifade edilmektedir.
- ✓ Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler yer almaktadır.
- ✓ Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile gerçekleşmektedir.
- ✓ Mantıksal sistemler bulanık olarak ifade edilebilmektedir.
- ✓ Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için oldukça uygun olmaktadır.

### 3.3 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme

Bulanık küme teorisinin kullanıldığı alanlardan biri de karar analizidir. Çok kriterli karar problemleri içerdikleri karmaşık, değerleri sözel olabilen ancak çok iyi tanımlanamayan kriterler sebebiyle bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmesi oldukça uygundur. Son yıllarda bulanık kümelerin, çok kriterli karar verme sürecine dâhil edilmesi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme'nin (ÇKKV) alanı genişletilmiş, böylece bulanık ÇKKV ortaya çıkmıştır (Karakışoğlu, 2008).

#### 3.3.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Thomas H. Saaty (1980) tarafından 1977 yılında geliştirilmiş bir teknik olup söz konusu teknik pek çok alanda çok kriterli karar problemlerinin modellenmesinde başarıyla kullanılmıştır. Genel anlamda AHS, kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesinde yapısal bir yaklaşım sağlar (Tayyar, 2012). Ancak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminde, uzman kişilerin bilgilerini ele alınmasında rağmen insani düşünme tarzını yansıtmamaktadır. Bununla beraber AHS yöntemi, ikili karşılaştırma sürecinde, belirsizlik ve kararsızlık durumlarını ele almada yetersiz olması nedeniyle eleştirilmektedir. Bu sebepten hiyerarşik problemleri çözmek amacıyla Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) geliştirilmiştir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHS'den farklı olarak, BAHS'de kıyaslama oranları bir değer aralığında sunulmaktadır. Bu sayede karar alma sürecindeki

belirsizliğin daha kolay üstesinden gelinmektedir (Karakışoğlu, 2008). Bu çalışmada Buckley (1985) tarafından önerilen ve literatürde çeşitli alanlarda uygulanan yöntemden faydalanılmıştır. Buckley tarafından önerilen bu yaklaşımın en önemli avantajlarından biri ifadelerin bulanık duruma genişletilmesinin kolay olması ve tek bir sonuca erişme imkânı tanınmasıdır (Özdemir, Ece ve Gedik, 2017).

Buckley'in yaklaşımına göre Bulanık AHS adımları şu şekildedir (Ayhan, 2013; Özdemir ve diğ., 2017; Işık ve diğ., 2017):

**1. Adım:** Kriter ve alt kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bulanık analitik hiyerarşi sürecinde, ikili karşılaştırma matrisinin bir elemanı kriterlerin birbirine göre önemini gösteren bulanık sayılardan oluşmaktadır.  $\tilde{A}$  bulanık kümesi oluşturulur.

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^k & \tilde{a}_{12}^k & \dots & \tilde{a}_{1n}^k \\ \tilde{a}_{21}^k & \tilde{a}_{22}^k & \dots & \tilde{a}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^k & \tilde{a}_{n2}^k & \dots & \tilde{a}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

Belirlenen kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde ikili karşılaştırmalar için Tablo 2'deki dilsel değişkenler ölçeği kullanılmaktadır.

Tablo 1

Karşılaştırmalar İçin Bulanık Sayılar ve Sözel Karşılıkları (Yacan, 2016)

Üçgensel Bulanık Sayılar	Sözel Karşılıkları
(1, 1, 1)	Aynı
(2/3, 1, 3/2)	Denk Önem
(3/2, 2, 5/2)	Önemli
(5/2, 3, 7/2)	Çok Önemli
(7/2, 4, 9/2)	Kesin Önemli

**2. Adım:** Değerlendirme birden fazla karar verici tarafından yapıldığı durumda karar vericilerden elde edilen görüşlerin bir araya getirilmesi gerekmektedir. Literatürde bu işlemle ilgili değişik uygulamalar yer almaktadır. Tercih edilen uygulamalardan biri de karar vericilerin yanıtlarının sayısal değerlerinin ortalamasının alınmasıdır.

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K \tilde{d}_{ij}^k}{K} \quad (2)$$

**3. Adım:** Bulunan ortalama değerlere göre ikili karşılaştırma matrisleri güncellenir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \dots & \tilde{d}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \dots & \tilde{d}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**4. Adım:** Bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalaması hesaplanır. Burada  $\tilde{r}_i$  üçgen değerleri ifade etmektedir.

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

**5. Adım:** Her bir kriterin bulanık ağırlıkları ( $\tilde{w}_i$ ) hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (5)$$

$$= lw_i, mw_i, uw_i$$

**6. Adım:**  $\tilde{w}_i$  yani  $lw_i, mw_i, uw_i$  değerleri hala üçgen bulanık sayılardır. Bu sayıları bulanıktan kurtarmak için de Eşitlik 6'dan yararlanılır.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (6)$$

**7. Adım:**  $M_i$  durulaştırılan değerler bulanık olmayan bir sayı olduğu için elde edilen değerler aşağıda belirtilen Eşitlik 7'ye göre normalleştirilerek her bir kritere veya alternatiflere ait ağırlıkları elde edilmiş olur.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (7)$$

### 3.3.2 Bulanık TOPSIS Yöntemi (BTOPSIS)

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi hem nitel hem de nicel karar kriterlerinin kriter değerleriyle ilgilenen esnek bir yapıyı içeren yöntemdir (Ünal, 2011). Bulanık TOPSIS, çok sayıda alternatifi sıralayabilmesi ve en

iyi alternatifi hızlıca belirleyebilme avantajına sahip olması nedeniyle alternatiflerin sıralanması için sıkça başvurulan çok kriterli karar verme yöntemlerinin başında yer almaktadır. Kriter ağırlıklarını belirlemedeki üstünlüğü ile beraber yapısının kolay ve anlaşılır olması sebebiyle kullanılan Bulanık AHS yöntemi sonucunda hesaplanan kriter ağırlıkları, Bulanık TOPSIS metodu içerisinde kullanılarak alternatiflerin sıralanması sürecinde kriter ağırlıklarının modele daha objektif olarak yansıtılmasını sağlamaktadır. (Arıbaş ve Özcan, 2016)

Bulanık TOPSIS yönteminde başlangıçta arasından seçim yapılacak olan alternatiflerin, bu alternatiflerin değerlendirileceği karar kriterlerinin ve seçimi yapacak olan karar vericilerin belirlenmesi gerekmektedir. Karar verici grup alternatifleri ve karar kriterlerini değerlendirir ve bu değerlendirme yapılırken de Bulanık TOPSIS yönteminin temel özelliği olan dilsel ifadeleri kullanır. Söz konusu dilsel ifadeler üçgen ya da yamuk bulanık sayılara dönüştürülerek alternatiflere ait yakınlık katsayıları bulunur ve sonraki aşamada bu yakınlık sayılarından yararlanılarak alternatifler sıralanır (Erdoğan, 2018).

Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan dilsel değerler ve bu dilsel değerleri aşağıda belirtmiştir (Onursal, 2009):

Tablo 2  
Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel Değerler ve Üçgen Bulanık Sayılar Olarak Karşılıkları

Dilsel Değişken	Üçgen bulanık sayı
Çok Yüksek	(9, 10, 10)
Yüksek	(7, 9, 10)
Biraz Yüksek	(5, 7, 9)
Orta	(3, 5, 7)
Biraz Düşük	(1, 3, 5)
Düşük	(0, 1, 3)
Çok Düşük	(0, 0, 1)

Bulanık TOPSIS yöntemi algoritmasına ait adımlar aşağıda verilmiştir (Değermenci ve Ayvaz, 2016):

**1. Adım:**  $\tilde{x}_{ij}^k = i$ . Alternatifin j. kriter değerini göstermek üzere, K tane karar vericiden oluşan bir grupta, alternatiflerin kriter değerleri,

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 \dots \tilde{x}_{ij}^K] \quad (8)$$

eşitliğinde hesaplanır.

**2. Adım:**  $\tilde{W}_{ij}^K = j$ . karar kriterinin önem ağırlığını göstermek üzere, K tane karar vericiden oluşan bir grupta karar kriterlerinin önem ağırlıkları,

$$\tilde{W}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots \tilde{w}_j^K] \quad (9)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Bir bulanık çok amaçlı karar verme probleminin matris olarak aşağıda gösterilmektedir.

$K_1 K_2 K_n$

$$\tilde{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (11)$$

Burada  $\tilde{x}_{ij}$  ( $\forall i, j$ ) ve  $\tilde{w}_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) sözel değişkenler olmak üzere  $A_1, A_2, A_m$  alternatifleri;  $K_1, K_2, K_n$  karar kriterleri;  $\tilde{x}_{ij} K_j$  kriterine göre  $A_i$  alternatifinin bulanık kriter değerini ve  $\tilde{w}_j K_j$  kriterinin bulanık önem ağırlığını ifade eder.

Bu sözel değişkenler  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  ve  $\tilde{w}_j = (a_{j1}, b_{j2}, c_{j3})$  şeklinde üçgen bulanık sayılar ile gösterilebilir.  $\tilde{D}$  matrisine bulanık karar matrisi,  $\tilde{W}$  matrisine ise bulanık ağırlıklar matrisi adı verilmektedir.

**3. Bulanık karar matrisinden elde edilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi,**

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \text{ olarak ifade edilir. Burada } \tilde{r}_{ij},$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (12)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (13)$$

eşitliklerinden hesaplanmaktadır.

**4. Adım:** Her bir kriterinin farklı ağırlıkları bulundurulmuş olarak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi,

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad (14)$$

şeklinde oluşturulur. Burada,

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_{ij} \quad (15)$$

eşitliğinde hesaplanır. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi ile bulanık ağırlıklar matrisinin çarpılmasıyla elde edilen matristir. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisine göre  $\forall_{i,j}$  için  $\tilde{v}_{ij}$ 'nin elemanları normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır ve  $[0,1]$  aralığında yer alırlar.

**5. Adım:** Bulanık pozitif ideal çözüm,

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (16)$$

ve bulanık negatif ideal çözüm,

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (17)$$

olarak tanımlanır. Her bir alternatifin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlerden olan uzaklıkları sırasıyla,

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada  $d(\cdot, \cdot)$  iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermekte ve Vertex metodu yardımıyla hesaplanmaktadır.

İki üçgen bulanık sayı  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$  olmak üzere bu sayılar arasındaki uzaklığın Vertex metodu ile hesaplanması,

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (20)$$

biçimindedir.

**6. Adım :** Yakınlık katsayısı

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

eşitliğinden hesaplanır. Yakınsaklık katsayıları 0 ile 1 arasında bir değer alır ve yakınlık katsayısı ile alternatiflerin sıralaması yapılır. Yakınlık katsayısının büyük olması alternatifin karar vericiler tarafından tercih edilmesinin bir göstergesi olarak tanımlanır.

#### 4. Uygulama

Bu çalışmada, literatür araştırması ve uzman görüşleriyle inşaat sektöründeki iş kazalarına neden olan faktörler belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinin ardından bulanık AHS yöntemi yardımıyla problemin hiyerarşisi, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş, oluşturulan matrisler normalize edilmiş ve ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi ile de bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve bulanık pozitif ve negatif ideal

çözümler belirlenerek alternatifler sıralanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

İnşaat sektöründe iş kazasına neden olan faktörler, inşaat mühendislerinin görüşleri ve literatür araştırmaları neticesinde belirlenen 3 ana kriter ve 14 alt kriter olarak değerlendirmeye alınmıştır. Kriterlerin birbirleri arasındaki önem derecelerini belirlemek için Bulanık AHS yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin önem dereceleri iş müfettişi ve akademisyen den olan uzman grup tarafından belirlenmiştir. Sonraki aşamada ise inşaat sektöründe faaliyet gösteren üç firma her bir alt kriter doğrultusunda, kriterlerin önem derecesini belirleyen 3 karar verici tarafından değerlendirilip Bulanık TOPSIS ile sıralamaları yapılmıştır. Çalışma ile ilgili ana ve alt kriterler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3  
Probleme İlişkin Ana Ve Alt Kriterler

ANA KRİTERLER	
Y	Yönetimsel kaynaklı nedenler
E	Ekipman ve malzemedan kaynaklı nedenler
Ç	Çalışanlardan kaynaklı nedenler
ALT KRİTERLER	
Y1	İşe uygun olmayan iş gücünün kullanılması
Y2	İşletme planının dikkate alınmaması
Y3	Çalışanların gerektiği gibi denetlenmemesi
Y4	İşlerin, konusunda uzman olmayan firmalara verilmesi
Y5	Mevzuatın takip edilmemesi ve uygulanmaması
E1	Kötü yapı malzemesinin kullanılması
E2	İşin niteliğine uygun olmayan malzemenin kullanılması
E3	Makine ve araç tertibatlarının kontrolünün yeterli olmaması
E4	Ekipmanların hiç bulunmaması ya da yetersiz olması
Ç1	Tecrübe eksikliğinin olması
Ç2	Sorumluluk bilincinin olmaması
Ç3	Uygun olmayan davranışlar
Ç4	Farkındalık eksikliği
Ç5	Mesleki eğitim eksikliği

#### 4.1 Kriterlerin Bulanık AHS ile Değerlendirilmesi

Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Bulanık AHS yönteminden yararlanılmıştır. İkili karşılaştırma anketlerden elde edilen veriler girdi teşkil etmesi sebebiyle karşılaştırmalara ilişkin

tutarlılık hesaplanmıştır. Elde edilen CR (tutarlılık oranı) değerleri 0,1'den küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Her bir kriter 3 karar verici tarafından değerlendirmeye alınmış olup kriterler arasında

karşılaştırma yapılırken Tablo 1'de yer alan dilsel ölçekler kullanılmıştır. Üç karar vericinin ikili karşılaştırma değerlendirmelerinin aritmetik ortalaması alınmış ve tek bir ikili karşılaştırma matrisine indirgenmiştir. Bulanık AHP sonucunda

elde edilen ikili karşılaştırma sonuçlarının tamamı için tutarlılık oranı uygun bulunmuş olup,  $0,03 \leq CR \leq 0,1$  aralık değeri elde edilmiştir.

Tablo 4

İkili Karşılaştırma Matrisi-Ana Kriter

	Y	E	Ç
Y	(1, 1, 1)	(0,58, 0,83, 1,22)	(0,74, 0,94, 1,19)
E	(0,82, 1,20, 1,72)	(1, 1, 1)	(1,06, 1,28, 1,52)
Ç	(0,84, 1,06, 1,35)	(0,65, 0,78, 0,94)	(1, 1, 1)

Tablo 5

İkili Karşılaştırma Matrisi-Yönetimsel Kaynaklı Nedenler (Alt Kriter)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	(1,1,1)	(0,78, 1, 1,33)	(0,32, 0,39, 0,49)	(0,58, 0,67, 0,94)	(0,36, 0,44,0,58)
Y2	(0,81, 1, 1,28)	(1,1,1)	(0,50, 0,53, 0,56)	(0,73, 0,94, 1,19)	(0,43, 0,58, 0,82)
Y3	(2,04, 2,56, 3,12)	(1,78, 1,88, 2)	(1,1,1)	(1,50, 2, 2,50)	(1,67, 2, 2,33)
Y4	(1,06, 1,49, 1,72)	(0,84, 1,06, 1,37)	(0,40, 0,50, 0,67)	(1,1,1)	(0,41, 0,56, 0,77)
Y5	(1,72, 2,27, 2,77)	(1,21, 1,72, 2,32)	(0,42, 0,50, 0,59)	(1,29, 1,78, 2,44)	(1,1,1)

Tablo 6

İkili Karşılaştırma Matrisi-Ekipman Ve Malzemedden Kaynaklı Nedenler(Alt Kriter)

	E1	E2	E3	E4
E1	(1,1,1)	(0,69, 0,83, 1,06)	(0,65, 0,78, 0,97)	(0,36, 0,44, 0,58)
E2	(0,94, 1,20, 1,44)	(1,1,1)	(0,28, 0,33, 0,41)	(0,45, 0,61, 0,86)
E3	(1,03, 1,28, 1,53)	(2,43, 3,03, 3,57)	(1,1,1)	(0,86, 1,17, 1,56)
E4	(1,72, 2,72, 2,77)	(1,16, 1,63, 2,22)	(0,64, 0,85, 1,16)	(1,1,1)

Tablo 7

İkili Karşılaştırma Matrisi-Ekipman Ve Malzemedden Kaynaklı Nedenler (Alt Kriter)

	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
Ç1	(1,1,1)	(0,32, 0,39, 0,49)	(0,34, 0,42, 0,54)	(0,26, 0,31, 0,36)	(0,26, 0,31,0,36)
Ç2	(2,04, 2,56, 3,12)	(1, 1, 1)	(1,28, 1,67, 2,17)	(0,58, 0,83, 1,22)	(0,67, 1, 1,50)
Ç3	(1,85, 2,38, 2,94)	(0,46, 0,59, 0,78)	(1,1,1)	(0,58, 0,83, 1,22)	(0,78, 1, 1,33)
Ç4	(2,77, 3,22, 3,84)	(0,81, 1,20, 1,72)	(0,81, 1,20, 1,72)	(1, 1, 1)	(0,69, 0,83, 1,06)
Ç5	(2,77, 3,12, 3,84)	(0,66, 1, 1,49)	(0,75, 1, 1,82)	(0,94, 1,20, 1,45)	(1, 1, 1)

Eşitlik 4'ten yararlanarak geometrik ortalaması alınan matrisin, Eşitlik 5 kullanılarak bulanık ağırlık değerleri hesaplanmıştır.



Tablo 8  
Ana Kriterlerin Bulanık Ağırlıkları

Ana Kriterler	$W_i$		
Y	0,209	0,305	0,447
E	0,265	0,383	0,545
Ç	0,228	0,311	0,428

Tablo 9  
Yönetimsel Kaynaklı Nedenlerin Alt Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	$\tilde{W}_i$		
Y1	0,086	0,120	0,178
Y2	0,103	0,145	0,207
Y3	0,243	0,336	0,457
Y4	0,106	0,158	0,231
Y5	0,161	0,239	0,349

Tablo 10  
Ekipman Ve Malzemedeki Kaynaklı Nedenlerin Alt Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	$W_i$		
E1	0,124	0,172	0,251
E2	0,115	0,165	0,241
E3	0,239	0,345	0,489
E4	0,209	0,315	0,467

Tablo 11  
Çalışanlardan Kaynaklı Nedenlerin Alt Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Alt Kriterler	$\tilde{W}_i$		
Ç1	0,055	0,081	0,118
Ç2	0,149	0,239	0,383
Ç3	0,123	0,192	0,301
Ç4	0,156	0,243	0,382
Ç5	0,157	0,242	0,372

Söz konusu yaklaşımının diğer aşamaları ise durulaştırma ve normalleştirme işlemleridir. Bu işlemler içinde Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılmıştır. Normalleştirme işlemi sonucunda elde edilen

normalize ağırlıkları gösteren değerler diğer bir deyişle kriter ağırlıkları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12  
Ana Ve Alt Kriterlerin Yerel Ve Global Ağırlıkları

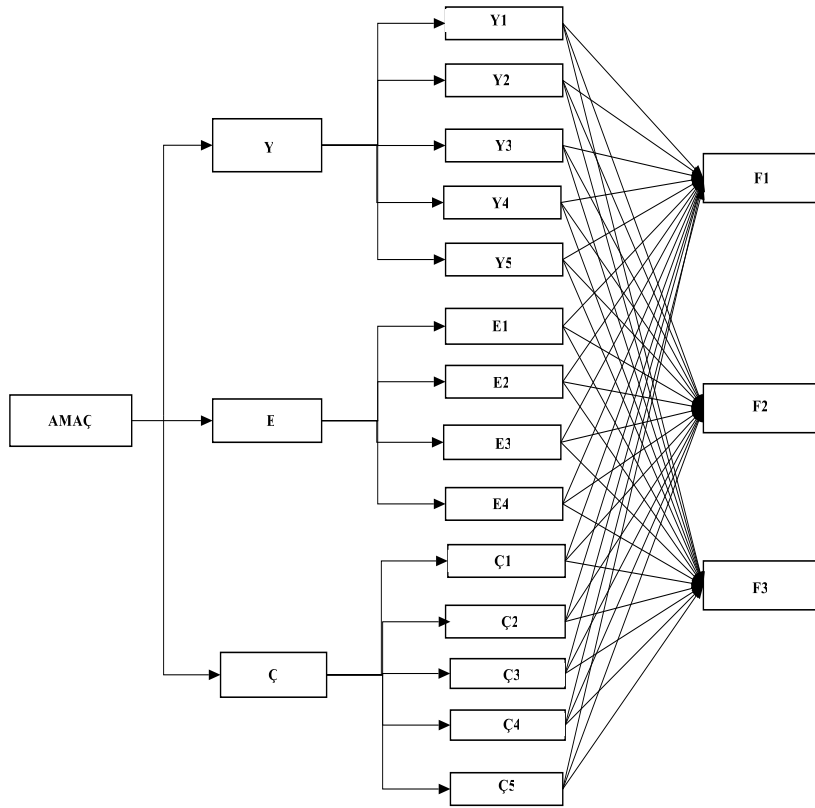
ANA KRİTERLER	AĞIRLIKLARI	ALT KRİTERLER	YEREL AĞIRLIKLARI	GLOBAL AĞIRLIKLARI
Y	0,308	Y1	0,123	0,037
		Y2	0,146	0,045
		Y3	0,331	0,102
		Y4	0,158	0,048
		Y5	0,239	0,073
E	0,382	E1	0,174	0,066
		E2	0,166	0,063
		E3	0,342	0,130
		E4	0,316	0,120
Ç	0,310	Ç1	0,079	0,024
		Ç2	0,241	0,074
		Ç3	0,192	0,060
		Ç4	0,244	0,075
		Ç5	0,241	0,074

#### 4.2 İnşaat Firmalarının TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırılması

Bu çalışmanın diğer önemli aşaması da ilk aşamada Bulanık AHS yöntemiyle belirlenen her bir kriterin ağırlığı kullanılarak uzman görüşleri neticesinde üç inşaat firmasının Bulanık TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırılan üç inşaat firmasının isimleri gizlilik ilkesi sebebiyle açıklanmamıştır. Alternatifler (firmalar) F1, F2 ve F3 olarak belirtilmiştir. Söz konusu firmalar uluslararası arenada faaliyet gösteren firmaların yanı sıra sektörde yer edinmeye çalışan firmalar arasında seçilmiştir. F1, dünyanın en büyük müteahhitlik şirketlerinin arasında yer alırken F2 ve F3 ise küçük ve orta ölçekli olarak nitelendirileceğimiz şirketler arasında yer almaktadır.

Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise iş kazası nedenleri olumsuz ifadeler içerdiği için düşük olan değerler aslında olumlu yargıyı vurgularken, olumsuz ifadeler olumsuz yargı içermektedir.

Karar vericiler elde edilen görüşlerin dilsel ifadeleri Tablo 13’te ve sayısal değerleri ise Tablo 14’te verilmiştir.



Şekil 1. Problemin Hiyerarşik Yapısı

Tablo 13  
Karar Vericilerden Elde Edilen Kriterlerin Dilsel İfadeleri

Karar Vericiler	Alternatifler	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	E1	E2	E3	E4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
KV1	F1	ÇD	D	BD	D	ÇD	BD	O	BD	BD	D	O	D	O	D
	F2	O	D	BY	O	BY	O	BY	BY	O	BD	BY	BD	O	O
	F3	Y	Y	ÇY	BY	Y	Y	BY	O	O	BY	O	O	Y	BY
KV2	F1	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	D	ÇD	D	D	D	BD
	F2	O	D	O	D	O	BD	BD	BY	BD	BD	O	BD	BD	O
	F3	ÇY	BY	Y	O	BY	BY	BY	Y	BY	BY	BY	BD	O	BY
KV3	F1	ÇD	ÇD	BD	BD	ÇD	D	D	D	BD	D	O	O	BD	BD
	F2	D	O	O	D	O	D	BY	D	O	D	D	BD	O	BD
	F3	ÇY	Y	Y	O	Y	O	BY	O	BY	BY	O	O	Y	Y

Tablo 14  
Dilsel İfadelerine Karşılık Gelen Bulanık Sayısal Değerler

Karar Vericiler	Alternatifler	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	E1	E2	E3	E4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
		KV1	F1	(0,0,1)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)	(0,0,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)
	F2	(3,5,7)	(0,1,3)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
	F3	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,10)	(5,7,9)
KV2	F1	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)
	F2	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)
	F3	(9,10,10)	(5,7,9)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,10)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)
KV3	F1	(0,0,1)	(0,0,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)
	F2	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)	(5,7,9)	(0,1,3)	(3,5,7)	(0,1,3)	(0,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
	F3	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(7,9,10)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,10)	(7,9,10)

Alternatiflerin üç karar verici tarafından değerlendirme sonuçları tek bir değere indirgenir

bulanık karar matrisi oluşturulur. Bulanık karar matrisi Tablo 15'te gösterilmektedir.

Tablo 15  
Bulanık Karar Matrisi

Kriterler	Alternatifler		
	F1	F2	F3
Y1	(0;0;1)	(2;3,66;5,66)	(8,33;9,66;10)
Y2	(0;0,33;1,66)	(1;2,33;4,33)	(6,33;8,33;9,66)
Y3	(0,66;2,33;4,33)	(4,33;6,33;8)	(7,66;9,33;10)
Y4	(0,33;1,33;3)	(1;2,33;4,33)	(3,66;5,66;7,66)
Y5	(0;0;1)	(3,66;5,66;7,66)	(6,33;8,33;9,66)
E1	(0,33;1,33;3)	(1,33;3;5)	(5;7;8,66)
E2	(1;2,33;4,33)	(3,66;5,66;7,66)	(5;7;9)
E3	(0,3;1,66;3,66)	(3,33;5;7)	(4,33;6,33;8)
E4	(0,66;2,33;4,33)	(2,33;4,33;6,33)	(4,33;6,33;8)
Ç1	(0;0,66;2,33)	(0,66;2,33;4,33)	(5;7;9)
Ç2	(2;3,66;5,66)	(2,66;4,33;6,33)	(3,66;5,66;7,66)
Ç3	(1;2,33;4,33)	(1,3,5)	(2,33;4,33;6,33)
Ç4	(1,33;3;5)	(2,33;4,33;6,33)	(5,66;7,66;9)
Ç5	(0,66;2,33;4,33)	(2,33;4,33;6,33)	(5,66;7,66;9,33)

Tablo 15'te yer alan bulanık karar matrisi Eşitlik 13 kullanılarak normalize edilir ve normalize bulanık

karar matrisi oluşturulur. Normalize bulanık karar matrisi Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16  
Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Kriterler	F1			F2			F3		
	$lr_1$	$mr_1$	$ur_1$	$lr_2$	$mr_2$	$ur_2$	$lr_3$	$mr_3$	$ur_3$
Y1	0	0	0,086	0,173	0,317	0,491	0,722	0,837	0,866
Y2	0	0,031	0,155	0,093	0,217	0,404	0,590	0,777	0,901
Y3	0,049	0,172	0,320	0,320	0,468	0,591	0,567	0,690	0,739
Y4	0,035	0,143	0,322	0,107	0,250	0,465	0,394	0,609	0,824
Y5	0	0	0,080	0,296	0,457	0,457	0,511	0,673	0,780
E1	0,032	0,127	0,287	0,127	0,287	0,478	0,478	0,670	0,829
E2	0,079	0,185	0,344	0,291	0,450	0,608	0,397	0,556	0,714
E3	0,029	0,148	0,326	0,296	0,444	0,622	0,385	0,563	0,711
E4	0,058	0,205	0,382	0,205	0,382	0,559	0,382	0,559	0,735
Ç1	0	0,064	0,227	0,064	0,227	0,422	0,487	0,682	0,877
Ç2	0,194	0,357	0,552	0,259	0,422	0,617	0,357	0,552	0,747
Ç3	0,097	0,227	0,422	0,097	0,292	0,487	0,227	0,422	0,617
Ç4	0,129	0,292	0,487	0,227	0,422	0,617	0,552	0,747	0,877
Ç5	0,0649	0,227	0,422	0,227	0,422	0,617	0,5524	0,747	0,910

Normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra matriste yer alan değerlerin her biri Bulanık AHS yöntemiyle bulunan ilgili kriter ağırlığı ile

çarpılır. İşlem sonrasında ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulur. Tablo 17'de ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi verilmiştir.

Tablo 17  
Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

Kriterler	F1			F2			F3		
Y1	0	0	0,015	0,015	0,038	0,087	0,062	0,100	0,154
Y2	0	0,004	0,032	0,009	0,031	0,083	0,060	0,112	0,186
Y3	0,012	0,058	0,146	0,077	0,157	0,270	0,137	0,232	0,338
Y4	0,003	0,022	0,074	0,011	0,039	0,107	0,041	0,096	0,190
Y5	0	0	0,028	0,047	0,109	0,216	0,082	0,161	0,272
E1	0,003	0,021	0,072	0,016	0,049	0,120	0,060	0,115	0,208
E2	0,010	0,030	0,056	0,033	0,074	0,146	0,045	0,091	0,172
E3	0,007	0,051	0,160	0,070	0,153	0,304	0,092	0,194	0,347
E4	0,012	0,064	0,178	0,043	0,120	0,261	0,080	0,176	0,343
Ç1	0	0,005	0,026	0,003	0,018	0,050	0,026	0,055	0,103
Ç2	0,010	0,028	0,065	0,014	0,034	0,072	0,019	0,044	0,088
Ç3	0,005	0,018	0,049	0,005	0,023	0,057	0,012	0,034	0,072
Ç4	0,007	0,023	0,057	0,012	0,034	0,072	0,030	0,060	0,103
Ç5	0,003	0,018	0,050	0,012	0,034	0,072	0,012	0,034	0,072

Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin bulunmasından sonra her bir alternatifin Tablo 18'de verilen pozitif ve negatif ideal çözümden

uzaklıkları Eşitlik 20'de gösterilen Vertex Metodu yardımıyla hesaplanmıştır. Aynı tabloda yer alan yakınlık katsayısı ise Eşitlik 21 kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 18  
Alternatifin Pozitif, Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklık Değerleri Ve Yakınlık Katsayıları

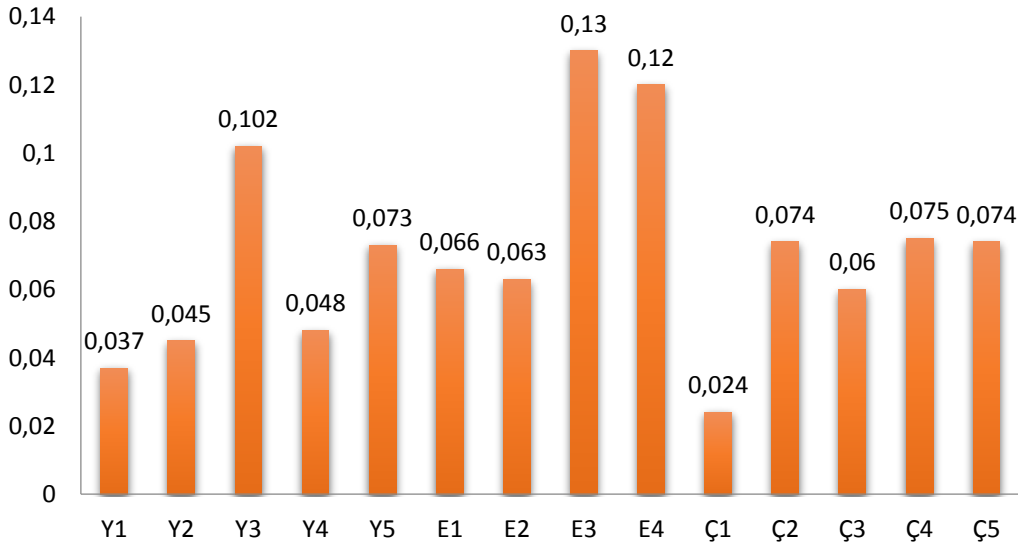
	$d_i^+$	$d_i^-$	$CC_i$
F1	1,144	0	0
F2	0,523	0,608	0,537
F3	0,140	1,144	0,891

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

İnşaat sektöründeki kazalara neden olan faktörleri tespit etmek, ilgili sektörde faaliyet gösteren firmaları kriterler doğrultusunda değerlendirmek karmaşık ve belirsizliklerin yer aldığı bir süreçtir (Doğanalp, 2016). Bulanık yaklaşım sayesinde verilerin değerlendirilmesinde yer alan belirsizlik etkili bir şekilde temsil edilebilmekte ve bu durum daha etkin bir karara ulaşmayı sağlamaktadır (Karakaşoğlu, 2008).

Akademisyen ve iş müfettişlerinden oluşan karar vericilere uygulanan anketlerle iş kazalarının meydana gelmesin neden olan faktörlerin Bulanık

AHS yöntemiyle ağırlıkları hesaplanmıştır. Ana kriterler içerisinde iş kazasının meydana gelmesinde en etken faktörün ekipman ve malzemeden kaynaklı nedenler görülmektedir. Diğer iki kriterinde iş kazalarının meydana gelmesindeki ağırlığı hemen hemen aynıdır. Bununla beraber "Makine ve araç tertibatlarının kontrolünün yeterli olmaması" alt kriterinin önem derecesinin yüksek çıktığı görülmektedir. "Ekipmanların hiç bulunmaması ya da yetersiz olması" alt kriteri de önem derecesi yüksek çıkan kriterlerden biridir. Şekil 2'de alt kriterlerin global ağırlıkları gösterilmiştir.



Şekil 2. Alt Kriterlerin Global Ağırlıkları

Çalışmamızın diğer bölümünde ise inşaat sektöründe faaliyet gösteren söz konusu üç firma, Bulanık AHS yönteminde neticesinde elde edilen alt kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Yakınlık katsayısının büyük olması, alternatifin karar vericiler tarafından tercih edilmesinin bir göstergesi olarak tanımlanır. Ancak tespit edilen problemde tam tersi bir durum geçerlidir. Belirlenen alt kriterlerin olumsuz ifadeler içermesi sebebiyle yakınlık katsayısı küçük olması alternatifin tercih edilme göstergesi olmaktadır. Yakınlık katsayılarını incelediğinde F1 olarak belirtilen firmanın yakınlık katsayısının en düşük olduğunu görülmektedir. İş kazaları nedenleri üzerinden karşılaştırıldığında iş sağlığı ve güvenliği hassasiyetine göre firmalar  $F1 > F2 > F3$  olarak sıralanmaktadır.

Elde edilen veriler doğrultusunda firmaların olası iş kazalarının önüne geçmeleri için çalışma ortamında kullanılan makine ve ekipmanlarının kontrollerini mevzuat çerçevesinde yapmaları gerekmektedir. Alınması gereken önlemler firma özelinde değerlendirildiğinde F2 firmasında işveren, iş yerinde iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin mevzuata uyulup uyulmadığını izlemeli ve düzenli aralıklarla iş yerini denetlemelidir. Bununla beraber çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği konusunda iş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimleri tarafından belirli aralıklarla eğitim verilmesi, verilen eğitimler ile birlikte farkındalık oluşturulması ve sorumluluk bilincinin geliştirilmesi alınması gereken önlemler arasında yer almaktadır. F3 firması ise işverenin işe alımlarda çalışanlardan sağlık kayıtlarını talep etmesi, kişilik testleri uygulaması, tecrübeli kişilerin alınması, çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitimler vermesi vb. önlemleri almaması gerekmektedir. Özetle F2 firmasının yönetsel anlamda iyileştirme yapması ve önlemler alması, F3 firmasının ise sistemi tekrar ele alarak bütüncül yaklaşımla iyileştirmede bulunması olası iş kazalarının önüne geçilmesini sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Akalp, G. ve Özok, A.F. (2017). Ergonomik risklerin bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi ve bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 22, 69-79. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iesd/issue/292/65/313330>
- Akboğa Kale Ö. (2018). İnşaat sektöründe iş kazaları ve alandaki iyileşmeleri etkileyen faktörlerin

analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9 (2), 895-906. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/38874/458372>

- Arıbaş, M. ve Özcan, U. (2016). Akademik araştırma projelerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 19 (2), 163-173. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33079/368092>
- Ayhan, M.B. (2013). A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: A case study in a gear motor company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 4(3), 11-23. doi: <https://doi.org/10.5121/ijmvs.2013.4302>
- Baykal N. ve Beyan T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233-247.
- Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., ve Ignatius, J. (2012). A state of the art survey of topsis applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13501-13069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Çavuş, A. ve Taçgın, E. (2016). Türkiye’de inşaat sektöründeki iş kazalarının sınıflandırılarak nedenlerinin incelenmesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2). doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.63338>
- Çelik, H. (2015). *Analitik hiyerarşi yöntemi ile elektronik hizmet kalitesi performans analizi: mevduat bankaları üzerine bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Nevşehir.
- Değermenci, A. ve Ayvaz, B. (2016). Bulanık ortamda topsis yöntemi ile personel seçimi: Katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(30), 77-93. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/11467/1743>
- Doğanalp, B. (2016). Bulanık çok kriterli karar verme ile öğretim üyesi değerlendirme çalışması. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iibfdkastamonu/issue/29623/318142>
- Ercan, A. (2010). Türkiye’de yapı sektöründe işçi sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 13 (1), 49-53.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33052/367857>

- Erdogmus, K.N. (2018). *Bankacılık sektöründe bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık TOPSIS ile finansal performans değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hantekin, E. (2014). *TR33 bölgesi devlet hastanelerinin performanslarının bulanık AHP yöntemi ile ölçümü* (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uşak.
- Işık, N., Engeloğlu, Ö., Karaoğlu, S. (2017) Gelişmekte olan piyasa ekonomilerinin ihracat performansının bulanık AHP ve TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. doi: <https://doi.org/10.18037/ausbd.552531>
- Karakaşoğlu, N. (2008). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli
- Karakış, E. (2019). Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli önerisi: Özel okullarda öğretmen seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (53), 112-137. doi: <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.414655>
- Kesgin, Ç. ve Topuzoğlu, A. (2006). Sağlık tanımı ve başa dikma. *Journal of Istanbul Kültür University*, 47-49. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11413/397>
- Kul, Y., Şeker, A. ve Yurdakul, M. (2014). Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin alışılmamış imalat yöntemlerinin seçiminde kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 589-603. doi: <https://doi.org/10.17341/gummd.08606>
- Mızrak, K.C. ve Tolon, M. (2017). Türkiye’de inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği ile sürdürülebilir kalkınma. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nisantasisbd/issue/39932/474297>
- Müngen, U. (2011). İnşaat sektörümüzdeki başlıca iş kazası tipleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 469, 32-39.
- Moayeri, M., Shahvarani, A., Behzadi, M.H. ve Lotfi, F. Hosseinzadeh-Lotfi, F. (2015). Comparison of

fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for math teacher selection, *Indian Journal OF Science and Technology*, 8(13),1-10. doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i13/54100>

- Onursal, B. (2009). *Proje seçiminde bulanık TOPSIS yöntemi ile bir model önerisi: İnşaat sektörü uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, Ü., Ece, N.J. ve Gedik, N. (2017). Türkiye’de denizcilik eğitiminin geleceğine yönelik nicel bir çalışma örneği. *Journal Of ETA Maritime Science*,5(2),154-170. doi: <https://doi.org/10.5505/jems.2017.83703>
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York : McGraw-Hill.
- Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllıkları. (2017). Erişim adresi: [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari)
- Söyler, H. ve Yaraş, E. (2016). Küresel pazara giriş kararının bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımıyla analizi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (4), 77-96. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mjss/issue/40507/485473>
- Tayyar, N. (2012). Pet şişe tedarikçisi seçiminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,17(3),351-371.
- Ünal, Y. (2011). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve bir takım oyunu için oyuncu seçimi uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yacan, İ. (2016). *Eğitim kalitesinin belirlenmesinde etkili olan faktörlerin bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Yılmaz, M., Yıldız, S., ve Kavit, R. (2015). İş kazalarının işgörelere göre nedenlerinin şantiye ölçeğinde belirlenmesi. *Sinci İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*. 1-12, İzmir.