



## Examination of fire station location selection using the FUZZY FUCOM method

Gül Uslu<sup>1\*</sup>, Babek Erdebili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational Safety and Health, Faculty of Health Sciences, Sinop University, 57000, Sinop, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Industry, Faculty of Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, 06010, Ankara, Türkiye

### Highlights:

- Determination of criteria for the best location selection of the fire station
- Calculating the weights of criteria with the Focom-F method
- Transportation to the scene as quickly and effectively as possible

### Keywords:

- Fire Station
- Multi-Criteria Decision Making
- FUCOM-F
- Location selection criteria

### Article Info:

Research Article  
Received: 29.03.2023  
Accepted: 19.11.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1273322

### Correspondence:

Author: Gül Uslu  
e-mail: guslu@sinop.edu.tr  
phone: +90 531 334 9251

### Graphical/Tabular Abstract

Fires in rural and urban areas cause significant loss of life and property within minutes. For this reason, it is very important to respond effectively to fires in a short time. Fire stations need to be placed in appropriate places to reach the scene as soon as possible. As a result of the research on this subject, some criteria are determined by making many researches for the fire station location selection. Multi-Criteria Decision Making method is used to effectively solve the problems in which the determined qualitative or quantitative criteria are evaluated. This method is divided into two: the methods used to determine the weights of the criteria and the methods used to rank the weights. In this study, FUCOM-F (Fuzzy Full Consistency Method), which is one of the methods of ordering the weights, was used (Table A).

Table A. Final Weights of Criteria

Main Criteria Weight	Subcriteria Weights
C <sub>1</sub> (%29)	C <sub>11</sub> (%39) C <sub>12</sub> (%30) C <sub>14</sub> (%23) C <sub>13</sub> (%8)
C <sub>5</sub> (%24)	C <sub>52</sub> (%40) C <sub>53</sub> (%40) C <sub>51</sub> (%20)
C <sub>2</sub> (%16)	
C <sub>3</sub> (%14)	
C <sub>4</sub> (%9)	C <sub>43</sub> (%38) C <sub>41</sub> (%37) C <sub>42</sub> (%25)
C <sub>6</sub> (%8)	

In the study, as a result of taking the opinions of experts and literature research, the most important main criterion that decision makers should consider in fire station location selection, which was determined using the F-FUCOM method, was the criterion of proximity to places with a high probability of fire, with 29%. This criterion is followed by proximity to areas with high population density (24%), proximity to the main artery (16%), proximity to the existing station (14%), topographic structure of the land (9%) and proximity to protected areas (8%) (Table A).

**Purpose:** In this section, it is aimed to establish fire stations by taking into account the location selection criteria expressed mathematically, so that fire trucks can reach the scene in the shortest and most effective way.

**Theory and Methods:** In this study, FUCOM-F (Fuzzy Full Consistency Method), which is one of the methods of ordering the weights, was used.

**Results:** In the study, firstly, by taking literature research and expert opinions, 6 main criteria and a total of 10 sub-criteria depending on the 1st, 4th and 5th main criteria were determined for the establishment of fire stations. These criteria were then ranked in order of importance using a fuzzy linguistic scale. In the 3rd step, comparative preferences were made in pairs of criteria. As a result of comparative preferences, the fuzzy weights of the criteria and, in the last step, their final clarified weights were calculated.

**Conclusion:** In this study, it was estimated that fire stations, which will be established by taking into account the stated order of importance, will be effective in minimizing both loss of life and property loss in places where they can intervene in the shortest and most effective way in case of a fire incident.



## FUZZY FUCOM yöntemi kullanarak itfaiye istasyonu yer seçiminin incelenmesi

Gül Uslu<sup>1\*</sup>, Babek Erdebili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sinop Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 57000, Sinop, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06010, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- İtfaiye istasyonunun en iyi yer seçimi için kriterlerin belirlenmesi
- Focom-F yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması
- Olay yerine mümkün olduğunca hızlı ve etkili bir şekilde ulaşım

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.03.2023

Kabul: 19.11.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1273322

Anahtar Kelimeler:

İtfaiye yer seçimi,  
çok kriterli karar verme,  
FUCOM-F

### ÖZ

Özellikle yaz aylarında havaların ısınmasıyla kırsal ve kentsel alanlarda yaşanan yangınlar, dakikalar içinde önemli derecede can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle yangınlara kısa sürede etkin şekilde müdahale oldukça önemlidir. Olay yerine en kısa zamanda erişmek için itfaiye istasyonlarının uygun yerlere yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda itfaiye istasyonu yer seçimi için çok sayıda araştırma yapılmış bazı kriterler belirlenmiştir. Belirlenen nitel veya nicel kriterlerin değerlendirildiği problemlerin etkin bir şekilde çözümü için Çok Kriterli Karar Verme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve ağırlıkların sıralanması için kullanılan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada ağırlıkların sıralanması yöntemlerinden biri olan FUCOM-F (Fuzzy Full Consistency Method- Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi) kullanılmıştır. İtfaiye istasyonları kurulumu yer seçimi için literatür araştırması ve uzman görüşlerinden sonra altı adet ana kriter ve ana kriterleri altında 10 adet alt kriter belirlenmiştir ve ağırlıkların önemine göre sıralanmıştır. Daha sonra FUCOM-F yöntemine göre karşılaştırılmalı tercihler yapılmış ve ardından optimum bulanık ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen bulanık ağırlıklardan kesin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Bu nedenle ana kriterlere ve alt kriterlere ait son ağırlık değerlerine bakılarak en uygun itfaiye istasyonu yer seçimi için öneride bulunulmuştur.

## Examination of fire station location selection using the FUZZY FUCOM method

### H I G H L I G H T S

- Determination of criteria for the best location selection of the fire station
- Calculating the weights of criteria with the Focom-F method
- Transportation to the scene as quickly and effectively as possible

### Article Info

Research Article

Received: 29.03.2023

Accepted: 19.11.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1273322

Keywords:

Fire brigade site selection,  
Multi-Criteria decision  
making,  
FUCOM-F

### ABSTRACT

Fires in rural and urban areas cause significant loss of life and property within minutes. For this reason, it is very important to respond effectively to fires in a short time. Fire stations need to be placed in appropriate places to reach the scene as soon as possible. As a result of the research on this subject, some criteria are determined by making many researches for the fire station location selection. Multi-Criteria Decision Making method is used to effectively solve the problems in which the determined qualitative or quantitative criteria are evaluated. This method is divided into two: the methods used to determine the weights of the criteria and the methods used to rank the weights. In this study, FUCOM-F (Fuzzy Full Consistency Method), which is one of the methods of ordering the weights, was used. After the literature research and expert opinions for the location selection of fire stations, 6 main criteria and 10 sub-criteria under the main criteria were determined and listed according to the importance of the weights. Then, comparative preferences were made according to the FUCOM-F method, and then optimum fuzzy weights were calculated. The exact weight values were calculated from the obtained fuzzy weights. For this reason, by looking at the final weight values of the main criteria and sub-criteria, a recommendation was made for the selection of the most suitable fire station location.

## 1. Giriş (Introduction)

Potansiyel yangın riski olan yerlerde ve özellikle yangın tehlikesi yüksek olan kentsel alanlarda itfaiye istasyonlarının yer seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca bir yangın can ve mal kaybına neden olduğu için, bu da yerel yönetimleri oldukça zor durumda bırakabilir. İtfaiye, ambulans sistemleri gibi acil durum hizmetleri, yerel yöneticiler tarafından en üst seviyede toplumun güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir. Bu nedenle yerel yöneticiler, itfaiye istasyonlarının kurulmasında yangın alanlarına karşı acil olarak en kısa sürede ve en etkili şekilde müdahale edilmesi gerektiği için istasyon yer seçiminde çok önemlidir [1]. Nüfus artışı, ahşap yapıların sıklığı, ormanlık alanlara yakınlık, doğal afetler gibi çeşitli kriterler itfaiye istasyonlarının kurulmasında kullanılacak önemli kriterlerdendir.

En uygun yer seçimini belirlemek için birçok yöntem mevcuttur. Bu yer seçimlerinin çoğu, geçmiş deneyimler ve subjektif tercihler açısından basit analizlerle yapılmıştır. Daha sonra bu yöntemlere istatistiksel ve matematiksel araçlar ilave edilerek daha karmaşık yöntemler geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemler hesap karmaşıklığına yol açmaktadır. Bu karmaşıklığı gidermek için itfaiye istasyon yer belirlerken bilgisayar programlama modelleri kullanılmaya başlanmıştır [2]. Birbirleri ile çelişen bu kriterlerin çokluğu ve karışıklığı nedeniyle belirsiz bir ortamda çok fazla alternatif içinden seçim yapılması gerektiği için araştırmacılar tarafından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Fakat kriter sayısı fazlalığı nedeniyle bu yöntemlerde ikili karşılaştırma yapmada zorluk çekilmesi gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için, daha az ikili karşılaştırmalar kullanılarak daha güvenilir sonuçların elde edildiği yöntemler geliştirilmiştir. Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin sayısallaştırılması için Zadeh [3] tarafından Bulanık kümeler teorisi geliştirilmiştir.

İnsanların, konut alanlarının ve çevrenin yangından korunması, kentsel (veya kırsal) alanlarda uzun süredir önemli bir endişe kaynağı olmuştur. Yangınlar can ve mal kayıplarına mal olduğu ve doğal çevreyi birçok yönden değiştirdiği için ülkeler yangından korunma ve müdahale hizmetlerine önemli kaynaklar ayrılmıştır. İtfaiye departmanları, şehir merkezlerinde genellikle su pompalamak, dağıtmak ve yangın söndürme işlemlerini gerçekleştirmek için acil durum ekiplerinden oluşur [4].

Yangından korunma ve müdahale hizmetlerinin sağlanması oldukça önemlidir. İstasyonları kurmak ve yeterli şekilde donatmak için sabit maliyetler ve yıllık bakım maliyetleri vardır. Bir yangından korunma sistemi, diğer birçok hizmet sağlama sistemi gibi, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerin sonucunda hizmet talebinin değişmesi yeni tesislerin açılmasına sebep olmuştur.

Bir itfaiye istasyonunun konumsal yer seçimi ile ilgili giderek çok sayıda çalışmada bulunmaktadır. Tablo 1'de itfaiye istasyonu yer seçimiyle yapılan çalışmaların literatür taraması gösterilmektedir.

Yangından korunma ve istasyonların konumlandırılması ile ilgili çeşitli farklı hususlar vardır. İtfaiye istasyonu yerleştirme kararlarını desteklemek için güvenilirabilecek birçok alternatif ve tamamlayıcı modelleme yaklaşımları bulunmaktadır. İtfaiye istasyonu yerleştirme çabalarının amacı mevcut hizmet sunumunu tamamlamak ve geliştirmek için bir veya daha fazla ek istasyon yerleştirmektir [20]. Yani mevcut olan istasyonlar nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler nedeniyle talebi karşılamamaktadır. Mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlara yetecek yeni istasyonların kuruluşu oldukça maliyetlidir. Bu nedenle, mevcut ve önerilen sistemin optimum şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir [11].

Bu çalışmada karar vericilerin öznel değerlendirmelerine dayanarak belirlenen itfaiye istasyonu yer seçiminin optimum kriter ağırlıkları kriterlerinin belirlenmesinde, yeni bir yöntem olması ve bu konuda yapılan literatür taramasında herhangi bir çalışmaya rastlanmaması nedeniyle, FUCOM-F (Full Consistency Method-Fuzzy Tam Tutarlılık Yöntemi) kullanılmıştır.

### 1.1. FUCOM Yöntemi (FUCOM Method)

FUCOM yöntem subjektif ağırlıklandırma yöntemidir. Doğrusal Programlama temeline dayanan bu yöntemde, tüm kriterlerin ağırlık katsayıları karar vericiler tarafından belirli bir düzeyde karşılaştırma yapılır ve tutarlılık koşulu sağlanır [21]. Ağırlık katsayılarında en uygun değerlerin sağlanması için, kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkileri kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması ve matematiksel geçişlilik koşullarına dayanılması gerekmektedir [22]. Daha sonra, model için gerekli kısıtlamalar belirlenir ve model çözülür. Sonuçta en uygun (optimum) ağırlıklı değerler ve tam tutarlılık sapmaları (TTS) elde edilir [23]. Bu sapmaların derecesi, ağırlık katsayıları kriter tahminlerinin karşılaştırmalı önceliklerinden elde edilen sapma derecesidir ve güvenilir olduğunun göstergesidir [24].

Bu yöntemin diğer ağırlıklandırma yöntemlerine göre bazı temel avantajları bulunmaktadır [25]:

- İkili karşılaştırma sayısı azdır (n kriter sayısında, n-1 tane ikili karşılaştırma),
- Kriterlerin tutarlı karşılaştırılmasına olanak tanır.
- Kriter ağırlıklarının hesaplanması daha güvenilirdir.

Dragan Pamucar vd. (2020) [24] göre, FUCOM, ağırlık katsayılarını elde etmek için üç adımda sunulabilir.

Adım 1. Kriterler, kriterlerin önemine bağlı olarak  $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$  değerlendirme kriterleri kümesinde sıralanır. Sıralama, önemli olandan en az önemli olana doğru başlar. Bu nedenle, ağırlık değerleri Eş. 1'de gösterilmektedir. Burada k kriter sıralamasıdır.

$$c_j(1) > c_j(2) > \dots > c_j(k) \quad (1)$$

Adım 2. Sıralama kriterleri karşılaştırılır ve Eş. 2'de ifadesini takiben değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önceliği belirlenir:

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (2)$$

Buradak = 1,2,3, ... n;  $\varphi, c_j(k)$  kriteri ile  $c_j(k+1)$  kriteri karşılaştırıldığında öncelikli sonuçları gösterir.

Adım 3. Son ağırlık katsayısı değerlerini bulmak için değerlendirme kriterlerinin  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$  hesaplanması yapılır. Hesaplanan ağırlık katsayıları iki şartı sağlamak zorundadır.

1. Şart: Ağırlık katsayılarının oranı, Adım 2'de tanımlanan gözlemlenen kriterler arasındaki karşılaştırmalı önceliğe  $\varphi_{k/(k+1)}$  eşittir.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

2. Şart: Adım (3) dışında da, son değerler matematiksel geçişlilik koşuluyla eşleşmelidir. Yani;

**Tablo 1.** Literatür Araştırması (Literature Review)

Yazar	Çalışmanın Konusu
Plane ve Hendrick [2]	Colorado'da bir itfaiye istasyonunun konuşlandırıldığı ve bir kapsama müdahale standardının kullanımını detaylandırmıştır
Schreuder [5]	Çalışmada, itfaiye istasyonları için olası yerleşim alanlarının belirlenmesi için bir yol ağı yaklaşımı kullanılmış, ardından minimum istasyon sayısını hesaplamak için bir küme kapsayan yaklaşım kullanılmıştır.
Reilly ve Mirchandani [6]	New York, Albany'deki itfaiye istasyonu konumuna bakarak, maksimum müdahale standardının yanı sıra potansiyel talebe erişilebilirliği en üst düzeye çıkarma ihtiyacını vurgulamıştır
Badri vd. [7]	Hizmet verilecek bölgelere olan mesafe ve seyahat süresinin yanısıra maliyet ile ilgili hedeflerde dikkate alınarak tam sayılı hedef programlama tekniği kullanmıştır.
Yang ve Jones [8]	Bulanık çok amaçlı bir programlama modeli ile genetik algoritmanın birleşiminden oluşan bir çözüm yöntemi önermiştir
Şen vd. [9]	Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve çok amaçlı programlama modeli ile deprem riskinin yüksek olduğu alanlar ve şehrin trafik yoğunluğu da dikkate alarak İstanbul ili için itfaiyelerin tepki süresini azaltma, kapsama alanını artırma ve toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlamıştır
Siamidoudaran [10]	CBS ve Python programlama dili kullanarak Girne şehri için itfaiye yeri seçimi için bir model önerisinde bulunmuştur.
Chevalier vd. [11]	Bu çalışmada, bir üniversiteler konsorsiyumu ve özel bir firma tarafından Belçika için geliştirilen bir karar destek sisteminin potansiyelini göstermiştir. Sistem, Belçika acil durum yönetimi idaresine itfaiye istasyonlarının konumu için eksiksiz bir karar verme aracı sağlamak üzere tasarlanmıştır. Projenin özgünlüğü, ulusal ölçekte geliştirilmiş bir risk modelleme yaklaşımı içermesidir.
Murray [12]	Stratejik planlamanın ve sistemin yeniden değerlendirilmesinin önemini göstermek için Kaliforniya'daki bir şehir için, bir itfaiye sistemini incelenerek bir vaka çalışması kullanılmıştır. Yangından korunma ve müdahalede stratejik planlama amaçlarını ve hedeflerini ele alınarak itfaiye istasyonu yerleşimini desteklemek için modelleme yaklaşımları detaylandırılmıştır.
Church ve Li, [13]	Bu çalışmada, Los Angeles (LA) County'deki yangından korunma hizmetlerinin mekansal verimliliğini tahmin etmek için siber arama, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve mekansal optimizasyonu kullanan bütünleştirici bir yaklaşım geliştirilmiştir.
Chaudhary [14]	Nepalde itfaiye merkezlerini yollara uzaklık, arazi örtüsü, nehirlere olan mesafe ve nüfus yoğunluğu şeklinde dört farklı kriter bakımından AHP yöntemi kullanılmış ve CBS ile entegre ederek mevcut itfaiye istasyonlarına ek olarak yeni itfaiye istasyonu için öneride bulunmuştur
Nyimbili ve Erden [15]	Çalışmada, yeni yangını optimum şekilde yerleştirmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) yaklaşımıyla entegre edilmiş, bulanık AHP olarak adlandırılan Analitik Hiyerarşik Sürecin (AHP) Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yönteminin bulanık uzantısının kullanılmasını önerilmiştir.
Hou vd. [16]	Bu çalışmada, farklı olası yangın kaynaklarından gelen benzersiz yangın gelişme modeli ve yangınlardan kaynaklanan potansiyel kayıp dikkate alınarak en uygun itfaiye istasyonu konumlarını belirlemek için yenilikçi bir prosedür önerilmiştir.
Yu vd. [17]	Bu yazıda, yangın riski ilgi noktaları (POI'ler) verileri, yol ağları ve itfaiye istasyonu planlama ilkeleri dikkate alınarak kentsel itfaiye istasyonlarının konumlarının planlanması için bir yöntem sunulmaktadır.
Chen vd. [18]	Çalışmada kentsel kurtarma yeteneklerini güçlendirmek için, kentsel alanlardaki itfaiye istasyonlarının mekansal dağılımını optimize edecek yeni bir yöntem önerilmiştir.
Gölcük vd. [19]	Çalışmada risk değerlendirmesi için klasik FMEA (hata türleri ve etkileri analizi) yöntemi ve Bulanık FUCOM FMEA yöntemini ile elde edilen sonuçlar karşılaştırarak hata türlerinin risk puanları ve risk faktörlerinin ağırlıkları önerilen yeni bir model için kullanılmıştır.

$\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$  elde edilir. Burada  $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$  ve  $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$  anlamına gelmektedir. Bu nedenle, değerlendirme kriterlerinin son ağırlık değerleri, aşağıdakiler gibi diğer koşulları karşılamalıdır:

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (4)$$

$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$  ve  $\frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \varphi_{(k+1)/(k+2)}$  sağlandığında, bu şekilde tam tutarlılıktan sapma (DFC) yanıtlanır yani;

Koşulların sağlanabilmesi için, ağırlık katsayılarının  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  değerlerinin,  $\chi$  değerinin minimizasyonu  $\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi$  ve  $\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$  koşulunun gerçekleşmesi gereklidir.

Değerlendirmenin son ağırlıklı katsayı değerlerinin tanımlandığı son model, Eş. 5'te gösterilen tanımlı veri setlerine dayanır.

Min  $\chi$ ,

$$\begin{aligned} & \left| \frac{w_j^{(k)}}{w_j^{(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi; \forall j \\ & \left| \frac{w_j^{(k)}}{w_j^{(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi; \forall j \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1; \forall j \\ & w_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \quad (5)$$

Bu işlem sonunda modelin çözülmesi ile değerlendirme kriterleri  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  T değerleri ile Tam Tutarlılıktan Sapma dereceleri ( $\chi$ ) elde edilmektedir [32].

İşlemlerin kesin sayılarla yapılması nedeniyle FUCOM yöntemi insan düşüncelerini analiz etmekte başarılı olmadığı için Dragan Pamucar ve Ecer (2020) [23] tarafından bu yöntem bulanık mantığa taşınarak FUCOM-F yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde kriterlerin ikili karşılaştırılması için Tablo 2’de karar vericilerin kullanacağı dilsel değerler ve üçgen bulanık sayılarla tanımlanan ölçek verilmiştir [33].

**Tablo 2.** Bulanık Dilsel Ölçek [26] (Fuzzy Linguistic Scale)

Dilsel Terimler	Üyelik İşlevi
Eşit Önemli (EÖ)	(1;1;1)
Biraz Önemli (BÖ)	(2/3;1;3/2)
Oldukça Önemli (OÖ)	(3/2;2;5/2)
Çok Önemli (ÇÖ)	(5/2; 3; 7/2)
Aşırı Önemli (AÖ)	(7/2; 4; 9/2)

## 2. Yöntem (Method)

İtfaiye yer seçiminde belirlenen kriterlerin ağırlıklarının tespiti için iş akış şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.

Detaylı literatür araştırması ve uzman görüşlerinin alınmasından sonra altı adet ana kriter ve 10 adet alt kriter belirlenmiştir (Şekil 1).

İtfaiye istasyonları yer seçimi belirlemede ilk kriter, yangın çıkma ihtimali yüksek olan alanlara olan yakınlıktır. Bu kriterden ahşap alanlara yoğunluğun fazla olduğu yerlere, tehlikeli madde üretimi ve depolaması yapılan yerlere ve orman arazilerine yakınlık geçmiş yıllardaki yangın sayıları dikkate alınarak dört adet alt kriter oluşturulmuştur.

İkinci ve üçüncü kriter olarak ana arterlere ve mevcut istasyonlara yakınlık olarak belirlenmiştir.

İstasyonun kurulacağı yerin topoğrafik özelliği dördüncü kriter olarak belirlenmiştir. Bu kriterin üç alt kriteri oluşturulmuştur:

- Arazi yapısı
- Arazi maliyeti
- Bölgenin doğal afetlere maruziyeti (deprem, sel, heyelan vb.)

Beşinci ana kriter olarak belirlenen nüfus yoğunluğu yüksek olan alanlara yakınlık altında 3 alt kriter belirlendi. Bunlar:

- AVM, plaza, otel, fabrika gibi alanlara yakınlık,
- Sağlık merkezlerine yakınlık
- Kamu kurumlarına (okullar, belediyeler, üniversiteler...) yakınlık

Altıncı ve son ana kriter ise sit alanlarına mesafedir. Şekil 2’de ana ve alt kriterler detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

İtfaiye istasyonu yer seçimi için kriterler belirlendikten sonra bulanık dilsel ölçek kullanarak önem sırasına göre sıralanmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Kriterlerin bulanık dilsel ölçek kullanarak önem sırasına göre sıralanması

(Ranking criteria in order of importance using fuzzy linguistic scale)

Kriter	Üyelik İşlevi	Kriter	Üyelik İşlevi
C <sub>1</sub>	AÖ (3,5; 4; 4,5)	C <sub>11</sub>	AÖ (3,5; 4; 4,5)
		C <sub>12</sub>	AÖ (3,5; 4; 4,5)
		C <sub>13</sub>	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)
		C <sub>14</sub>	OÖ (1,5; 3; 2,5)
C <sub>5</sub>	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)	C <sub>52</sub>	AÖ (3,5; 4; 4,5)
		C <sub>53</sub>	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)
		C <sub>51</sub>	OÖ (1,5; 3; 2,5)
C <sub>2</sub>	OÖ (1,5; 2; 2,5)		
C <sub>3</sub>	OÖ (1,5; 2; 2,5)		
C <sub>4</sub>	BÖ (0,67; 1; 1,5)	C <sub>43</sub>	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)
		C <sub>41</sub>	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)
		C <sub>42</sub>	OÖ (1,5; 3; 2,5)
C <sub>6</sub>	BÖ (0,67; 1; 1,5)		

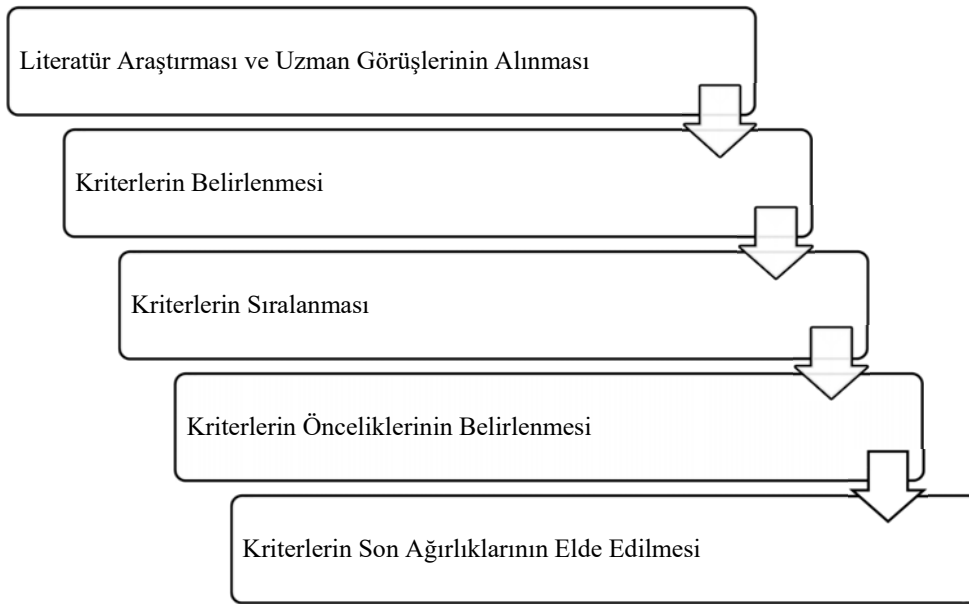
a) Ana Kriterler: C<sub>1</sub>> C<sub>5</sub>> C<sub>2</sub>=C<sub>3</sub>> C<sub>4</sub>=C<sub>6</sub>

b) 1. Kriterin alt kriterlerinin C<sub>11</sub>= C<sub>12</sub>> C<sub>14</sub>≧ C<sub>13</sub>

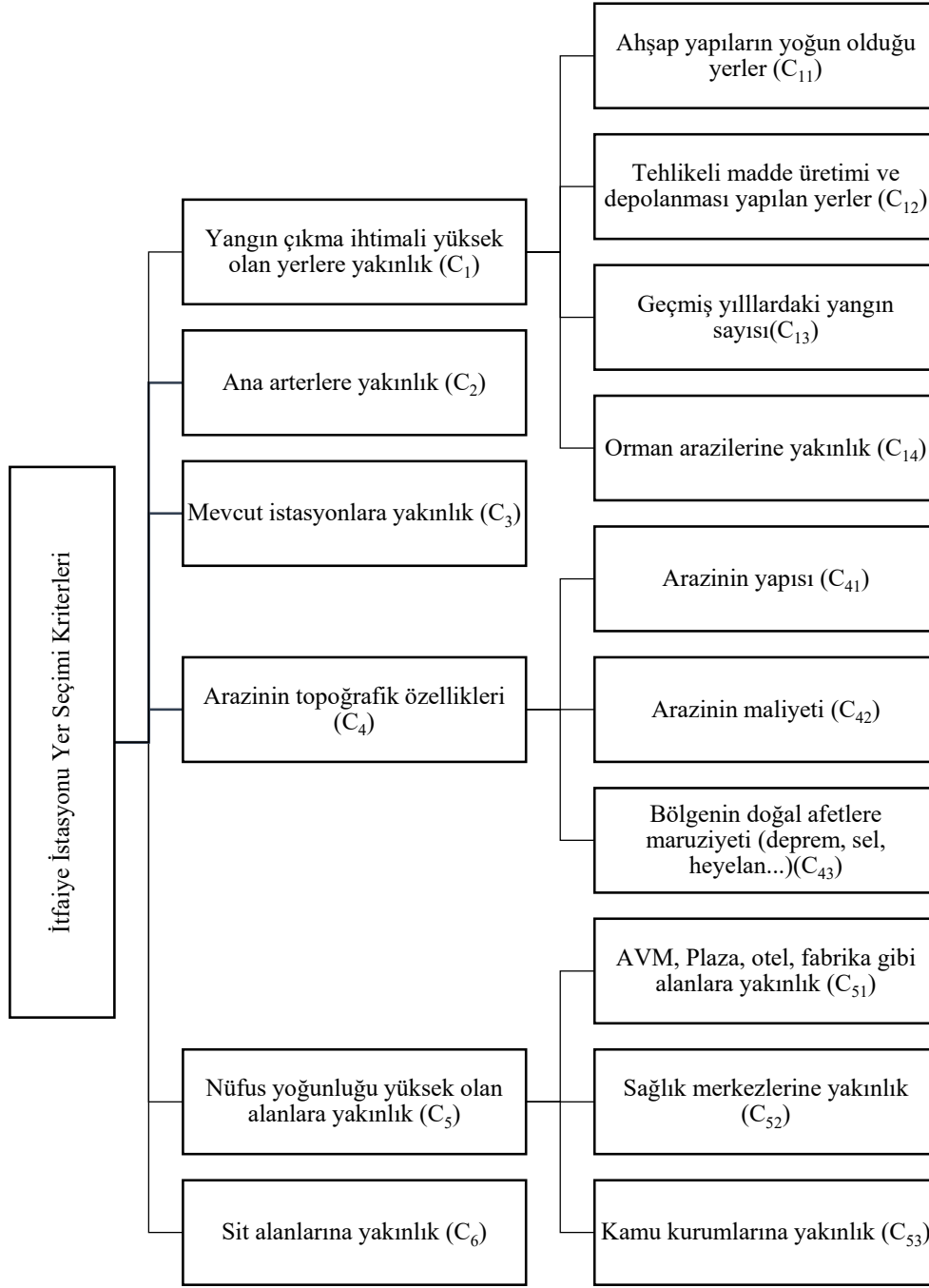
c) 4. Kriterin alt kriterlerinin C<sub>43</sub>=C<sub>41</sub>>C<sub>42</sub>

d) 5. Kriterin alt kriterlerinin C<sub>52</sub>>C<sub>53</sub>>C<sub>51</sub>

Kriterler sıralandıktan sonra Üçgen bulanık sayılar kullanarak kriterlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Burada  $\varphi_{k/(k+1)}$ ,  $C_{j(k)}$ sıradaki kriterin  $C_{j(k+1)}$ sıradaki kriterine göre sahip olduğu önemi ifade eder.



**Şekil 1.** İş Akış Şeması (Workflow Chart)



**Şekil 2.** İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde Kullanılacak Kriterler (Criteria to be used in Fire Station Location Selection)

Ana Kriterlerin karşılaştırmalı tercihi Tablo 4'te gösterilmiştir:

Daha sonra optimum bulanık ağırlıkların hesaplanır.

Kriterlerinin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  hesaplanır. Ağırlık katsayılarının nihai değerleri iki koşulu sağlamalıdır.

$$\text{Koşul 1. } \frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (6)$$

$$\text{Koşul 2. } \frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{k+1/(k+2)} \quad (7)$$

Son değerler matematiksel geçişlilik koşuluyla eşleştirilmiş ve Tablo 5'te bulunan değerler gösterilmiştir. En sonunda ana kriterlerin önem ağırlıklarını elde etmek için doğrusal olmayan model kurulmuş ve LINGO 19.0 kullanılarak çözülmüştür.

Ana kriterlerin ağırlıkları Tablo 6'da Bulanık olarak hesaplanmıştır. Bulanık ağırlıklardan kesin değerli ağırlıklara ulaşmak için;

$$w_{K_j} = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6} \quad (8)$$

$$K_1 = 0.293 \cong \%29$$

$$K_2 = 0,161 \cong \%16$$

$$K_3 = 0,139 \cong \%14$$

$$K_4 = 0,086 \cong \%09$$

$$K_5 = 0,239 \cong \%24$$

$$K_6 = 0,079 \cong \%08$$

Ana kriterlerin tutarlılık sapması 0.0457 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Ana Kriterlerin Karşılaştırmalı Tercihi  
(Comparative Choice of Main Criteria)

Kriter	Karşılaştırmalı Tercihi
$\varphi_{C_1/C_5}$	1; 1,33; 1,8
$\varphi_{C_5/C_2}$	1; 1,5; 2,33
$\varphi_{C_2/C_3}$	0,6; 1; 1,67
$\varphi_{C_1/C_5}$	1; 1,33; 1,8
$\varphi_{C_5/C_2}$	1; 1,5; 2,33
$\varphi_{C_2/C_3}$	0,6; 1; 1,67
$\varphi_{C_3/C_4}$	1; 2; 3,73
$\varphi_{C_4/C_6}$	0,45; 1; 2,24

**Tablo 5.** Matematiksel geçişlilik koşuluyla eşleştirilen değerler  
(Values matched by the mathematical transitivity condition)

Kriterler Ağırlıkları	Geçişlilik Koşuluyla Eşleştirme
$w_{C_1/C_2}$	1,4; 2; 3
$w_{C_5/C_3}$	1; 1,5; 2,33
$w_{C_2/C_4}$	1; 2; 3,73
$w_{C_3/C_6}$	1; 2; 3,73

**Tablo 6.** Ana Kriterlerin Bulanık Ağırlıkları  
(Fuzzy Weights of Main Criteria)

Ana Kriterler	Bulanık Ağırlıkları
$w_1$	0.2939; 0.2939; 0.2939
$w_2$	0.1126; 0.1698; 0.1773
$w_3$	0.1307; 0.1416; 0.1416
$w_4$	0.0497; 0.0936; 0.0936
$w_5$	0.1379; 0.2554; 0.2756
$w_6$	0.0502; 0.08499; 0.08499

### 3. Alt kriterin Ağırlıklarının Hesaplanması (Calculation of the Weights of the 1st Intermediate Criterion)

$$C_{11}=A\ddot{O} (3,5; 4; 4,5)$$

$$C_{12}=\ddot{C}\ddot{O} (2,5; 3; 3,5)$$

$$C_{14}=O\ddot{O} (1,5; 2; 2,5)$$

$$C_{13}=B\ddot{O} (0,6; 1; 1,5)$$

Ağırlıkların sıralaması;  $C_{11}>C_{12}>C_{14}>C_{13}$

Ana kriterine ait alt kriterlerinin önem ağırlıklarını elde etmek için doğrusal olmayan model kurulmuş ve LİNGO 19.0 kullanılarak çözülmüştür (Tablo 7).

**Tablo 7.** Birinci ana kritere ait alt kriterlerin bulanık ağırlıkları  
(Fuzzy weights of sub-criteria belonging to the first main criterion)

Ana Kriterler	Bulanık Ağırlıkları
$w_{11}$	0.3890; 0.3890; 0.4012
$w_{12}$	0.2968; 0.2968; 0.2968
$w_{13}$	0.0763; 0.0826; 0.08889
$w_{14}$	0.1832; 0.2387; 0.2387

Elde edilmiştir ve buna bağlı olarak kesin ağırlık değerleri;

$$K_{11} = 0,391 \rightarrow \%39$$

$$K_{12} = 0,297 \rightarrow \%30$$

$$K_{13} = 0,082 \rightarrow \%08$$

$$K_{14} = 0,229 \rightarrow \%23 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

1. Kriterine ait alt kriterlerin tutarlılık sapması 0.1483 olarak hesaplanmıştır.

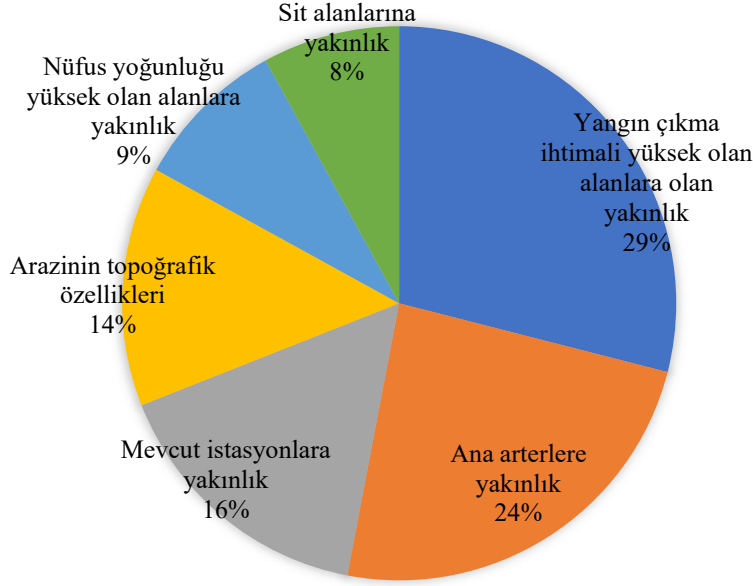
1. ana kritere bağlı alt kriterlerin değerleri belirlendikten sonra aynı şekilde 4. Ve 5. Ana kriterlere bağlı alt kriterlerin değerleri belirlenmiştir (Tablo 8)

#### 3.1. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Bu çalışmada itfaiye istasyonu yer seçimi için 4 uzmandan kriterlerin belirlenmesi ve sıralanması istenmiştir. Uzmanlardan alınan görüşlerin ortalaması kullanılarak Fucom-F yönteminde kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Doğruluk analizi için yine uzmanların alt kriterlerin sıralamasıyla subjektif ağırlık sıralama yöntemlerinden biri olan SWARA yöntemi kullanarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve

**Tablo 8.** Kriterlerin Ağırlıklarının Hesaplanması (Calculation of Criteria Weights)

Ana Kriter	Ağırlık Değerleri (K)	Tutarlılık Sapması ( $\gamma$ )	Alt kriter	Ağırlık Değerleri ( $K_{alt}$ )	Global Ağırlık Değerleri ( $K * K_{alt}$ )	Tutarlılık Sapması ( $\gamma$ )
C1	0.2939	-	C <sub>11</sub>	0,3911	0,1149	0.1483
			C <sub>12</sub>	0,2967	0,0872	
			C <sub>13</sub>	0,0826	0,0243	
			C <sub>14</sub>	0,2294	0,0674	
C <sub>2</sub>	0,1615	0.04571	-	-	0.0257	
C <sub>3</sub>	0,1398		-	-		
C <sub>4</sub>	0,0863		C <sub>41</sub>	0,3761		0,0324
C <sub>5</sub>	0,2392	-	C <sub>42</sub>	0,2496	0,0215	0.0375
			C <sub>43</sub>	0,3741	0,0323	
			C <sub>51</sub>	0,2021	0,0480	
			C <sub>52</sub>	0,4042	0,0967	
C <sub>6</sub>	0,07919	-	C <sub>53</sub>	0,3971	0,0950	-
			-	-	-	



**Şekil 3.** Ana Kriterlerin Ağırlıklarının Grafik Olarak Gösterimi (Graphical Representation of the Weights of Main Criteria)

tekrar sıralama yapılmıştır. Tablo 9’te alt kriterlerin ağırlıkları ve sıralamaları FUCOM-F ve SWARA yöntemine göre gösterilmektedir.

**Tablo 9.** FUCOM-F ve SWARA yöntemi kullanarak elde edilen kriterlerin ağırlıkları ve sıralamaları (Weights and rankings of the criteria obtained using FUCOM-F and SWARA method)

Kriterler	FUCOM-F	Sıra	SWARA	Sıra
C <sub>11</sub>	0,1149	10	0,0987	9
C <sub>12</sub>	00872	7	0,0546	6
C <sub>13</sub>	0,0243	2	0,0258	2
C <sub>14</sub>	0,0674	6	0,0715	8
C <sub>41</sub>	0,0324	4	0,0315	3
C <sub>42</sub>	0,0215	1	0,0240	1
C <sub>43</sub>	0,0323	3	0,0357	4
C <sub>51</sub>	0,0480	5	0,0420	5
C <sub>52</sub>	0,0967	9	0,1094	10
C <sub>53</sub>	0,0950	8	0,0683	7
r <sub>s</sub>			0,0890	

Kullanılan iki farklı yöntemle elde edilen kriterlerin sıralamasının duyarlılığını bulmak için Sperman’ın korelasyon katsayısı kullanılmıştır (Eş. 6). Hesaplanan değer 0 ile 1 arasında olmalıdır. Bu değer 0,8’den büyük olduğunda (0,889) benzerlik oranı oldukça güçlü varsayılır.

$$r_s = 1 - \frac{n \cdot \sum d^2}{n \cdot (n^2 - 1)} = 1 - \frac{10 \cdot 10}{10 \cdot (10^2 - 1)} = 0,889 \quad (9)$$

Burada; r<sub>s</sub>: Spearman Korelasyon Katsayısı, n: Katılımcı Sayısı,

d<sup>2</sup>: Katılımcıların iki değışikendeki sıralamaları arasındaki farkın karesi

Çalışmamıza ait yapılan duyarlılık analizi sonucu 0,8’den büyük bulunduğu için kriter sıralaması sonuçları arasında güçlü bir benzerlik olduğu kanısına varılmıştır.

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Kentsel ve kırsal alanlarda yaşayanların mal ve can kaybına sebebiyet veren yangınların kısa zamanda ve etkili şekilde müdahale ederek kontrol altına alınması gerekir. Bunun için kurulacak itfaiye istasyonlarının yangın tehlikesi bulunan bölgelere yakın yerlere kurulması oldukça önemlidir.

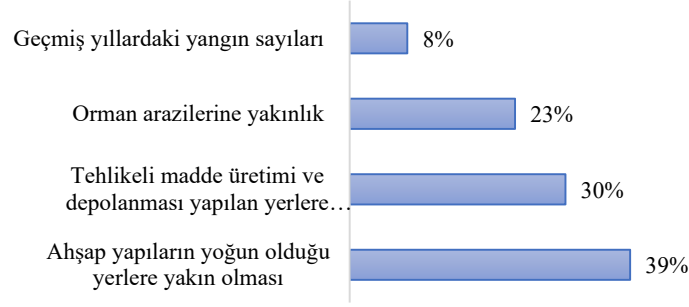
İnsan düşüncelerini ifade etmek için kesin sayıların kullanılması yetersiz kalmaktadır. Bunun için bulanık küme teorisi ortaya konulmuştur. Bulanık kümelerle Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Bu çalışmada, karar vericilerin öznel değerlendirmelerine dayanarak belirlenen itfaiye istasyonu yer seçiminin en uygun kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, yeni bir yöntem olması ve bu konuda yapılan literatür taramasında herhangi bir çalışmaya rastlanmaması nedeniyle, Dragan Pamucar ve Ecer tarafından geliştirilen FUCOM-F (Full Consistency Method-Fuzzy Tam Tutarlılık Yöntemi) yöntemi kullanılmış ve yorumlanmıştır.

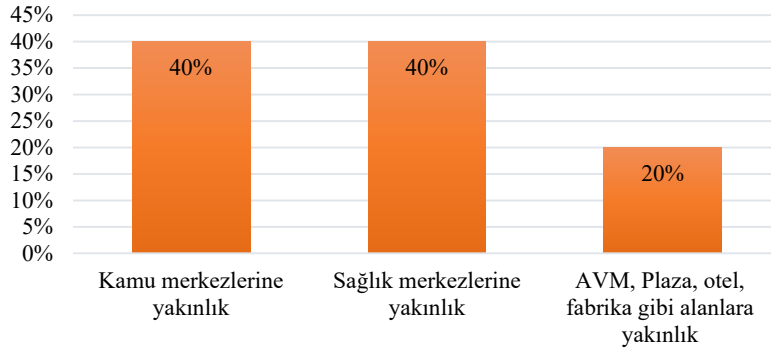
Çalışmada ilk olarak literatür araştırması ve uzman görüşleri alınarak itfaiye istasyonlarının kurulması için 6 ana kriter ve 1., 4. ve 5. Ana kriterlere bağlı toplam 10 adet alt kriter belirlenmiştir. Daha sonra bu kriterler bulanık dilsel ölçek kullanarak önem sırasına göre sıralanmıştır. 3. Adımda kriterler ikili olarak karşılaştırmalı tercihler yapılmıştır. Karşılaştırmalı tercihlerin sonucunda kriterlerin bulanık ağırlıkları ve son adımda durulaştırılmış nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre ana ve alt kriterlerin ağırlıklarının sıralaması Tablo 10’da gösterilmiştir.

Çalışmanın duyarlılık analizi sonucunda, alt kriterlerin ağırlıkları FUCOM-F yöntemi ve SWARA subjektif ağırlıklandırma yöntemi ile tekrar yapılmıştır yöntemleri ile hesaplanarak aralarındaki ilişki Sperman Korelasyon Katsayısına göre bulunmuş ve kriter sıralamaları arasında güvenilir bir benzerlik olduğu kanısına varılmıştır.

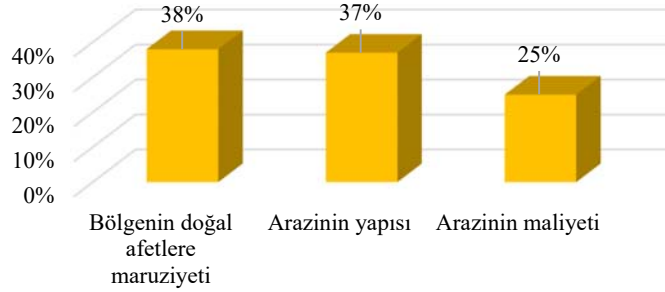




**Şekil 4.** Yangın Çıkma İhtimali Yüksek Olan Yerlere Yakınlık Kriterine Ait Alt Kriterlerin Grafik Gösterimi  
(Graphical Representation of Sub-Criteria of Proximity to Places with a High Chance of Fire)



**Şekil 5.** Nüfus Yoğunluğu Yüksek Olan Alanlara Ait Alt Kriterlerin Grafik Gösterimi  
(Graphical Representation of Sub-Criteria for Areas with High Population Density)



**Şekil 6.** Arazinin Topoğrafik Özelliklerine Ait Alt Kriterlerin Grafik Gösterimi  
(Graphical Representation of Sub-Criteria of the Topographic Features of the Land)

**Tablo 10.** Kriterlerin Son Ağırlıkları (Final Weights of Criteria)

Ana Kriter Ağırlıkları	Alt kriter Ağırlıkları
C <sub>1</sub> (%29)	C <sub>11</sub> (%39)
	C <sub>12</sub> (%30)
	C <sub>14</sub> (%23)
	C <sub>13</sub> (%8)
C <sub>5</sub> (%24)	C <sub>52</sub> (%40)
	C <sub>53</sub> (%40)
	C <sub>51</sub> (%20)
C <sub>2</sub> (%16)	
C <sub>3</sub> (%14)	
C <sub>4</sub> (%9)	C <sub>43</sub> (%38)
	C <sub>41</sub> (%37)
	C <sub>42</sub> (%25)
C <sub>6</sub> (%8)	

Sonuç olarak uzmanlar görüşlerinin alınması ve literatür araştırmaları sonucunda F-FUCOM yöntemi kullanılarak belirlenen itfaiye istasyonu yer seçiminde karar vericilerin gözönünde bulundurması gereken en önemli ana kriter, %29 ile yangın çıkma ihtimali yüksek olan yerlere yakınlık kriteri olmuştur. Bu kriteri sırasıyla, nüfus yoğunluğu yüksek olan alanlara yakınlık (%24), ana artere yakınlık (%16), mevcut istasyona yakınlık (%14), arazinin topoğrafik yapısı (%9) ve sit alanlarına yakınlık (%8) kriterleri izlemektedir (Şekil 3).

Yangın çıkma ihtimali yüksek olan yerlere yakınlık kriterine ait alt kriterlerde ise ilk olarak, ahşap yapıların yoğun olduğu yerlere yakın olması (%39) dikkate alınmalıdır. Daha sonra tehlikeli madde üretimi ve depolanması yapılan yerlere yakınlık (%30), orman arazilerine yakınlık (%23) ve geçmiş yıllardaki yangın sayıları (%8) kriterleri gözönüne alınmalıdır (Şekil 4). Nüfus yoğunluğu yüksek olan alanlara ait alt kriterleri belirlenmesinde ise eşit oranda kamu merkezlerine

(%40) ve sağlık merkezlerine (%40) yakınlık ve sonrasında AVM, Plaza, otel, fabrika gibi alanlara yakınlık (%20) kriteri şeklinde sıralanmıştır (Şekil 5).

Hesaplamalar sonucunda arazinin topoğrafik özellikleri kriterine ait alt kriterler ise bölgenin doğal afetlere maruziyeti (%38), arazinin yapısı (%37) ve arazinin maliyeti (%25) gözönüne alınarak itfaiye istasyonu yer seçiminin yapılması uygun olacaktır (Şekil 6).

Yapılan bu çalışmada, belirtilen önem sırasına göre kurulacak olan itfaiye istasyonları, herhangi bir yangın olayı gerçekleştiği zaman en kısa ve en etkili şekilde müdahale edebilecek yerlere kurulması hem can kaybını hem de mal kaybını en aza indirmekte etkili olacağı kanısına varılmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda, bu kriterleri Coğrafi Bilgi Sistemine entegre ederek itfaiye istasyonu yer seçimi yapılabilir. Ayrıca sağlık kurumu, kamu kurumu, hava taşımacılığı gibi farklı alanlarda kriterlerin özelleştirilmesi ile bu çalışma farklı bir boyut kazanmış olacaktır.

#### Kaynaklar (References)

- Liu, N., Huang, B., & Chandramouli, M., Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. *Journal of computing in civil engineering*, 20 (5), 361-369, 2006.
- Hewitt, R.L., Siting a Fire Station by Leveraging Soft Constraints and Supporting Science. *Interfaces*, 32 (4), 69-74, 2002.
- Badri, M. A., Mortagy, A. K., & Alsayed, C. A., A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research*, 110 (2), 243-260, 1998.
- Schreuder, J., Location of Rotterdam Fire Stations. In *DGORSOR*, Springer, Berlin, Heidelberg, 299-305, 1988.
- Schreuder, J. A. M., Application of a location model to fire stations in Rotterdam. *European Journal of Operational Research*, 6 (2), 212-219, 1981.
- Reilly, J. M., & Mirchandani, P. B., Development and application of a fire station placement model. *Fire technology*, 21 (3), 181-198, 1985.
- Badri, M. A., Mortagy, A. K., & Alsayed, C. A., A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research*, 110 (2), 243-260, 1998.
- Yang, L., Jones, B. F., & Yang, S. H., A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 181 (2), 903-915, 2007.
- Şen, A., Önden, İ., Gökgöza, T., Şen, C., A GIS approach to fire station location selection. In *Conference: GI4DM 2011 GeoInformation For Disaster Management*, 2011.
- Siamidoudaran, Meisam. *Emergency Service Location Study for Kyrenia City in Cyprus*. Diss. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ), 2012.
- Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., & Plastria, F., Locating fire stations: An integrated approach for Belgium. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46 (2), 173-182, 2012.
- Murray, A. T. Optimising the spatial location of urban fire stations. *Fire Safety Journal*, 62, 64-71, 2013.
- Church, R. L., & Li, W., Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: a case study of fire service deployment in Los Angeles County. *International Journal of Geographical Information Science*, 30 (3), 535-553, 2016.
- Chaudhary, P., Chhetri, S. K., Joshi, K. M., Shrestha, B. M., Kayastha, P., Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socio-Economic Planning Sciences*, 53, 60-71, 2016.
- Nyimbili, P. H., & Erden, T., GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, 100860, 2020.
- Hou, G., Li, Q., Song, Z., & Zhang, H., Optimal fire station locations for historic wood building areas considering individual fire spread patterns and different fire risks. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101548, 2021.
- Yu, Z., Xu, L., Chen, S., & Jin, C., Research on Urban Fire Station Layout Planning Based on a Combined Model Method. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12 (3), 135, 2023.
- Chen, M., Wang, K., Yuan, Y., & Yang, C., A POIs based method for location optimization of urban fire station: a case study in Zhengzhou City. *Fire*, 6 (2), 58, 2023.
- Gölcük İ., Durmaz E., Şahin R., Prioritizing occupational safety risks with fuzzy FUCOM and fuzzy graph theory-matrix approach, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 57-69, 2023.
- Pamucar, D., & Ecer, F., Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method-FUCOM-F. *Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering*, 18 (3), 419-437, 2020.
- Guo, S. ve Zhao, H., Fuzzy best-worst multi-criteria decisionmaking method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23- 31, 2017.
- Pamucar, D.; Deveci, M.; Cantez, F.; Božanić, D.I. A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures. *Appl. Soft Comput.* 87, 105952, 2020.
- C.S. ReVelle, R.W. Swain, Central facilities location, *Geogr. Anal.* 2, 30-42, 1970.
- Taşkent, M. C., & DELİCE, E. K., Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 863-868, 2021.
- Murray, A. T., Tong, D., & Grubestic, T. H., Spatial optimization: expanding emergency services to address regional growth and development. In *Studies in Applied Geography and Spatial Analysis*, Edward Elgar Publishing, 109-122, 2012.
- Liu, N., Huang, B., Chandramouli, M., Optimal Siting of Fire Stations Using GIS and ANT Algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 20 (5), .361-369, 2006.
- J.M. Hogg, The siting of fire stations, *Oper. Res. Q.* 19, 275-287, 1968.
- D.A. Schilling, C. ReVelle, J. Cohon, D.J. Elzinga, Some models for fire protection locational decisions, *Eur. J. Oper. Res.* 5, 1-7, 1980.
- Çatay, B., Siting new fire stations in Istanbul: A risk-based optimization approach. *OR insight*, 24 (2), 77-89, 2011.
- Plane, D. R., & Hendrick, T. E., Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. *Operations Research*, 25 (4), 563-578, 1977.
- Dahooie J.H., Vanaki A.S., Firoozfar H.R., Zavadskas E.K., Čerška A., An extension of the failure mode and effect analysis with hesitant fuzzy sets to assess the occupational hazards in the construction industry, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (4), 2020.
- Tzeng G., H., Huang J.J., Multiple attribute decision making: methods and applications: CRC press, 2011.
- Gölcük İ., Interval type-2 fuzzy inference-based failure mode and effect analysis model in a group decision-making setting, *Kybernetes*, aheadof-print (ahead-of-print), 2021.