

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENTEĞRE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ VE  
HEDEF PROGRAMLAMA İLE EN UYGUN İTFAİYE YERİ  
SEÇİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Melek NUR ALKAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Halil İbrahim DEMİR**

**Haziran 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENTEĞRE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ VE  
HEDEF PROGRAMLAMA İLE EN UYGUN İTFAİYE YERİ  
SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melek NUR ALKAN

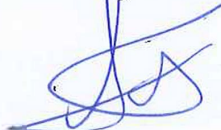
Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi  
Halil İbrahim DEMİR  
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi  
Alper KIRAZ  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Gökhan TUNÇ  
Üye



## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Melek NUR ALKAN

11.06.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca emeği geçen Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü tüm öğretim görevlilerine;

Bu çalışmayı hazırlamam sırasında değerli bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Halil İbrahim DEMİR'e,

Tez çalışmam sırasında gerekli verilere ulaşmamı sağlayan Hakan YANAK ve Ertan KURU başta olmak üzere Sakarya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığına,

Ayrıca her zaman olduğu gibi, yüksek lisans eğitimin boyunca da manevi desteğini esirgemeyen canım eşim ve sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| TEŞEKKÜR .....   | i   |
| İÇİNDEKİLER .....  | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....  | iv  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....   | v   |
| TABLOLAR LİSTESİ .....   | vi  |
| ÖZET .....   | vii |
| SUMMARY .....  | vii |
| BÖLÜM 1.   |     |
| GİRİŞ .....  | 1   |
| BÖLÜM 2.   |     |
| İTFAİYE YERİ SEÇİMİ VE LİTERATÜRDE KULLANILAN YÖNTEMLER..                      | 2   |
| BÖLÜM 3.   |     |
| İTFAİYE YERİ SEÇİMİNDE KULLANILAN ÇOK KRİTERLİ KARAR<br>VERME YÖNTEMLERİ ..... | 5   |
| 3.1. TOPSIS Yöntemi .....  | 5   |
| 3.1.1. TOPSIS yönteminin aşamaları .....                                       | 6   |
| 3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi .....  | 8   |
| 3.2.1. Analitik hiyerarşi prosesi yönteminin aşamaları .....                   | 9   |
| 3.3. Hedef Programlama .....   | 11  |

## BÖLÜM 4.

|  |    |
|--|----|
| UYGULAMA .....   | 13 |
| 4.1. Problemin Belirlenmesi .....  | 13 |
| 4.2. Mevcut Durum Analizi ve Alternatiflerin Tanımlanması.....                         | 14 |
| 4.3. Önerilen Çözüm Yöntemi .....  | 14 |
| 4.4. İtfaiye İstasyonu Kurulumu İçin Etkili Olan Kriterlerin Belirlenmesi              | 15 |
| 4.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....   | 18 |
| 4.6. Karar Matrisinin Oluşturulması .....  | 21 |
| 4.7. TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması .....                              | 21 |
| 4.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile Alternatiflerin<br>Ağırlıklandırılması ..... | 29 |
| 4.9. Hedef Programlama Yöntemi ile En Uygun Mahallenin Seçilmesi ....                  | 31 |

## BÖLÜM 5.

|                 |    |
|-----------------|----|
| SONUÇ .....     | 42 |
| KAYNAKLAR ..... | 44 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 47 |

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.1. Analitik hiyerarşi prosesinin genel yapısı.....                 | 9  |
| Şekil 4.1. İtfaiye yeri seçimi problemine ait akış şeması.....             | 13 |
| Şekil 4.2. Optimum itfaiye yeri seçimi için dikkate alınan kriterler ..... | 15 |
| Şekil 4.3. Ana kriterlerin expert choice ile karşılaştırılması .....       | 20 |
| Şekil 4.4. 1.Karar vericiye ait ikili karşılaştırma matrisi örneği .....   | 30 |



## TABLolar LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo 3.1. AHP değerlendirme ölçeği.....   | 10 |
| Tablo 3.2. İkili karşılaştırma matrisi .....   | 10 |
| Tablo 4.1. Serdivan ilçesinde bulunan mahalleler ve kısaltmaları .....                           | 14 |
| Tablo 4.2. Ana kriterler ve alt kriterlere ait kısaltmalar .....                                 | 17 |
| Tablo 4.3. 1. Karar verici tarafından doldurulan kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi..... | 19 |
| Tablo 4.4. 2. Karar verici tarafından doldurulan kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi..... | 19 |
| Tablo 4.5. Kriterler ağırlıkları.....  | 20 |
| Tablo 4.6. Karar matrisi.....  | 21 |
| Tablo 4.7. Normalize karar matrisi.....  | 22 |
| Tablo 4.8. Ağırlıklı normalize karar matrisi.....  | 24 |
| Tablo 4.9. İdeal ve negatif ideal çözümün olduğu noktalar.....                                   | 25 |
| Tablo 4.10. İdeal çözüme uzaklıklar matrisi.....   | 25 |
| Tablo 4.11. Negatif ideal çözüme uzaklıklar matrisi.....   | 27 |
| Tablo 4.12. İdeal çözüme olan görelilikler.....  | 28 |
| Tablo 4.13. TOPSIS yöntemi ile sıralanarak seçilen en yüksek puanlı mahalleler.                  | 29 |
| Tablo 4.14. Alternatif mahalle ağırlıklarının geometrik ortalaması.....                          | 31 |
| Tablo 4.15. Hedef programlama modeli.....  | 32 |
| Tablo 4.16. Her mahalle için nüfus ve geçmiş yangın sayılarına ait veriler.....                  | 39 |
| Tablo 4.17. İtfaiye istasyonu kuruluşu için aday mahalleler ve mevcut itfaiyeler                 | 39 |

## ÖZET

Anahtar kelimeler: İtfaiye Yeri Seçimi, TOPSIS, Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP), Hedef Programlama

İtfaiyeler acil durumlara müdahale edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Nüfus ve kentleşmenin artması ile mevcut itfaiye istasyonları, sayısı veya yerleşimi sebebi ile müdahale hızında yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada seçilen bölgede itfaiye istasyonları için en uygun noktaların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Optimum noktaların belirlenmesi için öncelikle belirlenen bölgedeki mahalleler TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve aday noktalar seçilmiştir. TOPSIS puanı en yüksek olan 8 aday nokta, AHP ile ikili karşılaştırılmış ve 8 aday noktaya ait AHP puanları belirlenmiştir. Belirlenmiş olan aday noktalar için; belirli kısıtlar çerçevesinde, tanımlanmış olan hedefleri sağlamak üzere hedef programlama modeli kurularak çözülmüş ve itfaiye istasyonları kurulumu için en uygun nokta/noktalar belirlenmiştir.

# **MOST APPROPRIATE FIRE STATION LOCATION SELECTION WITH INTEGRATED MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUE AND GOAL PROGRAMMING**

## **SUMMARY**

Keywords: Fire Station Location Selection, TOPSIS, Analytic Hierarchy Process (AHP), Goal Programming

Fire stations play an important role in intervention to emergency cases. With the increase in population and urbanization, the existing fire stations can be insufficient in the speed of intervention due to the number or location. In this study, it is aimed to determine the most appropriate locations for fire stations in the selected region.

In order to determine the optimum points, the neighbourhoods in the designated region were sorted by TOPSIS method and candidate points were selected. 8 candidate points with the highest TOPSIS score were compared with AHP and AHP scores for 8 candidate points were determined. For nominated points; within the framework of certain constraints, the goal programming model has been set up to provide the defined goals and the most suitable point/points have been determined for the installation of the fire stations.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yangın, kaza ve afet gibi acil durumlarda müdahale süresi hayati önem taşımaktadır. Bu gibi durumlarda mümkün olduğunca hızlı müdahale edebilmek için itfaiye istasyonu gibi acil müdahale noktaları yakın konumda bulunmalıdır. Her ne kadar iyi planlansalar ve en uygun noktalara kurulmuş olsalar da, başta nüfus artışı olmak üzere, çeşitli sebepler nedeni ile zaman içerisinde itfaiye istasyonları yetersiz kalmaktadırlar. Bunun önüne geçebilmek için belirli dönemlerde hizmet sürelerinin etkinliklerini kontrol etmek ve eğer yeterli değil ise optimum noktalar planlanarak yeni istasyonların kurulması faydalı olabilir.

Bu çalışmada ise Sakarya ili değerlendirilmeye alınmıştır. Öncelikle Sakarya ilinde bulunan mevcut itfaiye istasyonları ve ihbar anında yangına müdahale edebilme süreleri incelenmiştir. Mevcut itfaiyelerin, sanayileşme, nüfus artışı ve yapılaşmanın artması sebebi ile şehrin ihtiyacını karşılamakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Son yıllardaki nüfus artış hızı sebebi ile çalışma için Serdivan ilçesi seçilmiştir. Yapılan çalışma ile, hizmet verilme konusunda yetersiz kalınan Serdivan ilçesinde yeni itfaiye istasyonu kurulması için lokasyon önerisinde bulunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. İTFAİYE YERİ SEÇİMİ VE LİTERATÜRDE KULLANILAN YÖNTEMLER**

İtfaiye yeri seçiminin amacı; mevcut bölgelerin hizmet alma düzeyini eniyileyecek şekilde itfaiye istasyonu kurulabilecek bölgenin seçilmesidir. Günümüzde artan nüfus ve yapılaşma ile birlikte itfaiye hizmetinin mümkün olduğunca hızlı bir şekilde verilmesi gitgide önem kazanmaktadır. Nüfusun artması sebebi ile kalabalıklaşan yaşam alanlarında yangın çıkma riski artmakta ve yangın, etkilenen nüfus için hayati bir önem arz etmektedir. Bu sebeple itfaiye yerinin etkin bir şekilde planlanması için itfaiye yeri seçimi son yıllarda oldukça fazla çalışılan bir konu haline gelmiştir.

Badri vd. tam sayılı hedef programlama tekniği kullanarak yaptığı çalışmasında, itfaiye yeri seçimi problemine çok kriterli bir modelleme bakış açısı getirmiştir. Çalışmada istasyonlardan, hizmet verilecek bölgelere olan mesafe ve seyahat süresinin yanısıra maliyet ile ilgili hedeflerde dikkate alınmıştır [1].

Şen vd. coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve çok amaçlı programlama modeli kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada İstanbul ili için itfaiyelerin tepki süresini azaltma, kapsama alanını artırma ve toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlamaktadırlar. Çalışmada ayrıca deprem riskinin yüksek olduğu alanlar ve şehrin trafik yoğunluğu da dikkate alınmıştır [2].

Siamidoudaran da Girne şehri için CBS ve Python programlama dili kullanarak itfaiye yeri seçimi için bir model önerisinde bulunmuştur [3].

Aktaş vd. ise İstanbul için ek bir itfaiye yeri belirlenmesinde yardımcı olacak küme örtüleme yöntemi kullanılan bir model önerisinde bulunmuştur [4].

Chaudhary, Nepal'in Katmandu şehrindeki itfaiye merkezlerini yollara uzaklık, arazi örtüsü, nehirlere olan mesafe ve nüfus yoğunluğu şeklinde dört farklı kriter bakımından AHP yöntemi ile incelemiş ve CBS ile entegre ederek mevcut itfaiye istasyonlarına ek olarak yeni itfaiye istasyonu için öneride bulunmuştur [5].

Liu, Huang ve Chandramouli ise yaptıkları çalışmada coğrafi bilgi sistemi ve karınca koloni algoritmasını entegre ederek itfaiye yeri seçimi için çok amaçlı bir algoritma önerisinde bulunmuşlardır [6].

Yang ve Jones, bulanık çok amaçlı bir programlama modeli ile genetik algoritmanın birleşiminden oluşan bir çözüm yöntemi önermiş ve bu yöntemde karar vericinin belirsizliği ile çeşitli yangın riskine sahip alanlardan gelen talepleri tam olarak dikkate almıştır [7].

Erden ve Coşkun, itfaiye istasyonu yer seçimi için dikkate alınacak kriterleri belirledikten sonra, AHP ile kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yapıp CBS ile entegre ederek itfaiye yeri seçiminde karar vericilere destek olacak bir sistem tasarımı yapmışlardır [8]. Aynı şekilde; Lai, Liu ve Chen de yaptıkları çalışmada itfaiye istasyonu yeri seçimi problemini AHP ve CBS yi entegre ederek çözmüşlerdir [9].

Çatay'da itfaiye istasyonu yer seçimi için dikkate alınacak kriterleri belirlemiş, ancak bu kriterler ile öncelikle ele alınan bölgenin yangın risk haritasını oluşturmuştur. Risk haritasına göre risk sınıfları belirlemiş ve her risk sınıfı için farklı müdahale süreleri tanımlayarak problemi tam sayılı programlama yöntemi ile çözmüştür [10].

Church ve ReVelle, yaptıkları çalışmada acil servis ve itfaiye yeri seçimi problemleri gibi tesis sayısı kısıtlı olan problemlerde, bölgenin tamamına belirlenen süre kısıtlı içerisinde hizmet verilemediği durumlarda, hizmet verilen nüfus sayısını maksimuma çıkarmayı hedefleyen bir model önerisinde bulunmuştur [11].

Plane ve Hendrick, yangın söndürme kabiliyetinde bir azalma olmadan yıllık maliyetleri azalmayı hedefleyen, bir yer seçimi modeli önermiştir [12].

Tzeng ve Chen itfaiye yeri seçim probleminin farklı bir konusu olarak havalimanı içerisindeki itfaiye yeri seçimi konulu bir çalışmada bulunmuş, problemin çözümünü genetik algoritma ile yapmıştır [13].

Yapılan literatür araştırması sonucunda görüldüğü üzere itfaiye yeri seçimi problemi, AHP, genetik algoritma, çok amaçlı programlama yöntemlerinin CBS ile entegre edilmesi gibi farklı yöntemlerle çözülmüştür. Bu çalışmada ise itfaiye yeri seçimi yapılacak bölgedeki alternatif mahalleler, geniş bir mahalle ağı üzerinde AHP uygulandığında sağlıklı sonuçlar elde edilemeyeceği için, öncelikle TOPSİS yöntemi ile sıralanmıştır. En yüksek puanı alan 8 alternatif mahalle ikinci aşamada AHP ile değerlendirilmek için seçilmiştir. İtfaiye yeri seçimi için kullanılan kriterler göz önünde bulundurularak alternatif mahalleler ikili olarak karşılaştırılmış, AHP ile puanlaması yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise hedef programlama ile en uygun itfaiye yeri bulunmuştur.

## **BÖLÜM 3. İTFAİYE YERİ SEÇİMİNDE KULLANILAN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ**

### **3.1. TOPSIS Yöntemi**

TOPSİS ( Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), 1980'li yıllarda Hwang ve Yoon'un geliştirmiş olduğu bir çok kriterli karar verme yöntemidir. [14]. Alternatifler arasından en iyinin seçimi için kullanılan TOPSİS; kolay uygulanabilirliği ve yorumlanabilirliği sayesinde birçok farklı alandaki probleme uyum sağlayarak, karmaşık konular üzerinde karar vermede kullanılabilir. [15].

TOPSIS yönteminin sıkça kullanılması en büyük sebeplerinden birisi de, karar vericinin kişisel fikrine çok fazla ihtiyaç duymamasıdır. Bu yöntemde karar vericinin fikrine yalnızca faktör ağırlıklarının belirlenmesi sırasında ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca TOPSIS yöntemi basit ve anlaşılır olması sebebi ile her bir alternatifin göreceli performansının ölçümü sırasında kolay bir şekilde, kullanılabilir. [15].

TOPSIS yönteminde, karar verme sonucu seçilen alternatif, ideal çözüme yakın olmalı ve ideal olmayan çözüme (negatif ideal) de uzak olmalıdır [16]. Eğer, amaç maksimizasyon ise ideal çözüm, olası çözümler arasından maksimum, negatif ideal çözüm ise olası çözümler arasından minimum olanıdır. Amaç minimizasyon olduğunda ise tam tersi bir yol izlenmektedir [17].



### 3.1.1 TOPSIS yönteminin aşamaları

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Başlangıç matrisi olan karar matrisinin, satır kısmında en iyi kararı belirleyecek şekilde sıralamak istenilen n adet alternatif nokta bulunmaktadır. Sütun kısmında ise karar verme sırasında değerlendirme için kullanılacak olan m adet kriter yer almaktadır (Denklem 3.1).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin (Y) Hesaplanması

Bu adımda birbirinden farklı ölçeklere sahip değerlerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için karar matrisi normalize edilmelidir. Matrisin normalize edilmesi için kullanılan formül Denklem 3.2'deki şekildedir :

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} \quad i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

Tüm değerlerin normalize edilmesi ile elde edilen matris Denklem 3.3'teki gibidir :

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{n1} & \cdots & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

### Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada AHP yönteminden yararlanılarak karar verici tarafından her bir değerlendirme faktörüne ait ağırlık ( $w$ ) belirlenir. Normalize karar matrisinde bulunan her eleman ( $y_{ij}$ ), ilgili faktörün ağırlığı ( $w_j$ ) ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi bulunur (Denklem 3.4) [18].

$$V = \begin{bmatrix} w_1 y_{11} & w_2 y_{12} & \cdots & w_m y_{1m} \\ w_2 y_{21} & w_2 y_{22} & \cdots & w_m y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_1 y_{n1} & \cdots & \cdots & w_m y_{nm} \end{bmatrix} \longrightarrow V = \begin{bmatrix} v_{11} & v & \cdots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ v_{n1} & \cdots & \cdots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

### Adım 4: İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

Ağırlıklı normalize karar matrisinin her bir sütunundaki en iyi performans değerleri ideal çözümü (Denklem 3.5), en kötü performans değerleri ise negatif ideal çözümü (Denklem 3.6) vermektedir [19].

İdeal çözüm;

$$A^+ = \{(\max v_{ij} \mid j \in J), (\min v_{ij} \mid j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.5)$$

Negatif ideal çözüm;

$$A^- = \{(\min v_{ij} \mid j \in J), (\max v_{ij} \mid j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

### Adım 5: İdeal ve Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıkları Hesaplanması

Her bir değer, ideal ( $S^*$ ) ve negatif ideal ( $S'$ ) çözüm noktalarına uzaklıklarının bulunabilmesi için öklid uzaklık yönteminden yararlanılmıştır. (Denklem 3.7 ve Denklem 3.8) Her bir alternatif için, değerlendirme faktörlerinin tümünün, ideal çözüm ile negatif ideal çözüme olan uzaklıkları bulunarak toplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (3.7)$$

$$S_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j')^2} \quad (3.8)$$

#### Adım 6: İdeal Çözüme Olan Görelî Yakınlıkların Hesaplanması

Her alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığını, ideal çözüm ve negatif ideal çözüm toplamına bölünmesi ile ideal çözüme olan görelî yakınlıklar ( $C^*$ ) hesaplanır. İdeal çözüme olan görelî yakınlık değeri 0 ve 1 arasındadır. Değer 1 e yaklaştıkça ideal çözüme, 0 a yaklaştıkça negatif ideal çözüme olan uzaklığın mutlak değerini verir.

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i' + S_i^*} \quad (3.9)$$

#### Adım 7: Alternatiflerin Sıralanması

Bulunan ideal çözüme olan göreceli yakınlık değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında, en yüksek puan alan alternatif, TOPSIS sonucunda seçilen en uygun noktadır.

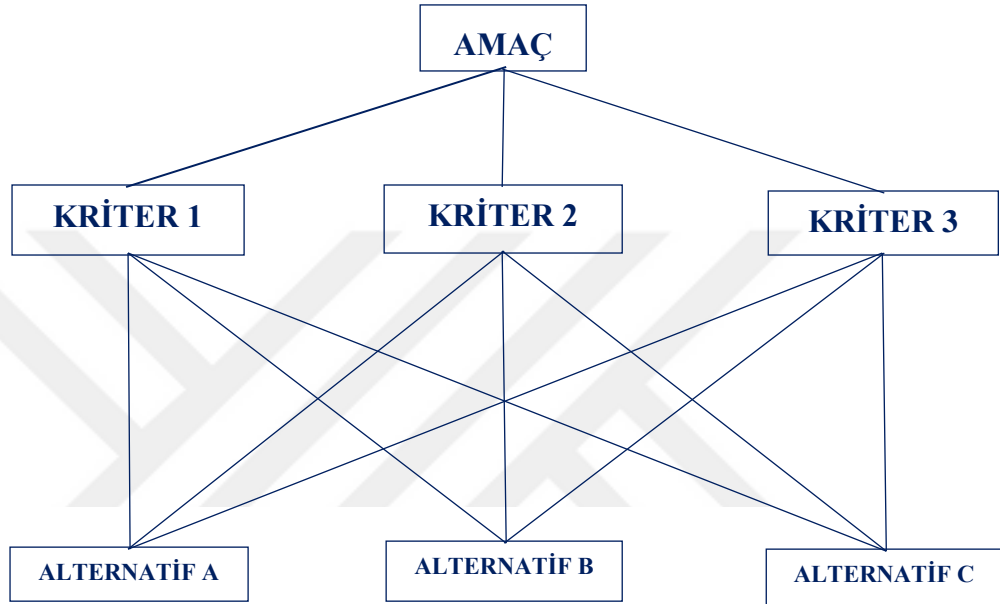
### 3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ilk kez 1970'li yıllarda Saaty tarafından kullanılan, karar verme sırasında grup ve bireyin önceliklerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren bir karar verme yöntemidir [20].

AHP, Saaty tarafından tanımlanan 3 temel aşamada oluşmaktadır. Bunlar problemin parçalara ayrılarak hiyerarşik yapının oluşturulması, karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması, önceliklerin sentezlenmesidir [21].

### 3.2.1. Analitik hiyerarşi prosesi yönteminin aşamaları

1-Hiyerarşik Yapının Oluşturulması : Problem net olarak tanımlanarak alternatifler belirlenir. Problemin çözümünde dikkate alınacak kriterlere ait hiyerarşi oluşturularak, ana kriterler ve alt kriterler oluşturulur.



Şekil 3.1. Analitik hiyerarşi prosesinin genel yapısı

2-Karşılıklı Karar Verme ve Tercih Matrisinin Oluşturulması : Bu adımda öncelikle kriterler ve alt kriterler birbirleri ile ikili olarak karşılaştırılarak kriter ağırlıkları belirlenir. Bu karşılaştırmalar sırasında önem derecelerini belirtmek için kullanılan karşılaştırma ölçeği Tablo 3.1.'deki gibidir.

Tablo 3.1. AHP değerlendirme ölçeği

| Önem Derecesi | Tanım                   |
|---------------|-------------------------|
| 1             | Eşit Derecede Önemli    |
| 3             | Biraz Daha Fazla Önemli |
| 5             | Oldukça Önemli          |
| 7             | Çok Daha Önemli         |
| 9             | Kesinlikle Daha Önemli  |
| 2,4,6,8       | Ara Değerler            |

Her bir kriter tek tek dikkate alınarak, alternatiflerin ikili karşılaştırmaları sırasında Tablo 3.1.'de belirtilen önem dereceleri kullanılarak, Tablo 3.2.'deki şekilde tercih matrisleri oluşturulur. İkili karşılaştırmaların amacı karar vermenin karmaşıklığını azaltmaktır.

Tablo 3.2. İkili karşılaştırma matrisi

|          | 1.Kriter | 2.Kriter | 3.Kriter | ... | n.Kriter |
|----------|----------|----------|----------|-----|----------|
| 1.Kriter | $k_{11}$ | $k_{12}$ | $k_{13}$ | ... | $k_{1n}$ |
| 2.Kriter | $k_{21}$ | $k_{22}$ | $k_{23}$ | ... | $k_{2n}$ |
| 3.Kriter | $k_{31}$ | $k_{32}$ | $k_{33}$ | ... | $k_{3n}$ |
| ⋮        | ⋮        | ⋮        | ⋮        | ... | ⋮        |
| n.Kriter | $k_{n1}$ | $k_{n2}$ | $k_{n3}$ | ... | $k_{nn}$ |

İkili karşılaştırma matrisleri tamamlandıktan sonra Saaty'nin özvektör yöntemine göre ağırlık vektörü hesaplanır [22].

- İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun toplamı alınır ve matrisin her elemanı ilgili sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş matris oluşturulur.
- Normalize edilmiş matrisin her bir satırının ortalaması alınır, bu değerler her bir kriterin yüzde önem ağırlıklarıdır [22].
- İkili karşılaştırmalar sırasında karar vericinin davranışının tutarlılığını ölçmek için Tutarlılık Oranı hesaplanır. Bunun için kriter sayısına bağlı olarak rassal

indeks sayıları kullanılır. Yapılan hesaplama sonucunda bulunan değer  $< 0,1$  ise tutarlıdır ve matris kullanılabilir [23].

3-Önceliklerin Sentezlenmesi: Son adımda ise her bir alternatife ait öncelik değerlerinin bulunması için, kriterlerin yüzde önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıkları çarpılır. En yüksek değere sahip olan alternatif en iyi alternatiftir [24].

### 3.3. Hedef Programlama

Son yıllardaki çalışmalarda sıkça kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan hedef programlama yöntemi 1955 yılında Charnes tarafından bulunmuş bir yöntemdir [25] [26].

Tek amaçlı problemlerde amaç fonksiyonunun optimal çözümü sırasında tek bir optimal sonuç söz konusu iken çok amaçlı problemlerde, her amaç aynı anda eniyilenemediğinden klasik yoldan optimal çözüm bulunamaz. Bunun sebebi çok amaçlı problemlerin bir çoğunda amaçların birbirleri ile çelişmesidir. Çok amaçlı problemlerin amaçlarının birbirleri ile çelişmesi nedeniyle, optimal çözüm yerine ulaşılabilen en iyi çözüme 'etkin çözüm' adı verilmektedir [27].

Hedef programlamanın en önemli özelliği, her tercihe doyurucu bir değer atayabilmesidir. Bu sayede istenmeyen sapma değerleri minimize edilir. Her bir amaç fonksiyonu belirli sayısal bir hedefi sağlayabilmek için oluşturulur ve hedef programlama ile; amaç fonksiyonları için hedefi kaçırmaktan doğan hedef sapmalarının minimizasyonu sağlanır [28].

Hedef programlama yönteminin genel formülasyonu Denklem 3.10'daki şekildedir [28] :

$$\begin{aligned}
 \min z &= \sum_{i=1}^m (d_i^- + d_i^+) \\
 \sum_{j=1}^n A_{ij}x_{ij} - d_i^+ + d_i^- &= b_i \\
 d_i^+ * d_i^- &= 0 \\
 d_i^+, d_i^-, x_{ij} &\geq 0 \\
 i &= 1,2,3, \dots m \\
 j &= 1,2,3, \dots n
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$x_j$  = j.karar değişkeni

$A_{ij}$  = i. hedefin j.karar değişkeni katsayısı

$b_i$  = i.hedef için ulaşılmak istenilen değer

$d_i^+, d_i^-$  = i. hedefin pozitif ve negatif sapma değerleri

Karar değişkenleri: Karar verici tarafından hedef programlama sonucunda değeri bulunmak istenilen değişkenlerdir.

Sapma değerleri: Hedef programlama sonucunda ulaşılmak istenilen değerden negatif ve pozitif olmak üzere ne kadar sapma yaşandığının belirtildiği değerlerdir.

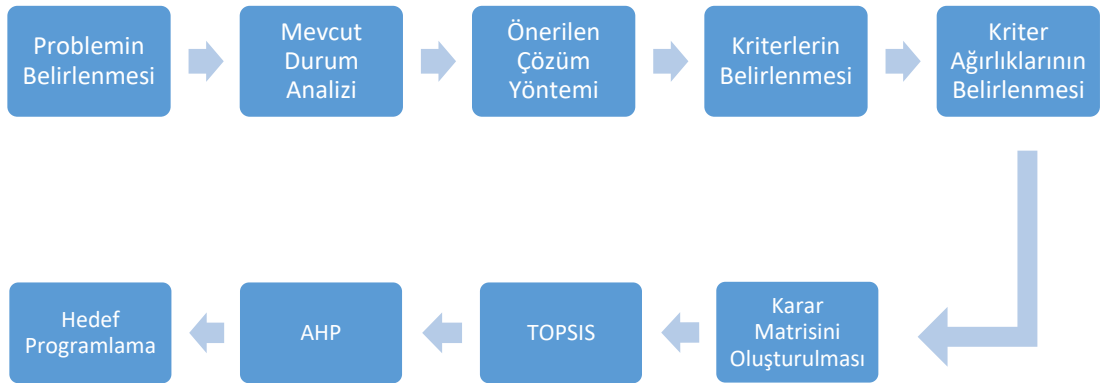
Amaç fonksiyonu: Hedeflerden sapmaların minimize edilmesinin amaçlandığı fonksiyondur.

## BÖLÜM 4. UYGULAMA

### 4.1. Problemin Belirlenmesi

Sakarya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı ile yapılan görüşmeler sonucunda Sakarya ili merkez ilçelerinde hizmet veren 4 farklı itfaiye istasyonu olduğu öğrenilmiştir. Bunlar Merkez Grubu, Dört Yol Grubu, Karaman Müfrezesi ve Güneşler Grubudur. Merkez ilçelere hizmet verme süreleri incelendiğinde Serdivan ilçesinde bazı mahallelerin hizmet alma sürelerinin fazla olduğu görülmüştür. Serdivan ilçesine hizmet veren istasyonlar Merkez Grubu, Dört Yol Grubu ve Karaman Müfrezesidir ve bunların hiç birisi Serdivan ilçesi sınırlarında bulunmamaktadır.

Probleme çözümüne ait akış şeması Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İtfaiye yeri seçimi problemine ait akış şeması



#### 4.2. Mevcut Durum Analizi ve Alternatiflerin Tanımlanması

Mevcut durumda, itfaiye aracının ortalama hızı 70km/sa dir, buna göre Serdivan ilçesinde bulunan mahallelerin %70 i, 5 dakikanın altında hizmet alamamaktadır. Yani Serdivan ilçesinde bulunan 24 mahalleden 17 sine 5 dakikanın altında hizmet götürülememektedir. Bu çalışmada belirli seçim kriterleri göz önüne alınarak, Serdivan ilçesine yeni bir itfaiye istasyonu kurulması için uygun istasyon yerleri önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada değerlendirmeye alınan Serdivan ilçesine ait 24 mahalle ve bunlar için kullanılan kısaltmalar Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Serdivan ilçesinde bulunan mahalleler ve kısaltmaları

| <b>Mahalle Adı</b> | <b>Kısaltma</b> | <b>Mahalle Adı</b> | <b>Kısaltma</b> |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Arabacıalanı Mah.  | M1              | Kemalpaşa Mah.     | M13             |
| Aralık Mah.        | M2              | Kızılcıklı Mah.    | M14             |
| Aşağıdereköy Mah.  | M3              | Köprübaşı Mah.     | M15             |
| Bahçelievler Mah.  | M4              | Kuruçeşme Mah.     | M16             |
| Beşevler Mah.      | M5              | Meşeli Mah.        | M17             |
| Beşkörü Mah.       | M6              | Orta Mah.          | M18             |
| Çubuklu Mah.       | M7              | Otuziki Evler Mah. | M19             |
| Dağyoncalı Mah.    | M8              | Reşadiye Mah.      | M20             |
| Esentepe Mah.      | M9              | Selahiye Mah.      | M21             |
| Hamitabat Mah.     | M10             | Uzunköy Mah.       | M22             |
| İstiklal Mah.      | M11             | Vatan Mah.         | M23             |
| Kazımpaşa Mah.     | M12             | Yukarıdereköy Mah. | M24             |

#### 4.3. Önerilen Çözüm Yöntemi

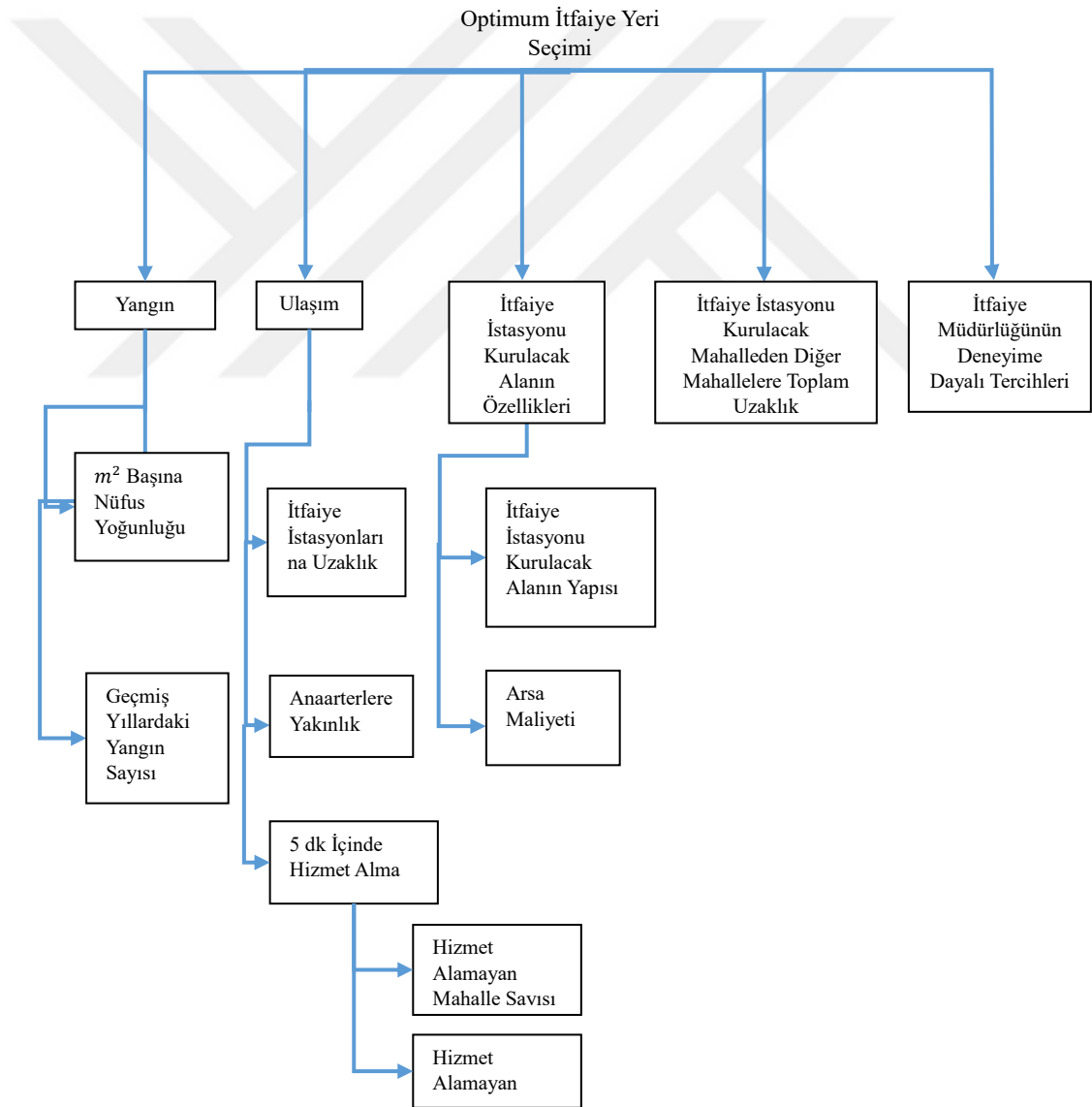
Serdivan ilçesindeki 24 mahalle belirlenen kriterler göz önünde bulunarak öncelikle TOPSIS yöntemi ile puanlanacak, en yüksek puana sahip 8 mahalle seçilecektir. Seçilen 8 mahalle, kriterler tek tek göz önüne alınarak ikili olarak karşılaştırılacak (İtfaiye müdürlüğünde deneyimli 2 karar verici tarafından), AHP yöntemi ile ağırlıklandırılacaktır. Son aşamada ise seçilen 8 mahalle arasından, AHP puanları da

göz önünde bulundurularak, hedef programlama yöntemi ile en uygun mahalle veya mahalleler seçilecektir.

#### 4.4. İtfaiye İstasyonu Kurulumu İçin Etkili Olan Kriterlerin Belirlenmesi

Problemin çözümü için etkili olan kriterler literatürde bulunan çalışmalar ve bölgenin yapısı dikkate alınarak İtfaiye Daire Başkanlığı ile birlikte belirlenmiştir.

5 ana kriter ve 9 alt kriterden oluşan kriter ağacı aşağıdaki Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Optimum itfaiye yeri seçimi için dikkate alınan kriterler

Kriterler incelenecek olursa;

Yangın Riski:  $m^2$  başına nüfus yoğunluğu ve yangın riski kriterlerinden oluşmaktadır.

$m^2$  başına nüfus yoğunluğu: Her bir mahalle nüfusu, mahalleye ait yüzölçümüne bölünerek bulunmuş olup,  $m^2$  de yaşayan kişi sayısını ifade etmektedir.

Geçmiş Yıllardaki Yangın Sayısı: 2015 – 2018 yılları arasında her bir mahallede çıkmış olan yangın sayısı.

Ulaşım: İtfaiye istasyonlarına uzaklık, anaarterlere yakınlık ve 5 dakika içinde hizmet alma kriterlerinden oluşmaktadır.

İtfaiye İstasyonlarına Uzaklık: Yeni kurulacak istasyonun, hizmet bölgeleri kesişmemesi açısından, mevcutta bulunan istasyonlara mümkün olduğunca uzak olması istenilmektedir.

Anaarterlere Yakınlık: İtfaiye çalışanlarının yangın ihbar anından itibaren hızlıca yola çıkabilmeleri için istasyon anaarterlere yakın olmalıdır.

5 dakika İçinde Hizmet Alma: İtfaiye istasyonunun her bölgeye standart olarak belirlenen 5 dakika içerisinde ulaşabilmesini ifade eder.

Hizmet Alamayan Mahalle Sayısı: İtfaiye istasyonu X noktasına kurulduğunda (diğer 3 istasyonu da göz önüne alarak) 5 dakika içerisinde hizmet alamayan mahalle sayısı.

Hizmet Alamayan Nüfus: İtfaiye istasyonu X noktasına kurulduğunda (diğer 3 istasyonu da göz önüne alarak) 5 dakika içerisinde hizmet alamayan nüfus sayısı.

İtfaiye İstasyonu Kurulacak Alanın Özellikleri: İstasyon kurulacak alanın yapısı ile arsa ve kurulum maliyeti kriterlerinden oluşur.

İtfaiye İstasyonu Kurulacak Alanı Yapısı: İstasyon kurulacak alanın yükseltisi, tarım arazisi olup olmaması gibi alan ile ilgili faktörleri ifade eder.

Arsa ve Kurulum Maliyeti: İstasyon kurulması planlanan bölgedeki arsa maliyetleri ve sabit kurulum maliyetidir. 1000 m<sup>2</sup>lik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır.

İtfaiye İstasyonu Kurulacak Mahalleden Diğer Mahallelere Toplam Uzaklık: Bir mahalleye istasyon kurulduğu düşünüldüğünde o mahalleden diğer tüm mahallelere olan toplam uzaklığı ifade eder.

İtfaiye Müdürlüğünün Deneyime Dayalı Tercihleri: İtfaiye Müdürlüğünün deneyimlerinin dikkate alınarak alternatif mahallelerin puanlanmasını ifade eder.

Problemin çözümü sırasında kullanılacak olan kriterlere karmaşanın önüne geçmek amacıyla kısaltmalar verilmiştir (Tablo 4.2.) :

Tablo 4.2. Ana kriterler ve alt kriterlere ait kısaltmalar

| <b>Ana Kriterler</b>  | <b>Kısaltmalar</b> |
|---|--------------------|
| Yangın Riski  | K1                 |
| Ulaşım  | K2                 |
| İtfaiye İstasyonu Kurulacak Alanın Özellikleri                          | K3                 |
| İtfaiye İstasyonu Kurulacak Mahalleden Diğer Mahallelere Toplam Uzaklık | K4                 |
| İtfaiye Müdürlüğünün Deneyime Dayalı Tercihleri                         | K5                 |

Tablo 4.2. (Devamı)

| Alt Kriterler                            | Kısaltmalar |
|--|-------------|
| m2 Başına Nüfus Yoğunluğu                | K1-1        |
| Geçmiş Yıllardaki Yangın Sayısı          | K1-2        |
| İtfaiye İstasyonlarına Uzaklık           | K2-1        |
| Anaarterlere Yakınlık                    | K2-2        |
| 5 dakika İçinde Hizmet Alma              | K2-3        |
| Hizmet Alamayan Mahalle Sayısı           | K2-3-1      |
| Hizmet Alamayan Nüfus                    | K2-3-2      |
| İtfaiye İstasyonu Kurulacak Alanı Yapısı | K3-1        |
| Arsa ve Kurulum Maliyeti                 | K3-2        |

#### 4.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ana kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırmaları yapılmıştır. (Yapılan tüm ikili karşılaştırmalar sırasında Sakarya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı'nda 8 ve 10 yıl deneyime sahip iki karar vericinin deneyimlerinden faydalanılmıştır.)

Tüm kriterlere ait matrisler karar verici tarafından doldurularak (Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.) kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ağırlıkların belirlenmesi sırasında Expert Choice programından yararlanılmıştır.

Tablo 4.3. 1. Karar verici tarafından doldurulan kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi

|               | K1  | K2  | K3 | K4  | K5  | K1-1 | K1-2 | K2-1 | K2-2 | K2-3 | K2-3-1 | K2-3-2 | K3-1 | K3-2 |
|---------------|-----|-----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|
| <b>K1</b>     | X   | 1/3 | 5  | 1/4 | 1/3 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K2</b>     | 3   | X   | 3  | 1   | 1/3 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K3</b>     | 1/5 | 1/3 | X  | 1/4 | 1/6 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K4</b>     | 4   | 1   | 4  | X   | 1/3 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K5</b>     | 3   | 3   | 6  | 3   | X   |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K1-1</b>   |     |     |    |     |     | X    | 1    |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K1-2</b>   |     |     |    |     |     | 1    | X    |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K2-1</b>   |     |     |    |     |     |      |      | X    | 6    | 1/2  |        |        |      |      |
| <b>K2-2</b>   |     |     |    |     |     |      |      | 1/6  | X    | 1/9  |        |        |      |      |
| <b>K2-3</b>   |     |     |    |     |     |      |      | 2    | 9    | X    |        |        |      |      |
| <b>K2-3-1</b> |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      | X      | 1/2    |      |      |
| <b>K2-3-2</b> |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      | 2      | X      |      |      |
| <b>K3-1</b>   |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      |        |        | X    | 8    |
| <b>K3-2</b>   |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      |        |        | 1/8  | X    |

Tablo 4.4. 2. Karar verici tarafından doldurulan kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi

|               | K1  | K2  | K3 | K4  | K5  | K1-1 | K1-2 | K2-1 | K2-2 | K2-3 | K2-3-1 | K2-3-2 | K3-1 | K3-2 |
|---------------|-----|-----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|
| <b>K1</b>     | X   | 3   | 6  | 2   | 1/4 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K2</b>     | 1/3 | X   | 5  | 1   | 1/2 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K3</b>     | 1/6 | 1/5 | X  | 1/8 | 1/8 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K4</b>     | 1/2 | 1   | 8  | X   | 1/3 |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K5</b>     | 4   | 2   | 8  | 3   | X   |      |      |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K1-1</b>   |     |     |    |     |     | X    | 3    |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K1-2</b>   |     |     |    |     |     | 1/3  | X    |      |      |      |        |        |      |      |
| <b>K2-1</b>   |     |     |    |     |     |      |      | X    | 4    | 1/4  |        |        |      |      |
| <b>K2-2</b>   |     |     |    |     |     |      |      | 1/4  | X    | 1/7  |        |        |      |      |
| <b>K2-3</b>   |     |     |    |     |     |      |      | 4    | 7    | X    |        |        |      |      |
| <b>K2-3-1</b> |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      | X      | 1/4    |      |      |
| <b>K2-3-2</b> |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      | 4      | X      |      |      |
| <b>K3-1</b>   |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      |        |        | X    | 4    |
| <b>K3-2</b>   |     |     |    |     |     |      |      |      |      |      |        |        | 1/4  | X    |

Karar vericilerin tutarsızlık değerleri sırası ile 0,09 ve 0,08 dir. 0,1 in altında olduğu için matrisler tutarlı kabul edilmiştir. Çözümleri tek bir çözüme dönüştürebilmek için her iki matrisin geometrik ortalaması alınmış, yeni matrisinde tutarsızlık oranı 0,03 bulunmuştur. Kriter ağırlıkları geometrik ortalama alınarak bulunan matris üzerinden hesaplanmıştır (Tablo 4.5.) (Şekil 4.3.).

Expert Choice 2000 C:\Documents and Settings\User\Desktop\düzeltilme topsis.AHP

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

Structural adjust

3:1 ABC Y-F(\*)

Yangin Riski

9 8 7 6 5 4 3 2 | 2 3 4 5 6 7 8 9

Itfaiye İstasyonu Kurulacak Mahalleden Diğer Mahallere Toplam

Compare the relative importance with respect to: Goal: Itfaiye Yeri Secimi

|                                  | Yangin Ris  | Ulasim | Itfaiye İsta: | Itfaiye İsta: | Itfaiye Mud |
|----------------------------------|-------------|--------|---------------|---------------|-------------|
| Yangin Riski                     |             | 1,0    | 6,0           | 1,0           | 3,0         |
| Ulasim                           |             |        | 3,0           | 1,0           | 2,0         |
| Itfaiye İstasyonu Kurulacak Alar |             |        |               | 6,0           | 7,0         |
| Itfaiye İstasyonu Kurulacak Mal  |             |        |               |               | 3,0         |
| Itfaiye Mudurlugunun Deneyime    | Incon: 0,03 |        |               |               |             |

Şekil 4.3. Ana kriterlerin expert choice ile karşılaştırılması

Tablo 4.5. Kriterler ağırlıkları

| Kriterler | Kriter Ağırlıkları |
|-----------|--------------------|
| K1        | 0,182              |
| K2        | 0,171              |
| K3        | 0,043              |
| K4        | 0,182              |
| K5        | 0,421              |
| K1-1      | 0,121              |
| K1-2      | 0,06               |
| K2-1      | 0,047              |
| K2-2      | 0,0115             |
| K2-3      | 0,113              |
| K2-3-1    | 0,028              |
| K2-3-2    | 0,085              |
| K3-1      | 0,037              |
| K3-2      | 0,006              |

#### 4.6. Karar Matrisinin Oluşturulması

Tüm alternatif noktalar için her alt kritere ait sayısal veriler elde edilerek karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi aşağıdaki gibidir :

Tablo 4.6. Karar matrisi

|            | K1   |      | K2   |      |        |        | K3   |         | K4    | K5 |
|------------|------|------|------|------|--------|--------|------|---------|-------|----|
|            | K1-1 | K1-2 | K2-1 | K2-2 | K2-3   |        | K3-1 | K3-2    |       |    |
|            |      |      |      |      | K2-3-1 | K2-3-2 |      |         |       |    |
| <b>M1</b>  | 6,95 | 137  | 4,3  | 30   | 12     | 9057   | 5    | 4000000 | 164,3 | 10 |
| <b>M2</b>  | 0,45 | 10   | 8,2  | 0    | 10     | 6967   | 35   | 1220000 | 169,1 | 40 |
| <b>M3</b>  | 0,06 | 20   | 14,2 | 1700 | 15     | 24396  | 80   | 1137000 | 260,1 | 45 |
| <b>M4</b>  | 1,18 | 62   | 2,2  | 500  | 15     | 17357  | 5    | 3273000 | 198,7 | 20 |
| <b>M5</b>  | 0,07 | 7    | 9,7  | 0    | 14     | 24557  | 35   | 1100000 | 304,1 | 60 |
| <b>M6</b>  | 1,64 | 84   | 5,5  | 1000 | 17     | 26338  | 20   | 2300000 | 265,8 | 20 |
| <b>M7</b>  | 0,59 | 11   | 10,1 | 2500 | 8      | 19321  | 88   | 1143000 | 161,5 | 90 |
| <b>M8</b>  | 0,04 | 1    | 13,4 | 3500 | 12     | 22878  | 75   | 1084000 | 222,4 | 90 |
| <b>M9</b>  | 0,14 | 38   | 9,7  | 1100 | 13     | 14657  | 10   | 2500000 | 166,7 | 60 |
| <b>M10</b> | 1,07 | 3    | 9,7  | 1100 | 9      | 19438  | 90   | 1196000 | 148,3 | 90 |
| <b>M11</b> | 4,61 | 129  | 3,8  | 700  | 11     | 7675   | 5    | 9100000 | 154,8 | 20 |
| <b>M12</b> | 1,24 | 12   | 10,6 | 0    | 9      | 20200  | 85   | 1510000 | 157,1 | 90 |
| <b>M13</b> | 3,75 | 134  | 5,4  | 0    | 16     | 22861  | 5    | 4500000 | 204,5 | 10 |
| <b>M14</b> | 0,04 | 3    | 14   | 2000 | 13     | 23817  | 35   | 1191000 | 282,9 | 60 |
| <b>M15</b> | 4,30 | 42   | 5,3  | 1700 | 11     | 7675   | 20   | 2200000 | 176,2 | 30 |



Tablo 4.6. (Devamı)

|            | K1   |      | K2   |      |        |        | K3   |         | K4    | K5 |
|------------|------|------|------|------|--------|--------|------|---------|-------|----|
|            | K1-1 | K1-2 | K2-1 | K2-2 | K2-3   |        | K3-1 | K3-2    |       |    |
|            |      |      |      |      | K2-3-1 | K2-3-2 |      |         |       |    |
| <b>M16</b> | 0,05 | 11   | 10,8 | 4200 | 13     | 16656  | 95   | 1135000 | 210,2 | 90 |
| <b>M17</b> | 0,10 | 1    | 15,4 | 2300 | 13     | 23448  | 20   | 1117000 | 248,9 | 60 |
| <b>M18</b> | 1,71 | 18   | 8,1  | 2500 | 12     | 11152  | 20   | 1750000 | 219,4 | 30 |
| <b>M19</b> | 3,70 | 41   | 3,1  | 1100 | 16     | 22861  | 5    | 1700000 | 208,7 | 30 |
| <b>M20</b> | 0,65 | 3    | 10,5 | 0    | 10     | 21015  | 90   | 1221000 | 156,8 | 90 |
| <b>M21</b> | 0,14 | 11   | 7,2  | 700  | 8      | 10135  | 90   | 1150000 | 146,2 | 90 |
| <b>M22</b> | 0,07 | 4    | 12,3 | 650  | 7      | 16880  | 80   | 1190000 | 188,2 | 45 |
| <b>M23</b> | 1,49 | 22   | 6,4  | 1600 | 12     | 8798   | 20   | 2000000 | 193,9 | 40 |
| <b>M24</b> | 0,06 | 7    | 17,2 | 3800 | 15     | 25098  | 75   | 1380000 | 252   | 60 |

#### 4.7. TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

TOPSIS yöntemi adımları aşağıdaki şekilde uygulanarak alternatifler sıralanmıştır.

- Öncelikle karar matrisinde her kritere ait değerlerin kareleri toplanmış ve karekökü alınmıştır. Bulunan değer her değere tek tek bölünerek, normalize karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.7.).

Tablo 4.7. Normalize karar matrisi

|           | K1    |       | K2    |       |        |        | K3    |        | K4    | K5    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
|           | K1-1  | K1-2  | K2-1  | K2-2  | K2-3   |        | K3-1  | K3-2   |       |       |
|           |       |       |       |       | K2-3-1 | K2-3-2 |       |        |       |       |
| <b>M1</b> | 0,613 | 0,514 | 0,089 | 0,003 | 0,20   | 0,099  | 0,018 | 0,3012 | 0,162 | 0,034 |
| <b>M2</b> | 0,040 | 0,037 | 0,169 | 0,000 | 0,16   | 0,076  | 0,125 | 0,0919 | 0,166 | 0,136 |
| <b>M3</b> | 0,005 | 0,075 | 0,293 | 0,189 | 0,25   | 0,266  | 0,286 | 0,0856 | 0,256 | 0,153 |

Tablo 4.7. (Devamı)

|            | K1    |       | K2    |       |        |        | K3    |        | K4    | K5    |
|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
|            | K1-1  | K1-2  | K2-1  | K2-2  | K2-3   |        | K3-1  | K3-2   |       |       |
|            |       |       |       |       | K2-3-1 | K2-3-2 |       |        |       |       |
| <b>M4</b>  | 0,104 | 0,232 | 0,045 | 0,056 | 0,25   | 0,189  | 0,018 | 0,2464 | 0,195 | 0,068 |
| <b>M5</b>  | 0,006 | 0,026 | 0,200 | 0,000 | 0,23   | 0,267  | 0,125 | 0,0828 | 0,299 | 0,205 |
| <b>M6</b>  | 0,145 | 0,315 | 0,114 | 0,111 | 0,28   | 0,287  | 0,071 | 0,1732 | 0,262 | 0,068 |
| <b>M7</b>  | 0,052 | 0,041 | 0,209 | 0,278 | 0,13   | 0,210  | 0,315 | 0,0861 | 0,159 | 0,307 |
| <b>M8</b>  | 0,003 | 0,004 | 0,277 | 0,390 | 0,20   | 0,249  | 0,268 | 0,0816 | 0,219 | 0,307 |
| <b>M9</b>  | 0,013 | 0,142 | 0,200 | 0,122 | 0,21   | 0,160  | 0,036 | 0,1882 | 0,164 | 0,205 |
| <b>M10</b> | 0,094 | 0,011 | 0,200 | 0,122 | 0,15   | 0,212  | 0,322 | 0,0901 | 0,146 | 0,307 |
| <b>M11</b> | 0,406 | 0,484 | 0,078 | 0,078 | 0,18   | 0,084  | 0,018 | 0,6852 | 0,152 | 0,068 |
| <b>M12</b> | 0,109 | 0,045 | 0,219 | 0,000 | 0,15   | 0,220  | 0,304 | 0,1137 | 0,155 | 0,307 |
| <b>M13</b> | 0,331 | 0,502 | 0,111 | 0,000 | 0,26   | 0,249  | 0,018 | 0,3388 | 0,201 | 0,034 |
| <b>M14</b> | 0,004 | 0,011 | 0,289 | 0,223 | 0,21   | 0,259  | 0,125 | 0,0897 | 0,278 | 0,205 |
| <b>M15</b> | 0,379 | 0,157 | 0,109 | 0,189 | 0,18   | 0,084  | 0,071 | 0,1657 | 0,173 | 0,102 |
| <b>M16</b> | 0,005 | 0,041 | 0,223 | 0,467 | 0,21   | 0,181  | 0,340 | 0,0855 | 0,207 | 0,307 |
| <b>M17</b> | 0,009 | 0,004 | 0,318 | 0,256 | 0,21   | 0,255  | 0,071 | 0,0841 | 0,245 | 0,205 |
| <b>M18</b> | 0,151 | 0,067 | 0,167 | 0,278 | 0,20   | 0,121  | 0,071 | 0,1318 | 0,216 | 0,102 |
| <b>M19</b> | 0,326 | 0,154 | 0,064 | 0,122 | 0,26   | 0,249  | 0,018 | 0,1280 | 0,205 | 0,102 |
| <b>M20</b> | 0,057 | 0,011 | 0,217 | 0,000 | 0,16   | 0,229  | 0,322 | 0,0919 | 0,154 | 0,307 |
| <b>M21</b> | 0,012 | 0,041 | 0,149 | 0,078 | 0,13   | 0,110  | 0,322 | 0,0866 | 0,144 | 0,307 |
| <b>M22</b> | 0,006 | 0,015 | 0,254 | 0,072 | 0,12   | 0,184  | 0,286 | 0,0896 | 0,185 | 0,153 |
| <b>M23</b> | 0,131 | 0,082 | 0,132 | 0,178 | 0,20   | 0,096  | 0,071 | 0,1506 | 0,191 | 0,136 |
| <b>M24</b> | 0,005 | 0,026 | 0,355 | 0,423 | 0,25   | 0,273  | 0,268 | 0,1039 | 0,248 | 0,205 |

- Matrisin her elemanı ilgili kritere ait ağırlıklar ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.8.).

Tablo 4.8. Ağırlıklı normalize karar matrisi

|            | K1     |        | K2     |         |        |        | K3     |        | K4     | K5     |
|------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | K1-1   | K1-2   | K2-1   | K2-2    | K2-3   |        | K3-1   | K3-2   |        |        |
|            |        |        |        |         | K2-3-1 | K2-3-2 |        |        |        |        |
| <b>M1</b>  | 0,0741 | 0,0308 | 0,0042 | 0,00004 | 0,0055 | 0,0084 | 0,0007 | 0,0018 | 0,0294 | 0,0144 |
| <b>M2</b>  | 0,0048 | 0,0022 | 0,0080 | 0,000   | 0,0046 | 0,0064 | 0,0046 | 0,0006 | 0,0303 | 0,0574 |
| <b>M3</b>  | 0,0006 | 0,0045 | 0,0138 | 0,0022  | 0,0069 | 0,0226 | 0,0106 | 0,0005 | 0,0466 | 0,0646 |
| <b>M4</b>  | 0,0126 | 0,0139 | 0,0021 | 0,0006  | 0,0069 | 0,0161 | 0,0007 | 0,0015 | 0,0356 | 0,0287 |
| <b>M5</b>  | 0,0008 | 0,0016 | 0,0094 | 0,0000  | 0,0064 | 0,0227 | 0,0046 | 0,0005 | 0,0545 | 0,0861 |
| <b>M6</b>  | 0,0175 | 0,0189 | 0,0053 | 0,0013  | 0,0078 | 0,0244 | 0,0026 | 0,0010 | 0,0476 | 0,0287 |
| <b>M7</b>  | 0,0063 | 0,0025 | 0,0098 | 0,0032  | 0,0037 | 0,0179 | 0,0116 | 0,0005 | 0,0289 | 0,1292 |
| <b>M8</b>  | 0,0004 | 0,0002 | 0,0130 | 0,0045  | 0,0055 | 0,0212 | 0,0099 | 0,0005 | 0,0398 | 0,1292 |
| <b>M9</b>  | 0,0015 | 0,0085 | 0,0094 | 0,0014  | 0,0060 | 0,0136 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0299 | 0,0861 |
| <b>M10</b> | 0,0114 | 0,0007 | 0,0094 | 0,0014  | 0,0041 | 0,0180 | 0,0119 | 0,0005 | 0,0266 | 0,1292 |
| <b>M11</b> | 0,0491 | 0,0290 | 0,0037 | 0,0009  | 0,0051 | 0,0071 | 0,0007 | 0,0041 | 0,0277 | 0,0287 |
| <b>M12</b> | 0,0132 | 0,0027 | 0,0103 | 0,0000  | 0,0041 | 0,0187 | 0,0112 | 0,0007 | 0,0281 | 0,1292 |
| <b>M13</b> | 0,0400 | 0,0301 | 0,0052 | 0,0000  | 0,0074 | 0,0212 | 0,0007 | 0,0020 | 0,0366 | 0,0144 |
| <b>M14</b> | 0,0005 | 0,0007 | 0,0136 | 0,0026  | 0,0060 | 0,0220 | 0,0046 | 0,0005 | 0,0507 | 0,0861 |
| <b>M15</b> | 0,0458 | 0,0094 | 0,0051 | 0,0022  | 0,0051 | 0,0071 | 0,0026 | 0,0010 | 0,0316 | 0,0431 |
| <b>M16</b> | 0,0006 | 0,0025 | 0,0105 | 0,0054  | 0,0060 | 0,0154 | 0,0126 | 0,0005 | 0,0376 | 0,1292 |
| <b>M17</b> | 0,0011 | 0,0002 | 0,0149 | 0,0029  | 0,0060 | 0,0217 | 0,0026 | 0,0005 | 0,0446 | 0,0861 |
| <b>M18</b> | 0,0182 | 0,0040 | 0,0079 | 0,0032  | 0,0055 | 0,0103 | 0,0026 | 0,0008 | 0,0393 | 0,0431 |
| <b>M19</b> | 0,0395 | 0,0092 | 0,0030 | 0,0014  | 0,0074 | 0,0212 | 0,0007 | 0,0008 | 0,0374 | 0,0431 |
| <b>M20</b> | 0,0070 | 0,0007 | 0,0102 | 0,0000  | 0,0046 | 0,0194 | 0,0119 | 0,0006 | 0,0281 | 0,1292 |
| <b>M22</b> | 0,0007 | 0,0009 | 0,0119 | 0,0008  | 0,0032 | 0,0156 | 0,0106 | 0,0005 | 0,0337 | 0,0646 |
| <b>M23</b> | 0,0159 | 0,0049 | 0,0062 | 0,0020  | 0,0055 | 0,0081 | 0,0026 | 0,0009 | 0,0347 | 0,0574 |
| <b>M24</b> | 0,0006 | 0,0016 | 0,0167 | 0,0049  | 0,0069 | 0,0232 | 0,0099 | 0,0006 | 0,0451 | 0,0861 |

- Ağırlıklı normalize karar matrisinin her bir sütunundaki en iyi performans değeri ve en kötü performans değeri bulunmuştur. En iyi performans değerine ideal çözüm, en kötü performans değerine negatif ideal çözüm denir. Bunun için her bir alt kriterin hangi noktada ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerine sahip olduğu Tablo 4.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. İdeal ve negatif ideal çözümün olduğu noktalar

|                     | K1   |      | K2   |      |        |        | K3   |      | K4   | K5   |
|---------------------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|
|                     | K1-1 | K1-2 | K2-1 | K2-2 | K2-3   |        | K3-1 | K3-2 |      |      |
|                     |      |      |      |      | K2-3-1 | K2-3-2 |      |      |      |      |
| İdeal Çözüm         | Mak. | Mak. | Mak. | Min. | Min.   | Min.   | Mak. | Min. | Min. | Mak. |
| Negatif İdeal Çözüm | Min. | Min. | Min. | Mak. | Mak.   | Mak.   | Min. | Mak. | Mak. | Min. |

- Ağırlıklı normalize karar matrisindeki her bir değerin, ilgili sütundaki ideal çözüm (Tablo 4.10.) ve negatif ideal çözüme (Tablo 4.11.) olan uzaklıkları belirlenmiştir.

Tablo 4.10. İdeal çözüme uzaklıklar matrisi

|           | K1        |           | K2        |          |          |           | K3        |          | K4        | K5        | S*<br>İdeal<br>Çözüm<br>e<br>Uzaklık |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------------------|
|           | K1-1      | K1-2      | K2-1      | K2-2     | K2-3     |           | K3-1      | K3-2     |           |           |                                      |
|           |           |           |           |          | K2-3-1   | K2-3-2    |           |          |           |           |                                      |
| <b>M1</b> | 0         | 0         | 0,0001567 | 1,47E-09 | 5,29E-06 | 3,74E-06  | 0,0001417 | 1,74E-06 | 1,05E-05  | 0,0131824 | 0,1161984                            |
| <b>M2</b> | 0,0048033 | 0,0008165 | 7,63E-05  | 0        | 1,90E-06 | 0         | 6,30E-05  | 3,78E-09 | 1,68E-05  | 0,0051494 | 0,1045332                            |
| <b>M3</b> | 0,005399  | 0,000693  | 8,48E-06  | 4,73E-06 | 1,35E-05 | 0,0002601 | 3,94E-06  | 5,73E-10 | 0,000416  | 0,004171  | 0,1047363                            |
| <b>M4</b> | 0,0037842 | 2,85E-04  | 0,000219  | 4,09E-07 | 1,35E-05 | 9,24E-05  | 0,0001417 | 9,78E-07 | 8,84E-05  | 0,0100927 | 0,1212891                            |
| <b>M5</b> | 0,0053827 | 0,0008555 | 5,30E-05  | 0        | 1,04E-05 | 0,0002649 | 6,30E-05  | 5,23E-11 | 0,0007995 | 0,0018538 | 0,0963466                            |
| <b>M6</b> | 0,0032021 | 1,42E-04  | 0,0001289 | 1,64E-06 | 2,12E-05 | 0,0003212 | 9,84E-05  | 3,02E-07 | 0,0004587 | 0,0100927 | 0,1202804                            |
| <b>M7</b> | 0,0046006 | 0,0008037 | 4,75E-05  | 1,02E-05 | 2,12E-07 | 0,0001307 | 8,57E-07  | 7,11E-10 | 7,51E-06  | 0         | 0,0748416                            |
| <b>M8</b> | 0,0054344 | 0,0009363 | 1,36E-05  | 2,01E-05 | 5,29E-06 | 0,0002167 | 7,00E-06  | 0        | 0,0001862 | 0         | 0,0825811                            |
| <b>M9</b> | 0,0052676 | 0,0004962 | 5,30E-05  | 1,98E-06 | 7,62E-06 | 5,06E-05  | 0,0001264 | 4,09E-07 | 1,35E-05  | 0,0018538 | 0,0887188                            |

Tablo 4.10. (Devamı)

|            | K1            |              | K2            |                |              |                | K3             |              | K4             | K5            | S*<br>İdeal<br>Çözüm<br>e<br>Uzaklık |
|------------|---------------|--------------|---------------|----------------|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|--------------------------------------|
|            | K1-1          | K1-2         | K2-1          | K2-2           | K2-3         |                | K3-1           | K3-2         |                |               |                                      |
|            |               |              |               |                | K2-3-1       | K2-3-2         |                |              |                |               |                                      |
| <b>M10</b> | 0,0039<br>374 | 0,0009<br>09 | 5,30E-<br>05  | 1,98E-<br>06   | 8,46E-<br>07 | 0,0001<br>331  | 4,37E-<br>07   | 2,56E-<br>09 | 1,41E-<br>07   | 0             | 0,0709<br>644                        |
| <b>M11</b> | 0,0006<br>242 | 3,24E-<br>06 | 0,00016<br>91 | 8,03E-<br>07   | 3,39E-<br>06 | 4,29E-<br>07   | 0,0001<br>417  | 1,31E-<br>05 | 2,37E-<br>06   | 0,0100<br>927 | 0,1051<br>245                        |
| <b>M12</b> | 0,0037<br>092 | 0,0007<br>91 | 4,10E-<br>05  | 0              | 8,46E-<br>07 | 0,0001<br>499  | 1,75E-<br>06   | 3,70E-<br>08 | 3,81E-<br>06   | 0             | 0,0685<br>385                        |
| <b>M13</b> | 0,0011<br>632 | 4,56E-<br>07 | 0,00013<br>11 | 0              | 1,71E-<br>05 | 0,0002<br>163  | 0,0001<br>417  | 2,38E-<br>06 | 0,0001<br>09   | 0,0131<br>824 | 0,1223<br>262                        |
| <b>M14</b> | 0,0054<br>267 | 9,09E-<br>04 | 9,644E-<br>06 | 6,552E-<br>-06 | 7,62E-<br>06 | 0,0002<br>431  | 6,299E-<br>-05 | 2,34E-<br>09 | 0,0005<br>992  | 0,0018<br>538 | 0,0954<br>912                        |
| <b>M15</b> | 0,0008        | 4,57E-<br>04 | 0,00013<br>34 | 4,734E-<br>-06 | 3,39E-<br>06 | 4,291E-<br>-07 | 9,842E-<br>-05 | 2,54E-<br>07 | 2,886E-<br>-05 | 0,0074<br>151 | 0,0945<br>589                        |
| <b>M16</b> | 0,0054<br>094 | 8,04E-<br>04 | 3,858E-<br>05 | 2,889E-<br>-05 | 7,62E-<br>06 | 8,037E-<br>-05 | 0              | 5,31E-<br>10 | 0,0001<br>313  | 0             | 0,0806<br>22                         |
| <b>M17</b> | 0,0053<br>308 | 9,36E-<br>04 | 3,051E-<br>06 | 8,665E-<br>-06 | 7,62E-<br>06 | 0,0002<br>325  | 9,842E-<br>-05 | 2,22E-<br>10 | 0,0003<br>382  | 0,0018<br>538 | 0,0938<br>583                        |
| <b>M18</b> | 0,0031<br>223 | 7,17E-<br>04 | 7,799E-<br>05 | 1,024E-<br>-05 | 5,29E-<br>06 | 1,499E-<br>-05 | 9,842E-<br>-05 | 9,05E-<br>08 | 0,0001<br>718  | 0,0074<br>151 | 0,1078<br>568                        |
| <b>M19</b> | 0,0012<br>016 | 4,67E-<br>04 | 0,00018<br>72 | 1,982E-<br>-06 | 1,71E-<br>05 | 0,0002<br>163  | 0,0001<br>417  | 7,75E-<br>08 | 0,0001<br>253  | 0,0074<br>151 | 0,0988<br>582                        |
| <b>M20</b> | 0,0045<br>108 | 9,09E-<br>04 | 4,228E-<br>05 | 0              | 1,90E-<br>06 | 0,0001<br>689  | 4,374E-<br>-07 | 3,83E-<br>09 | 3,603E-<br>-06 | 0             | 0,0750<br>799                        |
| <b>M21</b> | 0,0052<br>79  | 8,04E-<br>04 | 9,418E-<br>05 | 8,026E-<br>-07 | 2,12E-<br>07 | 8,592E-<br>-06 | 4,374E-<br>-07 | 8,89E-<br>10 | 0              | 0             | 0,0786<br>57                         |
| <b>M22</b> | 0,0053<br>878 | 8,95E-<br>04 | 2,261E-<br>05 | 6,92E-<br>07   | 0,00E<br>+00 | 8,412E-<br>-05 | 3,937E-<br>-06 | 2,29E-<br>09 | 5,656E-<br>-05 | 0,0041<br>71  | 0,1030<br>639                        |
| <b>M23</b> | 0,0033<br>929 | 6,69E-<br>04 | 0,00010<br>98 | 4,193E-<br>-06 | 5,29E-<br>06 | 2,87E-<br>06   | 9,842E-<br>-05 | 1,71E-<br>07 | 7,296E-<br>-05 | 0,0051<br>494 | 0,0974<br>963                        |
| <b>M24</b> | 0,0054<br>01  | 8,56E-<br>04 | 0             | 2,365E-<br>-05 | 1,35E-<br>05 | 0,0002<br>814  | 6,999E-<br>-06 | 1,79E-<br>08 | 0,0003<br>589  | 0,0018<br>538 | 0,0937<br>808                        |

Tablo 4.11. Negatif ideal çözüme uzaklıklar matrisi

|            | K1            |               | K2            |              |              |               | K3            |              | K4            | K5            | S'<br>Negatif<br>İdeal<br>Çözüm<br>e<br>Uzaklık |
|------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---|
|            | K1-1          | K1-2          | K2-1          | K2-2         | K2-3         |               | K3-1          | K3-2         |               |               |   |
|            |               |               |               |              | K2-3-1       | K2-3-2        |               |              |               |               |   |
| <b>M1</b>  | 0,0054<br>344 | 0,0009<br>363 | 4,15E-<br>06  | 2,85E-<br>05 | 5,29E-<br>06 | 0,0002<br>557 | 0             | 5,31E-<br>06 | 0,0006<br>267 | 0             | 0,0854<br>185                                   |
| <b>M2</b>  | 1,95E-<br>05  | 4,10E-<br>06  | 3,39E-<br>05  | 2,89E-<br>05 | 1,04E-<br>05 | 0,0003<br>212 | 1,57E-<br>05  | 1,27E-<br>05 | 0,0005<br>844 | 0,0018<br>538 | 0,0537<br>079                                   |
| <b>M3</b>  | 5,79E-<br>08  | 1,83E-<br>05  | 0,0001<br>356 | 1,02E-<br>05 | 8,46E-<br>07 | 3,23E-<br>06  | 9,84E-<br>05  | 1,29E-<br>05 | 6,21E-<br>05  | 0,0025<br>232 | 0,0535<br>246                                   |
| <b>M4</b>  | 0,0001<br>489 | 1,88E-<br>04  | 0             | 2,24E-<br>05 | 8,46E-<br>07 | 6,90E-<br>05  | 0             | 6,93E-<br>06 | 0,0003<br>562 | 0,0002<br>06  | 0,0316<br>025                                   |
| <b>M5</b>  | 1,24E-<br>07  | 1,82E-<br>06  | 5,30E-<br>05  | 2,89E-<br>05 | 1,90E-<br>06 | 2,72E-<br>06  | 1,57E-<br>05  | 1,31E-<br>05 | 0             | 0,0051<br>494 | 0,0725<br>714                                   |
| <b>M6</b>  | 0,0002<br>935 | 3,49E-<br>04  | 1,03E-<br>05  | 1,68E-<br>05 | 0            | 0             | 3,94E-<br>06  | 9,44E-<br>06 | 4,70E-<br>05  | 0,0002<br>06  | 0,0305<br>884                                   |
| <b>M7</b>  | 3,47E-<br>05  | 5,06E-<br>06  | 5,88E-<br>05  | 4,73E-<br>06 | 1,71E-<br>05 | 4,22E-<br>05  | 1,21E-<br>04  | 1,29E-<br>05 | 0,0006<br>52  | 0,0131<br>824 | 0,1188<br>714                                   |
| <b>M8</b>  | 0             | 0             | 0,0001<br>181 | 8,03E-<br>07 | 5,29E-<br>06 | 1,02E-<br>05  | 8,57E-<br>05  | 1,31E-<br>05 | 0,0002<br>14  | 0,0131<br>824 | 0,1167<br>464                                   |
| <b>M9</b>  | 1,30E-<br>06  | 6,93E-<br>05  | 5,30E-<br>05  | 1,57E-<br>05 | 3,39E-<br>06 | 1,17E-<br>04  | 4,37E-<br>07  | 8,89E-<br>06 | 0,0006<br>053 | 0,0051<br>494 | 0,0776<br>115                                   |
| <b>M10</b> | 0,0001<br>203 | 2,02E-<br>07  | 5,30E-<br>05  | 1,57E-<br>05 | 1,35E-<br>05 | 4,08E-<br>05  | 0,0001<br>264 | 1,28E-<br>05 | 0,0007<br>783 | 0,0131<br>824 | 0,1197<br>64                                    |
| <b>M11</b> | 0,0023<br>75  | 0,0008<br>294 | 2,41E-<br>06  | 2,01E-<br>05 | 7,62E-<br>06 | 0,0002<br>982 | 0             | 0            | 0,0007<br>147 | 0,0002<br>06  | 0,0667<br>337                                   |
| <b>M12</b> | 0,0001<br>642 | 6,13E-<br>06  | 6,65E-<br>05  | 2,89E-<br>05 | 1,35E-<br>05 | 3,23E-<br>05  | 1,12E-<br>04  | 1,18E-<br>05 | 0,0006<br>929 | 0,0131<br>824 | 0,1196<br>265                                   |
| <b>M13</b> | 0,0015<br>691 | 0,0008<br>955 | 9,64E-<br>06  | 2,89E-<br>05 | 2,12E-<br>07 | 1,03E-<br>05  | 0             | 4,32E-<br>06 | 0,0003<br>181 | 0             | 0,0532<br>551                                   |
| <b>M14</b> | 2,72E-<br>09  | 2,02E-<br>07  | 0,0001<br>311 | 7,93E-<br>06 | 3,39E-<br>06 | 5,44E-<br>06  | 1,57E-<br>05  | 1,28E-<br>05 | 1,44E-<br>05  | 0,0051<br>494 | 0,0730<br>779                                   |
| <b>M15</b> | 0,0020<br>643 | 8,51E-<br>05  | 9,05E-<br>06  | 1,02E-<br>05 | 7,62E-<br>06 | 0,0002<br>982 | 3,94E-<br>06  | 9,72E-<br>06 | 0,0005<br>245 | 0,0008<br>239 | 0,0619<br>401                                   |
| <b>M16</b> | 2,89E-<br>08  | 5,06E-<br>06  | 6,97E-<br>05  | 0            | 3,39E-<br>06 | 8,02E-<br>05  | 0,0001<br>417 | 1,29E-<br>05 | 0,0002<br>827 | 0,0131<br>824 | 0,1173<br>803                                   |
| <b>M17</b> | 4,99E-<br>07  | 0             | 0,0001<br>641 | 5,91E-<br>06 | 3,39E-<br>06 | 7,15E-<br>06  | 3,94E-<br>06  | 1,30E-<br>05 | 9,77E-<br>05  | 0,0051<br>494 | 0,0737<br>906                                   |
| <b>M18</b> | 0,0003<br>183 | 1,46E-<br>05  | 3,28E-<br>05  | 4,73E-<br>06 | 5,29E-<br>06 | 0,0001<br>974 | 3,94E-<br>06  | 1,10E-<br>05 | 0,0002<br>3   | 0,0008<br>239 | 0,0405<br>223                                   |
| <b>M19</b> | 0,0015<br>252 | 8,10E-<br>05  | 7,63E-<br>07  | 1,57E-<br>05 | 2,12E-<br>07 | 1,03E-<br>05  | 0             | 1,12E-<br>05 | 0,0002<br>918 | 0,0008<br>239 | 0,0525<br>373                                   |

Tablo 4.11. (Devamı)

|            | K1        |          | K2        |          |          |           | K3        |          | K4        | K5        | S'<br>Negatif<br>İdeal<br>Çözüm<br>e<br>Uzaklık |
|------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|---|
|            | K1-1      | K1-2     | K2-1      | K2-2     | K2-3     |           | K3-1      | K3-2     |           |           |   |
|            |           |          |           |          | K2-3-1   | K2-3-2    |           |          |           |           |   |
| <b>M20</b> | 4,30E-05  | 2,02E-07 | 6,49E-05  | 2,89E-05 | 1,04E-05 | 2,43E-05  | 0,0001264 | 1,27E-05 | 0,0006957 | 0,0131824 | 0,1191165                                       |
| <b>M21</b> | 1,13E-06  | 5,06E-06 | 2,35E-05  | 2,01E-05 | 1,71E-05 | 0,0002248 | 0,0001264 | 1,29E-05 | 0,0007995 | 0,0131824 | 0,1200534                                       |
| <b>M22</b> | 1,01E-07  | 4,56E-07 | 9,61E-05  | 2,06E-05 | 2,12E-05 | 7,66E-05  | 9,84E-05  | 1,28E-05 | 0,0004307 | 0,0025232 | 0,0572722                                       |
| <b>M23</b> | 0,0002393 | 2,23E-05 | 1,66E-05  | 1,11E-05 | 5,29E-06 | 0,0002634 | 3,94E-06  | 1,03E-05 | 0,0003894 | 0,0018538 | 0,0530602                                       |
| <b>M24</b> | 5,16E-08  | 1,82E-06 | 0,0002119 | 2,62E-07 | 8,46E-07 | 1,32E-06  | 8,57E-05  | 1,22E-05 | 8,70E-05  | 0,0051494 | 0,0745017                                       |

- Her bir mahalle için negatif ideal çözüme uzaklığının, pozitif ideal ve negatif ideal çözüme uzaklıkları toplamına bölünmesi ile ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları (Tablo 4.12.) hesaplanır.

Tablo 4.12. İdeal çözüme olan göreceli yakınlıklar

|           | İdeal Çözüme Olan Göreceli Yakınlık |            | İdeal Çözüme Olan Göreceli Yakınlık |
|-----------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| <b>M1</b> | 0,423667                            | <b>M13</b> | 0,303307                            |
| <b>M2</b> | 0,339406                            | <b>M14</b> | 0,433519                            |
| <b>M3</b> | 0,338205                            | <b>M15</b> | 0,395786                            |
| <b>M4</b> | 0,206699                            | <b>M16</b> | 0,592823                            |
| <b>M5</b> | 0,429625                            | <b>M17</b> | 0,440149                            |
| <b>M6</b> | 0,202748                            | <b>M18</b> | 0,2731                              |
| <b>M7</b> | 0,613647                            | <b>M19</b> | 0,34702                             |
| <b>M8</b> | 0,585702                            | <b>M20</b> | 0,613382                            |

Tablo 4.12. (Devamı)

|            | <b>İdeal Çözüme<br/>Olan Görelî<br/>Yakınlık</b> |            | <b>İdeal Çözüme<br/>Olan Görelî<br/>Yakınlık</b> |
|------------|--|------------|--|
| <b>M9</b>  | 0,466611   | <b>M21</b> | 0,604163   |
| <b>M10</b> | 0,62793  | <b>M22</b> | 0,357201   |
| <b>M11</b> | 0,388307   | <b>M23</b> | 0,352427   |
| <b>M12</b> | 0,63753  | <b>M24</b> | 0,442718   |

- İdeal çözüme olan görelî yakınlıklar büyükten küçüğe sıralanarak en yüksek puana sahip 8 alternatif mahalle seçilmiştir. Seçilen mahalleler Tablo 4.13.'te gösterildiği gibidir :

Tablo 4.13. TOPSIS yöntemi ile sıralanarak seçilen en yüksek puanlı mahalleler

| <b>Mahalle Adı</b>   | <b>İdeal Çözüme<br/>Olan Göreceli<br/>Yakınlıklar</b> |
|----------------------|---|
| Kazımpaşa Mahallesi  | 0,635753  |
| Hamitabat Mahallesi  | 0,62793   |
| Çubuklu Mahallesi    | 0,613647  |
| Reşadiye Mahallesi   | 0,613382  |
| Selahiye Mahallesi   | 0,604163  |
| Kuruçeşme Mahallesi  | 0,592823  |
| Dağyoncalı Mahallesi | 0,585702  |
| Esentepe Mahallesi   | 0,466611  |

#### 4.8. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile Alternatiflerin Ağırlıklandırılması

TOPSIS yöntemi sonucunda seçilen 8 alternatif mahalle, itfaiye müdürlüğünde 8 ve 10 yıl deneyime sahip iki karar verici tarafından ikili olarak karşılaştırılarak AHP ile ağırlıklandırılmıştır. İkili karşılaştırmalar sırasında, TOPSIS yönteminde de kullanılan



kriterler göz önüne alınmış, sayısal verileri elde olmayan aşağıdaki üç kriter için karar verici bilgilerinden yararlanılmıştır.

- Anaarterlere Yakınlık
- İtfaiye İstasyonu Kurulacak Alanın Yapısı
- İtfaiye Müdürlüğünün Deneyime Dayalı Tercihleri

Her kriter tek tek ele alınarak alternatifler ikili olarak Expert Choice programı ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sırasında daha önce belirlenmiş, TOPSIS aşamasında da kullanılan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Örnek olarak 1.karar vericiye ait karşılaştırma matrisinin bir kısmı Şekil 4.4.'teki gibidir.

|           | Kazımpaşa | Hamitabat | REşadiye | çubuklu | Selahiye | Kuruçeşme | Dağyoncal |
|-----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|-----------|
| Hamitabat |           |           | 1,0      | 5,0     | 2,0      | 1,0       | 7,0       |
| REşadiye  |           |           |          | 4,0     | 1,0      | 1,0       | 6,0       |
| çubuklu   |           |           |          |         | 3,0      | 3,0       | 1,0       |
| Selahiye  |           |           |          |         |          | 1,0       | 3,0       |
| Kuruçeşme |           |           |          |         |          |           | 4,0       |
| Dağyoncal |           |           |          |         |          |           |           |

Şekil 4.4. 1.Karar vericiye ait ikili karşılaştırma matrisi örneği

1.karar verici ve 2.karar vericiye ait ikili karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması alınarak tek bir sonuç haline getirilmiştir. Buna göre alternatif ağırlıkları Tablo 4.14'teki gibidir.

Tablo 4.14. Alternatif mahalle ağırlıklarının geometrik ortalaması

| <b>Mahalle</b>  | <b>Ağırlık</b> |
|-----------------|----------------|
| Kazımpaşa Mah.  | 0,211          |
| Hamitabat Mah.  | 0,213          |
| Reşadiye Mah.   | 0,089          |
| Kuruçeşme Mah.  | 0,193          |
| Selahiye Mah.   | 0,174          |
| Çubuklu Mah.    | 0,033          |
| Esentepe Mah.   | 0,057          |
| Dağyoncalı Mah. | 0,03           |

Hedef programlama kısmında AHP yöntemi ile elde edilen bu ağırlıkları maksimum yapacak şekilde istasyon yeri seçimi yapılacaktır.

#### **4.9. Hedef Programlama Yöntemi ile En Uygun Mahallenin Seçilmesi**

Çalışmanın bu aşamasında TOPSIS yöntemi ile elde edilen 8 mahalle arasından, tanımlanmış hedefleri sağlayan en uygun mahalle veya mahalleler seçilecektir. Bunun için ulaşılmak istenilen hedefler;

- Ulaşılamayan nüfusu minimize etmek (Denklem 4.1)
- Kurulum maliyeti ve ulaşım maliyetini minimize etmek (Denklem 4.2)
- Kurulacak itfaiye istasyonu sayısını minimize etmek (Denklem 4.3)
- AHP puanını maksimize etmek (Denklem 4.4)

Tablo 4.15 .Hedef programlama modeli

| Denklemler   | Açıklamalar   |
|--|---|
| $\min = d_1^+ + d_2^+ + d_3^+ + d_4^-$   | Hedefler  |
| $\sum_{j=1}^{24} N_j(1 - Z_j) + d_1^- - d_1^+ = 0,01 * N_T$  | Ulaşılamayan nüfusun, toplam nüfusun 0,01'i kadar olması hedefi (4.1)               |
| $\sum_{j=1}^{24} \sum_{i=1}^{11} [(M_i * Y_i) + (c_{ij} * S_j * M_{dk} * X_{ij}) + ((1 - Z_j) * S_j * M_{ort})] + d_2^- - d_2^+ = 25000000$                    | Maliyeti 25000000 un altında tutma hedefi (4.2)                                     |
| $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + d_3^- - d_3^+ = 5;$   | En fazla 2 yeni itfaiye istasyonu açılması hedefi (4.3)                             |
| $0,033 * Y_1 + 0,03 * Y_2 + 0,057 * Y_3 + 0,213 * Y_4 + 0,211 * Y_5 + 0,193 * Y_6 + 0,089 * Y_7 + 0,174 * Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + d_4^- - d_4^+ = 3,352$ | AHP puanının 3.352 olması hedefi (4.4)  |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_1$  | Z noktasına 5 dakika ve altında ulaşılabilen itfaiye istasyonlarını belirtir. (4.5) |
| $Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8 \leq 10 * Z_2$  |   |
| $Y_1 \leq 10 * Z_3$  |   |
| $Y_3 + Y_9 \leq 10 * Z_4$  |   |

Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler  | Açıklamalar |
|---|-------------|
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_1$                                       |             |
| $Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8 \leq 10 * Z_2$                           |             |
| $Y_1 \leq 10 * Z_3$   |             |
| $Y_3 + Y_9 \leq 10 * Z_4$   |             |
| $Y_9 \leq 10 * Z_6$   |             |
| $Y_1 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \leq 10 * Z_7$                           |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 \leq 10 * Z_8$                           |             |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_9$                                       |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \leq 10 * Z_{10}$                  |             |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_{11}$                                    |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \leq 10 * Z_{12}$                  |             |
| $Y_3 + Y_9 \leq 10 * Z_{13}$  |             |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_{15}$                                    |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8$<br>$\leq 10 * Z_{16}$ |             |
| $Y_4 + Y_5 \leq 10 * Z_{17}$  |             |
| $Y_6 + Y_8 \leq 10 * Z_{18}$  |             |
| $Y_3 + Y_9 \leq 10 * Z_{19}$  |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \leq 10 * Z_{20}$                  |             |
| $Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 \leq 10 * Z_{21}$            |             |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 \leq 10 * Z_{22}$                        |             |
| $Y_3 + Y_6 + Y_8 + Y_9 \leq 10 * Z_{23}$                              |             |
| $Y_1 \leq 10 * Z_{24}$  |             |

Z noktasına 5 dakika ve altında ulaşılabilen itfaiye istasyonlarını belirtir. (4.5)

Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler  | Açıklamalar   |
|---|---|
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \geq Z_1$                                  |   |
| $Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8 \geq Z_2$                      |   |
| $Y_1 \geq Z_3$  |   |
| $Y_3 + Y_9 \geq Z_4$  |   |
| $Y_9 \geq Z_6$  |   |
| $Y_1 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \geq Z_7$                      |   |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 \geq Z_8$                      |   |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \geq Z_9$                                  |   |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \geq Z_{10}$             |   |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \geq Z_{11}$                               |   |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \geq Z_{12}$             |   |
| $Y_3 + Y_9 \geq Z_{13}$                                     |   |
| $Y_3 + Y_8 + Y_9 \geq Z_{15}$                               | Her Z noktası en az 1 itfaiye istasyonundan hizmet almalı (4.6) |
| $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 \geq Z_{16}$ |   |
| $Y_4 + Y_5 \geq Z_{17}$                                     |   |
| $Y_6 + Y_8 \geq Z_{18}$                                     |   |
| $Y_3 + Y_9 \geq Z_{19}$                                     |   |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 + Y_8 \geq Z_{20}$             |   |
| $Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 \geq Z_{21}$       |   |
| $Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_7 \geq Z_{22}$                   |   |
| $Y_3 + Y_6 + Y_8 + Y_9 \geq Z_{23}$                         |   |
| $Y_1 \geq Z_{24}$   |   |

Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler   | Açıklamalar   |
|--|---|
| $Y_9 = 1$ $Y_{10} = 1$ $Y_{11} = 1$ $Z_5 = 0$ $Z_{14} = 0$   | Denklemler 4.6.(Devamı)                                 |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i1} = Z_1$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i2} = Z_2$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i3} = Z_3$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i4} = Z_4$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i5} = Z_5$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i6} = Z_6$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i7} = Z_7$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i8} = Z_8$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i9} = Z_9$ | Her Z noktasına sadece 1 istasyondan ulaşılabilir (4.7) |

Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler                         | Açıklamalar             |
|------------------------------------|-------------------------|
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i10} = Z_{10}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i11} = Z_{11}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i12} = Z_{12}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i13} = Z_{13}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i14} = Z_{14}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i15} = Z_{15}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i16} = Z_{16}$ | Denklemler 4.7.(Devamı) |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i17} = Z_{17}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i18} = Z_{18}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i19} = Z_{19}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i20} = Z_{20}$ |                         |
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i21} = Z_{21}$ |                         |

Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler   | Açıklamalar   |
|--|---|
| $\sum_{i=1}^{11} X_{i22} = Z_{22}$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i23} = Z_{23}$ $\sum_{i=1}^{11} X_{i24} = Z_{24}$   | Denklemler 4.7.(Devamı)   |
| $\sum_{j=1}^{24} X_{1j} \leq 24 * Y_1$ $\sum_{j=1}^{24} X_{2j} \leq 24 * Y_2$ $\sum_{j=1}^{24} X_{3j} \leq 24 * Y_3$ $\sum_{j=1}^{24} X_{4j} \leq 24 * Y_4$ $\sum_{j=1}^{24} X_{5j} \leq 24 * Y_5$ $\sum_{j=1}^{24} X_{6j} \leq 24 * Y_6$ $\sum_{j=1}^{24} X_{7j} \leq 24 * Y_7$ $\sum_{j=1}^{24} X_{8j} \leq 24 * Y_8$ $\sum_{j=1}^{24} X_{9j} \leq 24 * Y_9$ | <p>Bir itfaiye istasyonu en az bir mahallede hizmet vermişse, o mahallede muhakkak itfaiye istasyonu olmalıdır (4.8).</p> |



Tablo 4.15. (Devamı)

| Denklemler                                 | Açıklamalar          |
|--|----------------------|
| $\sum_{j=1}^{24} X_{10j} \leq 24 * Y_{10}$ | Denklem 4.8.(devamı) |
| $\sum_{j=1}^{24} X_{11j} \leq 24 * Y_{11}$ |                      |

### Değişkenler

$i$  = itfaiye kurulması planlanan aday mahalleler

$j$  = hedef mahalleler

$Y_i$  =  $i$  noktasına itfaiye kurulup kurulmaması (0 – 1)

$Z_j$  =  $j$  noktasına ulaşıp ulaşılamaması (0 – 1)

$X_{ij}$  =  $i$  itfaiyesinden  $j$  mahallesine gidiş (0 – 1)

$N_T$  = Toplam nüfus

$N_j$  =  $j$ . mahalle nüfusu

$M_i$  =  $i$  noktasına itfaiye kurulum maliyeti

$M_{dk}$  = yangın noktasına ulaşılamayan her dakikanın maliyeti

$M_{ort}$  = itfaiye merkezi kurmanın ortalama maliyeti

$S_j$  =  $j$  noktasındaki geçmiş yangın sayısı

$C_{ij}$  =  $i$  itfaiyesinden  $j$  mahallesine gidiş süresi

Tablo 4.16. Her mahalle için nüfus ve geçmiş yangın sayılarına ait veriler

|            | $N_j$ | $S_j$ |
|------------|-------|-------|
| <b>M1</b>  | 22040 | 137   |
| <b>M2</b>  | 1577  | 10    |
| <b>M3</b>  | 1198  | 20    |
| <b>M4</b>  | 14559 | 62    |
| <b>M5</b>  | 669   | 7     |
| <b>M6</b>  | 10066 | 84    |
| <b>M7</b>  | 744   | 11    |
| <b>M8</b>  | 416   | 1     |
| <b>M9</b>  | 3477  | 38    |
| <b>M10</b> | 708   | 3     |
| <b>M11</b> | 20669 | 129   |
| <b>M12</b> | 1038  | 12    |
| <b>M13</b> | 22273 | 134   |
| <b>M14</b> | 297   | 3     |
| <b>M15</b> | 9864  | 42    |
| <b>M16</b> | 1382  | 11    |
| <b>M17</b> | 815   | 1     |
| <b>M18</b> | 5600  | 18    |
| <b>M19</b> | 7668  | 41    |
| <b>M20</b> | 554   | 3     |
| <b>M21</b> | 1123  | 11    |
| <b>M22</b> | 740   | 4     |
| <b>M23</b> | 5504  | 22    |
| <b>M24</b> | 496   | 7     |

Tablo 4.17. İtfaiye istasyonu kurulumu için aday mahalleler ve mevcut itfaiyeler

| <b>Kısaltma</b> | <b>İtfaiye İstasyonu</b> |
|-----------------|--------------------------|
| Y1              | Çubuklu Mah.             |
| Y2              | Dağyoncalı Mah.          |
| Y3              | Esentepe Mah.            |
| Y4              | Hamitabat Mah.           |
| Y5              | Kazımpaşa Mah.           |
| Y6              | Kuruçeşme Mah.           |

Tablo 4.17.(Devamı)

| Kısaltma | İtfaiye İstasyonu |
|----------|-------------------|
| Y7       | Reşadiye Mah.     |
| Y8       | Selahiye Mah.     |
| Y9       | Merkez Grubu      |
| Y10      | Dörtyol Grubu     |
| Y11      | Karaman Müfrezesi |

Tablo 4.15.'teki model LINGO ile Tablo 4.16. ve 4.17.'deki veriler yardımı ile çözülmüştür.

Senaryo 1: 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfusun, toplam nüfusun 0,01'i kadar olması hedefi (Denklem 4.1) dikkate alınarak yapılan çözüm sonucunda, hedefler  $d_1^+ = 0$ ,  $d_2^+ = 4867071$ ,  $d_3^+ = 1$ ,  $d_4^- = 0$  bulunmuştur. Yani matematiksel model sonucunda 1 ve 4.hedef sağlanırken diğer iki hedefte belirtilen oranlarda sapmalar olmuştur. Maliyet ise 29 867 070'dir. İtfaiye yeri kurulumu için ise önerilen optimum noktalar ise; Çubuklu Mahallesi, Hamitabat Mahallesi ve Selahiye Mahallesi olmuştur. 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfus ise 1335'tir.

Senaryo 2: 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfusun, toplam nüfusun 0,05'i kadar olması hedefi (Denklem 4.1) dikkate alınarak tekrar çözüm yapıldığında yapıldığında ise sapma değerleri şu şekildedir :  $d_1^+ = 0$ ,  $d_2^+ = 4519830$ ,  $d_3^+ = 0$ ,  $d_4^- = 0.145$ . Maliyet ise 29 519 830 ve istasyon kurulabilecek en uygun noktalar, Çubuklu Mahallesi ve Selahiye Mahallesi olarak bulunmuştur. Bu senaryoda ise 5 dakikada ulaşılamayan nüfus hedefi daha yüksek olduğu için itfaiye istasyonu sayısı 2 ye düşmüştür. 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfus 6674'tür.

Senaryo 3: Yalnızca 1 itfaiye istasyonu kurulmak istendiği dikkate alınmaktadır. Bu durumda Denklem 4.3'teki hedef en fazla 1 yeni itfaiye istasyonu açılması şeklinde değiştirilerek kısıta dönüştürülür. Bu durumda hedef sapmaları  $d_1^+ = 6046$ ,  $d_2^+ = 6475056$ ,  $d_4^- = 0.319$ , maliyet ise 66 475 060 ve istasyon kurulabilecek en uygun

nokta, Çubuklu Mahallesi olmaktadır. 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfus ise 7381 olacaktır.

Yeni kurulmak istenilen itfaiye istasyonunun bu belirlenen bölgelere kurulması sonucu, 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfus ile kurulum ve ulaşım maliyetleri minimize edilmiş olacaktır. Ayrıca hedefleri sağlamak için en uygun sayıda istasyon kurulma hedefi de göz önünde bulundurularak, TOPSIS ve AHP ile puanlaması yapılmış en yüksek puanlı aday mahalleler arasından, mümkün olduğunca en yüksek puanlı mahalleler seçilmiş olacaktır.



## BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışmada, Serdivan ilçesinin, itfaiye birimlerinden 5 dakika ve altında hizmet alabilme durumu incelenmiş, bazı bölgelerde yetersiz kaldığı görülmüştür. Herhangi bir yangının hayati riskinin büyüklüğü de düşünüldüğünde Serdivan ilçesine yeni itfaiye istasyonu kurulmasına karar verilerek, en uygun bölge ve en uygun itfaiye sayısı önerisinde bulunulmuştur. Bunun için öncelikle itfaiye istasyonu kurulabilecek bölge seçilirken dikkate alınan kriterler literatür yardımıyla karar vericiler ile birlikte belirlenmiştir. Her bir alternatif mahalle için belirlenen kriterlere ait sayısal veriler elde edilerek TOPSIS yöntemi ile alternatif mahalleler sıralanmıştır. En yüksek puan alan 8 alternatif mahalle seçilerek, belirlenen kriterlere göre karar vericiler tarafından ikili olarak karşılaştırılmıştır. Sonraki aşamada ise ulaşılmak istenen amaçlar belirlenmiş, bir mahallenin 5 dakika ve altında hizmet alabildiği aday mahalleler, her mahallenin en az 1 istasyondan hizmet alması ile bir istasyonun tüm mahallelere hizmet verebilmesi durumları kısıt olarak alınarak model kurulmuştur. Modelde birden fazla amaç olduğu için hedef programlama yöntemi kullanılarak model çözülmüştür.

Model 3 farklı senaryo için çözülmüştür. 1.senaryo da 3 farklı bölgeye itfaiye istasyonu kurulması önerilmişken ve 2.senaryoda 2 farklı bölgeye itfaiye istasyonu kurulması önerisinde bulunulmuştur. Maliyetleri incelenecek; olursa 1.senaryo da 3 itfaiye kurulmasına rağmen maliyet, 2.senaryodaki maliyet ile son derece yakındır. 3.senaryoda görüldüğü üzere ise 1 itfaiye istasyonu kurulmasının maliyeti düşük olduğu düşünülse de ulaşılamayan bölgeler de göz önüne alındığında daha yüksek bir maliyete sahiptir.

Mevcut durumda 5 dakika içerisinde ulaşılamayan mahalle oranı %70 tir. Ancak bu çalışmada görülmüştür ki belirlenen noktalara itfaiye istasyonu kurulması halinde 5 dakika içerisinde ulaşılamayan mahalle oranı %8 e kadar düşmektedir. Yani ulaşılamayan mahalle sayısı 17 den 2 ye düşmektedir. Aynı zamanda 5 dakika içerisinde ulaşılamayan nüfus oranı da %20 den %1 e düşmektedir. Bu da hayati risklerin son derece büyük olduğu yangın durumları için çok büyük bir iyileştirme dir.

Çalışma sonuçları Sakarya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı ile paylaşılmış, yeni istasyon planlanması sırasında dikkate alınmak üzere değerlendirilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] Şen, A., Önden, İ., Gökğöza, T., Şen, C., A GIS approach to fire station location selection. In Conference: GI4DM 2011 GeoInformation For Disaster Management.
- [3] Siamidoudaran, Meisam. Emergency Service Location Study for Kyrenia City in Cyprus. Diss. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ), 2012.
- [4] Aktaş, E., Özaydın, Ö., Bozkaya, B., Ülengin, F., Önsel Ş., Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. *Interfaces*, 43(3), 240-255, 2013.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Erden, T., Coşkun, M. Z., Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(10), 2127-2134, 2010.

- [9] Lai, W. E. I., Han-Lun, L. I., Qi, L. I. U., Jing-Yi, C. H. E. N., Yi-jiao, C. U. I., Study and implementation of fire sites planning based on GIS and AHP. *procedia engineering*, 11, 486-495, 2011.
- [10] Çatay, B., İstanbul'da itfaiye istasyonu yer seçiminde risk faktörüne dayalı bir çoklu kapsama yaklaşımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 22(2), 33-44, 2011
- [11] Church, R., Velle, C. R., The maximal covering location problem. *Papers in regional science*, 32(1), 101-118, 1974.
- [12] 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.
- [13] Tzeng, G. H., Chen, Y. W., 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, 1999.
- [14] C. Hwang, K. Yoon, Multiple attribute decision making: Methods and applications, Springer-Verlag, 1981.
- [15] Yeh, C. H., A problem-based selection of multi-attribute decision-making methods. *International Transactions in Operational Research*, 9(2), 169-181, 2002.
- [16] Lai, Y. J., Liu, T. Y., Hwang, C. L., TOPSIS for MODM. *European journal of operational research*, 76(3), 486-500, 1994.
- [17] Dumanoğlu, S., Ergül, N., İMKB'de işlem gören teknoloji şirketlerinin mali performans ölçümü. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (48), 101-111, 2010.
- [18] Uzun, S., Kazan, H., Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99-113, 2016.
- [19] Shyjith, K., Ilankumaran, M., Kumanan, S., Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386, 2008.
- [20] Dağdeviren M., Akay D., Kurt M., İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 19, No 2, 131-138, 2004.
- [21] Erden, T., Coşkun, M. Z., Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi yöntemi yardımıyla itfaiye istasyon yer seçimi, 2011.



- [22] Wind, Y., Saaty, T. L., Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658, 1980.
- [23] Dağdeviren, M., Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 2007.
- [24] Dağdeviren, M., Eren T., Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 2001.
- [25] Charnes, A., Cooper, W. W., Ferguson, R. O., Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management science*, 1(2), 138-151, 1955 .
- [26] Gül E., Eren T., Lojistik dağıtım ağ problemlerinde analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve hedef programlama ile depo seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(1), 1-13, 2017.
- [27] Arıkan, F., Bulanık Hedef Programlamanın Çok Amaçlı Proje Şebekesi Problemine Uygulanması. YL Tezi, 1996.
- [28] Öztürk, A., Yöneylem Araştırması, Bursa: Ekin Yayınevi, 2009.
- [29] Saaty, T. L., A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281, 1977.

## ÖZGEÇMİŞ

Melek Nur Alkan, 27.06.1992 de Bursa'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Bursa'da tamamladı. 2010 yılında ise Turhan Tayan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2015 de mezun olarak aynı yıl Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği'nde yüksek lisansa başladı. Aynı yıl Sakarya ilindeki bir firmada 6 ay süresince endüstri mühendisi olarak görev yaptı. 2017 yılında ise Bursa'da otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren NSK Otomotiv firmasında metot mühendisi olarak çalışmaya başladı. 1,5 yıl çalıştığı işinden 2018 yılı temmuz ayında ayrılarak Sakarya'ya taşındı. Evli ve Sakarya'da yaşıyor.