

İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde F-Fucom Yöntemi İle Kriterlerin Sıralanması

Gül USLU^{1*} ve Babek ERDEBİLLİ²

¹İş Sağlığı ve Güvenliği / Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sinop Üniversitesi, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

*(guslu@sinop.edu.tr)

Özet – Yangınlar saniyeler içinde kontrol altına alınamazsa can ve mal kaybına neden olurlar. Bu nedenle yangına en kısa sürede müdahale etmek oldukça önemlidir. İtfaiyecilerin olay yerine en kısa sürede ulaşmaları ve gerekli müdahaleleri yapmaları için itfaiye istasyonlarının yer seçimi oldukça önemlidir. Yapılan literatür araştırmaları sonucu itfaiye yer seçimi için bazı kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin değerlendirildiği problemlerin etkin bir şekilde çözümü için Çok Kriterli Karar Verme yöntemi kullanılmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemi, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için ve ağırlıkların sıralanması için kullanılan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır.

Bu çalışmada ağırlıkların sıralanması yöntemlerinden biri olan F-FUCOM (Fuzzy Full Consistency Method- Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi) kullanılmıştır. Konuyla ilgili uzmanların görüşüyle 6 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler ağırlıklarına göre sıralanmıştır. Daha sonra F-FUCOM yöntemine göre karşılaştırılmalı tercihler yapılmış ve ardından en uygun bulanık ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen bulanık ağırlıklardan kesin ağırlık değerleri hesaplanmış ve kriterlere ait son ağırlık değerlerine bakılarak en uygun itfaiye istasyonu yer seçimi için öneride bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – İtfaiye Yer Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, F-FUCOM, Kriter Ağırlıkları, Bulanık Ağırlık

I. GİRİŞ

Potansiyel yangın riski olan yerlerde ve özellikle yangın tehlikesi yüksek olan kentsel alanlarda itfaiye istasyonlarının yer seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca bir yangın kazası 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];[2]; [3]; [4]; [5]; [6]. 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 kullanarak daha karmaşık yöntemler geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemler hesap karışıklığına yol açmaktadır. Bu karışıklığı gidermek için itfaiye istasyon yeri belirlerken bilgisayar programlama modelleri kullanılmaya başlanmıştır [5]. Birbirleri ile çelişen bu kriterlerin çokluğu ve karışıklığı nedeniyle belirsiz bir ortamda çok fazla alternatif içinden seçim yapılması nedeni ile araştırmacılar tarafından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Fakat bu yöntemlerin kriter sayısı fazlalığından ikili karşılaştırma yapmada zorluk çekilmesi gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için ikili karşılaştırmanın daha az kullanıldığı ve

güvenilir sonuçlara ulaşıldığı yöntemler geliştirilmiştir. Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin sayısallaştırılması için Zadeh (1965)[7] tarafından Bulanık kümeler teorisi geliştirilmiştir. Plane ve Hendrick (1977) [2]'in yaptığı çalışmada Colorado'da bir itfaiye istasyonunun konuşlandırıldığını ve bir kapsama müdahale standardının kullanımını detaylandırmıştır.

Reilly ve Mirchandani (1985) [8] ise New York, Albany'deki itfaiye istasyonu konumuna bakarak, maksimum müdahale standardının yanı sıra potansiyel talebe erişilebilirliği en üst düzeye çıkarma ihtiyacını vurgulamıştır.

1998 yılında Badri ve diğerlerinin [1] yaptıkları çalışmada hizmet verilecek bölgelere olan mesafe ve seyahat süresinin yanısıra maliyet ile ilgili hedeflerde dikkate alınarak tam sayılı hedef programlama tekniği kullanmıştır.

Yang ve Jones 2007'de [9] bulanık çok amaçlı bir programlama modeli ile genetik algoritmanın birleşiminden oluşan bir çözüm yöntemi önermiştir.

Şen vd. (2011) [10] ise 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.

2012 yılında Siamidoudaran [11], CBS ve Python programlama dili kullanarak Girne şehri için itfaiye yeri seçimi için bir model önerisinde bulunmuştur.

Chaudhary (2016)'de [12], 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

En güvenilir ve en doğru sonuca yaklaşabilmek için bu çalışmada bu yöntemlerden biri olan FUCOM (Full Consistency Method- Tam Tutarlılık Yöntemi) kullanılarak itfaiye istasyonu yer seçimi için kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

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

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.

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 istasyonundan gelen müdahalenin mekansal doğası, konumsal yer seçimi ile ilgili giderek artan sayıdaki çalışmalarda yansıtılmaktadır.

Bu çalışmaların karakteristik özellikleri, mümkün olan en iyi sistem performansını sağlamak için itfaiye istasyonlarının nereye yerleştirilmesi gerektiğine ilişkin optimizasyon modellerinin kullanılmasıdır.

Yangından korunma ve istasyonların konumlandırılması ile ilgili çeşitli farklı hususlar vardır. İtfaiye istasyonu yerleştirme kararlarını desteklemek için güvenilebilecek birçok alternatif ve tamamlayıcı modelleme yaklaşımı bulunmaktadır. İtfaiye istasyonu yerleştirme çabalarının amacı mevcut hizmet sunumunu tamamlamak ve geliştirmek için bir veya daha fazla ek istasyon yerleştirmektir. 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 [13].

FUCOM YÖNTEMİ

FUCOM yöntemi tüm kriterlerin ağırlık katsayıları karar vericiler tarafından belirli bir düzeyde karşılaştırma yapılarak tutarlılık koşulunu sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem Doğrusal Programlama temeline dayanır. Ağırlık katsayılarında en uygun değerlerinin sağlanması için, kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkileri kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması ve matematiksel geçişlilik koşullarına dayanılması gerekmektedir. Daha sonra, model için gerekli kısıtlamalar belirlenir ve model çözülür. Sonuçta en uygun (optimum) ağırlıklı değerler ve tam

tutarlılık sapmaları (TTS) elde edilir. Bu sapmaların derecesi, ağırlık katsayıları kriter tahminlerinin karşılaştırmalı önceliklerinden elde edilen sapma derecesidir ve güvenilir olduğunun göstergesidir.

Bu yöntemin diğer ağırlıklandırma yöntemlerine göre bazı temel avantajları bulunmaktadır:

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

Dragan Pamucar ve diğerlerine (2020) [14] 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.

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

burada k kriter sıralamasıdır.

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

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

Burada $k=1,2,3,\dots,n$; φ , $c_j(k)$ 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.

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

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

$$\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)} \text{ elde edilir.}$$

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:

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \dots \dots \dots (\text{Eşitli}$$

k 4)

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

sağlandığında, bu şekilde tam tutarlılıktan sapma (DFC) yanıtlanır yani;

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

$$\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi \text{ koşulunun}$$

gerçekleşmesi gereklidir.

Değerlendirmenin son ağırlıklı katsayı değerlerinin tanımlandığı son model, Eşitlik 5’te gösterilen tanımlı veri setlerine dayanır:

Min χ

$$\left| \frac{w_j^{(k)}}{w_j^{(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi; \forall j$$

$$\left| \frac{w_j^{(k)}}{w_j^{(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi; \forall j \dots \dots \dots \text{Eşitlik 5}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1; \forall j$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

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

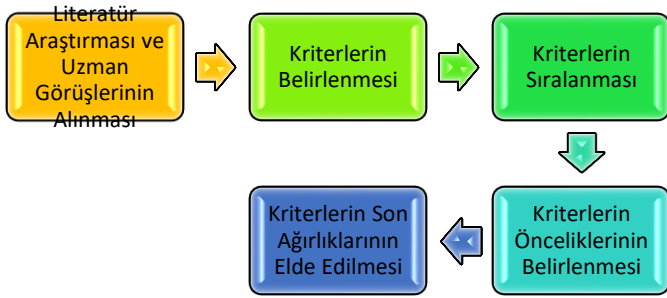
İşlemlerin kesin sayılarla yapılması nedeniyle FUCOM yöntemi insan düşüncelerini analiz etmekte başarılı olmadığı için Dragan Pamucar ve Ecer (2020) [14] tarafından bu yöntem bulanık mantığa taşınarak FUCOM-F yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde kriterlerin ikili karşılaştırılması için Tablo 1’de karar vericilerin kullanacağı dilsel değerler ve üçgen bulanık sayılarla tanımlanan ölçek verilmiştir.

Tablo 1. Bulanık Dilsel Ölçek [15]

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)

YÖNTEM

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



Şekil 1. İş Akış Şeması

Detaylı literatür araştırması ve uzman görüşlerinin alınmasından sonra 6 adet kriter belirlenmiştir (Şekil 2)



Şekil 2. İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde Kullanılacak Kriterler

İtfaiye istasyonu yer seçimi için kriterler belirlendikten sonra bulanık dilsel ölçek kullanarak önem sırasına göre sıralanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Kriterlerin bulanık dilsel ölçek kullanarak önem sırasına göre sıralanması

Kriter	Üyelik İşlevi
C ₁	AÖ (3,5; 4; 4,5)
C ₅	ÇÖ (2,5; 3; 3,5)
C ₂	OÖ (1,5; 2; 2,5)
C ₃	OÖ (1,5; 2; 2,5)
C ₄	BÖ (0,67; 1; 1,5)
C ₆	BÖ (0,67; 1; 1,5)

Kriterler: C₁ > C₅ > C₂ = C₃ > C₄ = C₆

Kriterler sıralandıktan sonra Üçgen bulanık sayılar kullanılarak 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.

Kriterlerin karşılaştırmalı tercihi şöyledir:

$$\varphi_{C_1/C_5} = (3,5; 4; 4,5)/(2,5; 3; 3,5) = (1; 1,33; 1,8)$$

$$\varphi_{C_5/C_2} = (2,5; 3; 3,5)/(1,5; 2; 2,5) = (1; 1,5; 2,33)$$

$$\varphi_{C_2/C_3} = (1,5; 2; 2,5)/(1,5; 2; 2,5) = (0,6; 1; 1,67)$$

$$\varphi_{C_3/C_4} = (1,5; 2; 2,5)/(0,67; 1; 1,5) = (1; 2; 3,73)$$

$$\varphi_{C_4/C_6} = (0,67; 1; 1,5)/(0,67; 1; 1,5) = (0,45; 1; 2,24)$$

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.

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

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

Geçişlilik vektörü kullanılarak;

$$w_{C_1/C_2} = (3,5; 4; 4,5)/(1,5; 2; 2,5) = (1,4; 2; 3)$$

$$w_{C_5/C_3} = (2,5; 3; 3,5)/(1,5; 2; 2,5) = (1; 1,5; 2,33)$$

$$w_{C_2/C_4} = (1,5; 2; 2,5)/(0,67; 1; 1,5) = (1; 2; 3,73)$$

$$w_{C_3/C_6} = (1,5; 2; 2,5)/(0,67; 1; 1,5)$$

$$= (1; 2; 3,73)$$

En sonunda kriterlerin önem ağırlıklarını elde etmek için doğrusal olmayan model kurulmuş ve LİNGO 19.0 kullanılarak çözülmüştür.

$$\frac{w_1^l}{w_5^u} - 1; \frac{w_1^m}{w_5^m} - 1,33; \frac{w_1^u}{w_5^l} - 1,8$$

$$\frac{w_5^l}{w_2^u} - 1; \frac{w_5^m}{w_2^m} - 1,33; \frac{w_5^u}{w_2^l} - 2,33$$

$$\frac{w_2^l}{w_3^u} - 0,6; \frac{w_2^m}{w_3^m} - 1; \frac{w_2^u}{w_3^l} - 1,67$$

$$\frac{w_3^l}{w_4^u} - 1; \frac{w_3^m}{w_4^m} - 2; \frac{w_3^u}{w_4^l} - 3,73$$

$$\frac{w_4^l}{w_6^u} - 0,45; \frac{w_4^m}{w_6^m} - 1; \frac{w_4^u}{w_6^l} - 2,24$$

$$\frac{w_1^l}{w_2^u} - 1,4; \frac{w_1^m}{w_2^m} - 2; \frac{w_1^u}{w_2^l} - 3$$

$$\frac{w_5^l}{w_3^u} - 1; \frac{w_5^m}{w_3^m} - 1,5; \frac{w_5^u}{w_3^l} - 2,33$$

$$\frac{w_2^l}{w_4^u} - 1; \frac{w_2^m}{w_4^m} - 2; \frac{w_2^u}{w_4^l} - 3,73$$

$$\frac{w_3^l}{w_6^u} - 1; \frac{w_3^m}{w_6^m} - 2; \frac{w_3^u}{w_6^l} - 3,73$$

$$w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u; \forall j=1,2,\dots,6$$

$$w_j^l, w_j^m, w_j^u \geq 0; \forall j=1,2,\dots,6$$

Kriterlerin ağırlıkları;

$$w_1 = (0.2939350; 0.2939350; 0.2939350)$$

$$w_2 = (0.1126100; 0.1698248; 0.1773003)$$

$$w_3 = (0.1307007; 0.1416413; 0.1416413)$$

$$w_4 = (0.04972782; 0.09367797; 0.09367797)$$

$$w_5 = (0.1379002; 0.2553757; 0.2755929)$$

$$w_6 = (0.05022948; 0.08498605; 0.08498605)$$

Bulanık ağırlıklardan kesin değerli ağırlıklara ulaşmak için;

$$w_{K_j} = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6}$$

$$K_1 = 0.2939350 \cong \%29$$

$$K_2 = 0,161535 \cong \%16$$

$$K_3 = 0,13981787 \cong \%14$$

$$K_4 = 0,0863529 \cong \%09$$

$$K_5 = 0,23916598 \cong \%24$$

$$K_6 = 0,079193288 \cong \%08$$

Kriterlerin tutarlılık sapması 0.04571463 olarak hesaplanmıştır.

III. SONUÇLAR

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, Dragan Pamucar ve Ecer tarafından geliştirilen FUCOM-F yöntemiyle itfaiye istasyonu kurulması için belirlenen kriterlerinin optimum ağırlıkları hesaplanarak yorumlanmıştır.

Çalışmada ilk olarak literatür araştırması ve uzman görüşleri alınarak itfaiye istasyonlarının kurulması için 6 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 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Kriterlerin Son Ağırlıkları

Ana Kriter Ağırlıkları
C ₁ (%29)
C ₅ (%24)
C ₂ (%16)
C ₃ (%14)
C ₄ (%9)
C ₆ (%8)

Sonuç olarak 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 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.

Yapılan bu çalışmada, 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.

- consistency method–FUCOM-F. Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering, 18(3), 419-437.
- [15] Guo, S. ve Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decisionmaking method and its applications. Knowledge-Based Systems, 121, 23- 31.

KAYNAKLAR

- [1] Valinsky, D. (1955). Symposium on applications of operations research to urban services—a determination of the optimum location of fire-fighting units in New York City. *Journal of the Operations Research Society of America*, 3(4), 494-512.
- [2] Plane, D. R., & Hendrick, T. E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. *Operations Research*, 25(4), 563-578.
- [3] Badri, M. A., Mortagy, A. K., & Alsayed, C. A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research*, 110(2), 243-260.
- [4] Tzeng, G. H., & Chen, Y. W. (1999). The optimal location of airport fire stations: a fuzzy multi-objective programming and revised genetic algorithm approach. *Transportation Planning and Technology*, 23(1), 37-55.
- [5] Hewitt, R.L., 2002. Siting a Fire Station by Leveraging Soft Constraints and Supporting Science. *Interfaces*, 32(4), pp.69-74
- [6] Liu, N., Huang, B., & Chandramouli, M. (2006). Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. *Journal of computing in civil engineering*, 20(5), 361-369.
- [7] Zadeh LA. Fuzzy sets. *J Inf Control* 1965;8:338–353.
- [8] Reilly, J. M., & Mirchandani, P. B. (1985). Development and application of a fire station placement model. *Fire technology*, 21(3), 181-198.
- [9] Yang, L., Jones, B. F., & Yang, S. H. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 903-915.
- [10] Şen, A., Önden, İ., Gökgoza, T., Şen, C., A GIS approach to fire station location selection. In Conference: GI4DM 2011 GeoInformation For Disaster Management
- [11] Siamidoudaran, Meisam. Emergency Service Location Study for Kyrenia City in Cyprus. Diss. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ), 2012.
- [12] Chaudhary, P., Chhetri, S. K., Joshi, K. M., Shrestha, B. M., Kayastha, P., 2016, 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
- [13] Murray, A. T. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. *Fire Safety Journal*, 62, 64-71.
- [14] Pamucar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full