

Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS entegrasyonu

Turan ERDEN*, **Mehmet Zeki COŞKUN**

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu araştırmada itfaiye istasyonlarının yeni yerlerinin belirlenmesi aşamasında gözönüne alınabilecek ölçütler saptanmış, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kavramından yararlanılarak her bir ölçüt için ağırlıklar belirlenmiş ve belirlenen ölçüt ağırlıklarına dayanarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında en uygun yer analizi yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan modelin duyarlılığını test etmek amacıyla yine CBS ortamında duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmalar ile karar vericilere özellikle itfaiye istasyonları gibi acil durum servislerinin en uygun yerlerinin belirlenmesinde verecekleri kararlarda destek sağlayacak bir sistem üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada izlenen adımlar şu şekilde özetlenmektedir: Çözülecek problemin/amacın belirlenmesi; itfaiye istasyonlarının yeni yerlerinin belirlenmesinde etkili olası ölçütlerin belirlenmesi; verilerin elde edilmesi, hazırlanması ve düzenlenerek CBS ortamına aktarılması; parça parça olan veri gruplarının bir çalışma bölgesi oluşturacak şekilde düzenlenmesi ve her bir ölçüte (tabaka) karşılık gelen verilerin raster veri formatında betimlenmesi; raster veri gruplarının sınıflandırılması; Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) yardımıyla tercih matrislerinin oluşturulması; iki karar verici grubun görüşlerine dayanarak oluşturulan tercih matrisinden yararlanarak özdeğer ve özvektörlerin hesaplanması; AHY'nin sonuçların sentezlenmesi özelliğinden faydalanarak ilgili her bir ölçüt için önem/ağırlık değerlerinin belirlenmesi; ölçütlere ağırlıklı toplama işlemi uygulanarak sonuç raster verisinin CBS ortamında elde edilmesi; oluşturulan modelin duyarlılığının (CBS) ortamında test edilmesi ve yeni itfaiye istasyon yerlerinin belirlenmesinde karar vericilere destek sağlayan bir sistemin önerilmesi.

Anahtar Kelimeler: CBS, analitik hiyerarşi yöntemi, yer seçimi, çok ölçütlü karar verme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Turan ERDEN. erdentur@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 38 32.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Coğrafi bilgi sistemleri ile analitik hiyerarşi yöntemi'ne dayalı itfaiye istasyon yer seçimi: İstanbul örneği" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 02.12.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 16.12.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Erden, T., Coşkun, M.Z., (2010) 'Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS entegrasyonu', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 37-50" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Emergency services site selection: The integration of analytic hierarchy process and geographic information systems

Extended abstract

In the early 1980s Geographical Information Systems (GIS) software emerged as a new information processing technology offering unique capabilities of automating, managing, and analysing a variety of spatial data. Many applications of GIS developed over the last decade provided information necessary for the decision-making in diverse areas including natural resource management, regional planning, and disaster management.

Two perspectives on developing better decision support capabilities of GIS can be identified, one based on analytical problem solving as a centrepiece of Spatial Decision Support Systems (SDSS) and another based on integration of GIS and specialized analytical models. According to first perspective, SDSS should offer modelling, optimization, and simulation functions required to generate, evaluate, recommend, and test the sensitivity or problem solution strategies. These capabilities are essential to solving semi-structured spatial decision-making problems. The second perspective on improving the decision support capabilities focuses on the expansion of GIS descriptive, prescriptive, and predictive capabilities by integrating GIS software with other statistical software and analytical models. According to this view, mapping, query, and spatial modelling functions of GIS can provide data display at different scales, preprocessing, and data input for environmental and statistical models.

The general objective of Multi-criteria Decision Making (MCDM) is to assist the decision-maker (DM) in selecting the “best” alternative from the number of feasible choice-alternatives under the presence of multiple choice criteria and diverse criterion priorities. The problem of multicriterion choice in decision making is the paramount challenge faced by individuals, public and private corporations. The nature of challenge is two-fold: How to identify choice alternatives satisfying the objectives of parties involved in the decision-making process? How to order the set of feasible choice alternatives to identify the most preferred alternative?

The challenge of multicriterion choice can be attributed to many spatial decision-making problems involving search and location/allocation of re-

sources. These problems, often analysed in (GIS), include location/site selection for: service facilities, retail outlets, critical areas for specific resource management, and emergency service locations where are key locations for effective emergency management.

In this study, the criteria and its priorities/weights that should be considered for finding optimal locations of fire stations are determined; and multi-criteria site analysis is conducted based on mentioned criteria weights in (GIS) environment. Moreover, in order to test the sensitivity and robustness of the model developed, a sensitivity analysis is performed based on the combination of the criterion weights by using (GIS) capabilities. With these analyses performed, it is focused on the creating the model that supports decision makers in decision-making for finding the optimal locations of fire stations. In this study, these steps are followed:

Definition of the problem/objective (determining the optimal locations of fire stations); determining the potential criteria in finding the optimal locations of fire stations; data collection and preparation and transfer to (GIS) environment; creation of raster data sets representing the regionalised criteria; classification of raster data sets; establishment of preference matrix, assigning preference values to the relevant criteria by using the pairwise comparison feature of Analytic Hierarchy Process (AHP); determination of criteria weights by calculating eigenvalues and eigenvectors of the preference matrix which evaluated by two decision maker group; determining the criteria priorities/weights values by using the synthesis of priorities and calculating the overall composite weights; calculating the result raster (suitability map for potential fire stations) as a weighted summation of all criteria raster data sets; conducting the sensitivity analyses in (GIS) environment in order to test the sensitiveness and robustness of the model developed; offering a system that supports decision makers in determining the optimal locations of fire stations.

The integration of the (AHP) and (GIS) combines decision support methodology with powerful visualization and analysing capabilities which should considerably facilitate finding optimal locations of fire stations and this process improves the decision making in emergency management.

Keywords: GIS, Analytic hierarchy process, site selection, multi-criteria decision making.

Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekansal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak belirmiştir. (CBS) tüm bu özelliklerinin yanında doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur. Cowen (1988) karar destek fonksiyonlarından dolayı CBS'yi bir karar destek aracı olarak tanımlamıştır. Bazı araştırmacılar ise mevcut CBS'lerin bir karar destek sistemi olarak bazı yerlerde eksik kaldığını belirtmişlerdir (Densham ve Rushton, 1988; Densham ve Goodchild, 1989).

CBS'lerin karar destek sistemi olarak daha iyi hizmet verebilmeleri amacıyla iki yönelim tanımlanmıştır: birincisi Mekansal Karar Destek Sistemleri (MKDS)'nin analitik problem çözmeye dayalı olarak yapılandırılması; ikincisi analitik problem çözmeye modelleri ile CBS'lerin bütünlük bir yapıda kullanılmasıdır. Birinci yönelime göre MKDS'den problem çözmeye stratejilerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve duyarlılığın test edilmesi amacıyla modelleme, en iyileme ve benzetim teknikleri açısından yararlanılmıştır. Bu araçlar özellikle yarı yapısal mekansal karar verme problemlerinin çözümünde etkilidirler. İkinci yönelim ise CBS yazılımlarının istatistiksel yazılımlar veya analitik modellerle bütünleştirilmesine dayanarak CBS olanaklarının genişletilmesi üzerine odaklanmıştır. Bu perspektife göre CBS'nin haritalama, sorgulama ve mekansal modelleme fonksiyonları çevresel ve istatistiksel modeller için girdi verilerine ve bu verilerin farklı ölçeklerde gösterimi ve analizine olanak sağlamıştır (Jankowski, 1995).

Çok ölçütlü karar vermenin genel amacı çoklu seçim ölçütleri ve farklı ölçüt önceliklerinin varlığında olanaklı birçok seçenek arasından "en iyi" seçeneğin seçilmesinde karar vericiye yardım sağlamaktır. Karar vermenin bu çok ölçütlü problemi bireylerin veya kurum/kuruluşların karşılabilecekleri büyük bir sorun olarak belirlemektedir. Bu problem iki temel sorunun cevaplanmasına bağlı olarak şekillenmektedir: Karar

verme sürecine katılan karar vericilerin amaçlarını sağlayan seçenekler nasıl tanımlanabilir; en çok tercih edilen seçeneği tanımlamak amacıyla uygun seçenekler grubu nasıl sıralanabilir?

Bir yer seçimi kararı doğası gereği çok ölçütlüdür. Yer seçimi bir kuruluşun eylemlerini daha iyi ve verimli bir şekilde gerçekleştirmek için gereksindiği bir yerleşim yerinin mekansal olarak tanımlanmasıdır. Yer seçimi kararları kurum/kuruluşların yeni yerleşimlere olan ihtiyaçlarında, varolan yerleşim yerlerini değiştirmek istemelerinde ya da hitap ettikleri alanı genişletmek amacı gütmeleri durumunda başvuracakları kararları içermektedir. Yer seçimi kararı yerleşim yeri seçeneklerinin tanımlanmasını, analizini, değerlendirilmesini ve seçimini içerecek şekilde verilmektedir (Yang ve Lee, 1997).

Bir yer seçimi kararı aşağıdaki adımları içerecek şekilde yapılandırılmaktadır (Ertugrul ve Karakaşoğlu, 2008): 1) Yer seçimi alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi; 2) Önemli ve etkin ölçütlerin tanımlanması; 3) Yer seçimi alternatiflerinin geliştirilmesi; 4) Alternatiflerin değerlendirilmesi ve yer seçimi kararının verilmesi.

Yer seçimi sürecinde karar verme modellerinin uygulanmasında CBS'nin rolü uygun seçeneklerin araştırmasıyla belirgin hale gelmektedir. Ayrıca CBS, karar vericiye ilgili kriterlere öncelik ağırlıklarının atanmasında da yardımcı olurken uygun seçeneklerin değerlendirilmesinde ve sonuç seçenek(ler)in görselleştirilmesinde de fayda sağlamaktadır. Yer seçimi analizi ayrıca minimum eşik değerleri sağlayan seçeneklerin seçimi ile de sonuçlanmaktadır. Uygun olmayan seçeneklerin elimine edilmesi ve uygun olan seçenekler içerisinde en uygun seçeneğin seçilmesi çok ölçütlü karar verme tekniklerinin de kullanımı gerektirmektedir. Bu amaçla, CBS'nin karar destek sistemi olanaklarının geliştirilmesi CBS'nin çok ölçütlü karar verme teknikleriyle bütünleştirilmesi sonucunda başarılmaktadır.

Afet yönetimi ve CBS

CBS'den afet yönetiminde etkili ve güçlü bir analiz aracı olarak yararlanılmaktadır. CBS tek-

nolojisi, veri kazanımı, depolanması, işlenmesi, analizi ve sunumu aşamalarında kullanıcı ve karar vericiye mekansal bilgi üretiminde destek sağlamaktadır. Afet yöneticileri, afet yönetiminde doğru kararları verebilmek için doğru bilgiye doğru formatta ulaşmak istemektedirler. Bu aşamada, hangi tür afetin nerede olduğu, olası afetler için öngörülerin ne olabileceğini ve olası bir afete etkin bir müdahalede mevcut kaynakların varlığı çok büyük önem kazanmaktadır. Afet yöneticileri olası afetleri öngörmek, gelişmeleri değerlendirmek, müdahale ve iyileştirme evrelerinde sürdürülen çalışmaları etkin bir biçimde yönlendirmeyi amaçlamaktadırlar. Bu aşamaların bütününde CBS'den yararlanılmaktadır.

Olası bir afet doğası gereği mekansaldır (NRC, 2003). CBS, mekansal sorgulama ve analizler ile mekansal kararlara destek sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Afet yönetiminde CBS'nin değeri mekansal karar verme işlemine destek veren teknolojik altyapı ile kritik mekansal kararlara duyulan gereksinimi bütünleştirmesindedir. Bu amaçla son yıllarda afet yönetimi ve CBS, araştırmacıların ilgisini çeker hale gelmiştir (Cova, 1999).

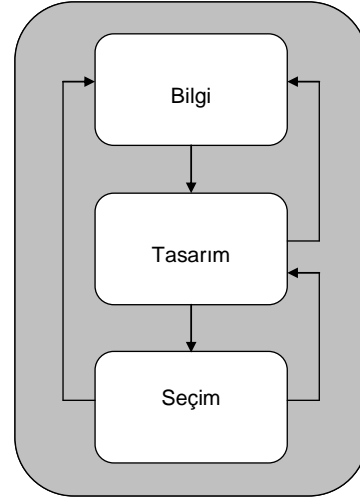
CBS ve karar destek kavramı

CBS'nin temel amacı mekansal karar verme sürecine destek sağlamasıdır. Bir CBS'nin yapabilirlikleri karar verme süreci bağlamında analiz edilebilir. Karar verme sürecinin analizinde kullanılacak birçok temel çerçeve mevcuttur. Bunlardan biri de karar analizi literatüründe genel kabul görmüş, Simon (1960) tarafından temellendirilen yaklaşımdır. Simon (1960), karar verme sürecini üç evrede incelemiştir:

- Bilgi (Intelligence) (Problemin tanımlanması)
- Tasarım (Design) (Seçeneklerin oluşturulması)
- Seçim (Choice) (En iyi seçeneğin seçilmesi)'dir.

Karar verme sürecinin bu üç evresi Şekil 1'den görüleceği üzere doğrusal bir akış izlememektedir. Karar verme sürecinin herhangi bir aşamasında geri dönüşler gerekebilmektedir. Örneğin, tasarım aşamasında birçok seçenek planı oluşturulmasına rağmen bu planlar karar probleminin gerekliliklerini karşılamayabilir. Bu durum

problem hakkında ek bilgiye sahip olmayı gerektirebilir. Mekansal karar analizinde önemli sorulardan biri şu olmaktadır: Karar vermenin bu üç evresinde CBS'den özellikle bilgi desteği sağlamada nasıl ve ne dereceye kadar yararlanılabilir? (Malczewski, 1999a; Malczewski, 1999b).



Şekil 1. Karar verme sürecinin üç evresi

Bilgi evresinde CBS

Bu evrede, karar problemini tanımlamaya yönelik olarak kullanılacak ham veriler: elde edilirler, depolanırlar ve işlenirler. Veri elde edilmesi, depolanması, tekrar kazanımı ve verinin yönetilmesi fonksiyonları gerçek hayat probleminin bir CBS veritabanı içerisinde betimlenmesine olanak sağlar. Bu durumda, gerçek hayat varlıklarının hangilerinin gözlenip, seçilip, elenip, sınıflandırılıp bir veri olarak kaydedilmesi büyük önem kazanmaktadır. Ayrıca bu verilerin hangilerinin mekansal karar problemiyle ilgili olduğu kararı da bu evrede verilmektedir.

Tasarım evresinde CBS

Bilgi evresinde tanımlanan problem için mümkün olan çözümler grubunun geliştirilmesi ve analizi tasarım evresinde yapılandırılır. Bu evrede genel olarak, karar vericiye, vereceği kararlarda destek sağlayacak seçeneklerin üretilmesini sağlayan bir model oluşturulur. Mekansal karar verme bağlamında bir model, verilecek karar ile ilgili özelliklerin bir veritabanı ile model tabanındaki gösterimidir. Bu evrede, karar problemi hakkında elde bulunan veri ve bilgiler bir karar durumu için yapılandırılmalıdır. Mekansal

karar seçenekleri CBS’de depolanan veri ve bilgilerin manipulasyonu ve analizinden türetilir.

Seçim evresinde CBS

Seçenekler tasarım evresinde üretilmesine rağmen seçeneklerin değerlendirilmesi seçim evresinde yapılmaktadır. Seçim evresi karar vericilerin kararlarını verdikleri evredir. Olanaklı olan birçok seçenek içerisinde en uygununun seçilmesini içerir. Belirlenen bir karar verme kuralı uyarınca, her bir seçenek değerlendirilir ve analiz edilir. Karar kuralları seçeneklerin önem derecelerine göre sıralanmasında kullanılır. Sıralama işlemi karar vericinin tercihlerine göre şekillenir.

Bu evrede CBS, karar vericinin tercihlerinin karar verme süreci içerisine dahil edilmesinde kritik bir öneme sahip olmaktadır. Genel olarak bir CBS, kriterlerin değerlendirilmesi bağlamında önceliğin ve seçimin gösterimine olanak sağlamamaktadır (Carver, 1991). CBS, karar vericiye değerlendirme kriterlerinin önemini değiştirilmesinde bir esneklik de sağlamamaktadır. Bu sınırlılık CBS’yi statik bir modelleme ortamı yapmaktadır. Bu bağlamda CBS’den bir karar destek sistemi olarak yararlanabilmek için karar verme tekniklerinin CBS içine dahil edilmesi gerekmektedir (Carver, 1991; Eastman, 1997; Jankowski vd., 1997). Bu durumda, bir CBS’nin karar verme sürecindeki başarısı, süreç içine dahil edilen sistemin bir mekansal karar destek sistemi olarak ne kadar iyi tasarlanabileceği konusudur.

Çok ölçütlü karar kuralları

Bir karar kuralı, karar seçeneklerinin sıralanmasını sağlayan bir prosedürdür (Starr ve Zeleny, 1977). Karar verici, karar kuralı yardımıyla seçeneklerin en iyi şekilde nasıl sıralanacağını veya hangi seçeneğin diğerine tercih edileceğini belirlemektedir. Karar kuralı, seçenek bilgisiyle karar vericinin tercihlerini, tümünden bir değerlendirme için bütünleştirmektedir. Bu tanımlara göre birçok ölçütlü karar problemi, çıktı gruplarının sıralanmasını ve bu çıktıları sağlayan karar seçeneklerinin tanımlanmasını içermektedir. Özellikle CBS tabanlı karar vermede toplamlı karar kuralları (additive decision rules) en iyi

bilinen ve geniş çapta uygulama alanı bulan çok ölçütlü karar verme yöntemleridir. Çok ölçütlü karar kuralları olarak basit toplamlı ağırlıklandırma, ağırlıklı çarpım yöntemi (Yoon ve Hwang, 1995); değer/fayda fonksiyonu temelli yaklaşımlar (Malczewski, 1999a); TOPSIS yöntemi (Yoon ve Hwang, 1995); ELECTRE (Massam, 1980) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Saaty, 1980) uygulama alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Yöntemi’nin kullanılmasının en temel sebebi bu yöntemin sözü edilen diğer çok ölçütlü karar kurallarından farklı olarak ölçüt ağırlıklarının belirlenmesine olanak sağlamasıdır. Diğer yöntemlerde ise ölçüt ağırlıkları karar verici tarafından ek yöntemler kullanılarak belirlenmekte ve ölçütlerin sıralanmasında hazır girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Ölçüt ağırlıklarının bilimsel temellere uygun olarak belirlenmesi bu anlamda AHY’yi ön plana çıkarmaktadır. Ölçüt ağırlıkları Saaty (1980)’in özvektör prensibine dayanarak belirlendiğinden, bu belirleme bilimsel kriterlere uymakta ve diğer karar kurallarından bu özelliği ile ayrılmaktadır.

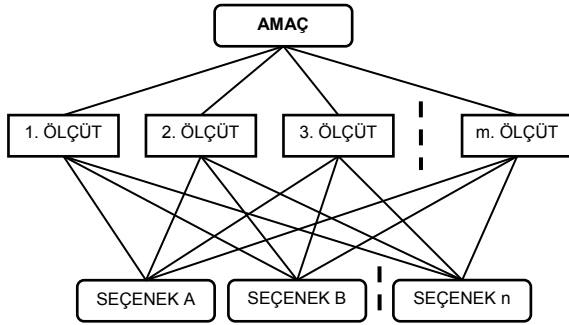
Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)

1970’li yıllarda Thomas Saaty (Saaty, 1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) birden fazla ölçüt içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan çok ölçütlü bir karar verme yöntemidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHY, karmaşık problemleri amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurularak çözmeye olanak sağlamaktadır. AHY, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma (decomposition); karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement); ve önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities) olmak üzere üç temel adıma dayanmaktadır.

AHY geliştirildiği günden beri birçok alanda uygulama olanağı bulmuştur. Yer analizi (Min, 1994), kaynak tahsisi (Cheng ve Li, 2001), pazarlama (Davies, 2001), enerji (Kim ve Min, 2004), eğitim (Saaty, 1991a), risk analizi (Millet ve Wedley, 2002), çevresel etki değerlendirme (Ramanathan, 2001) ve arazi uygunluk analizi

(Banai-Kashani, 1989) bu uygulama alanlarından bazılarıdır.

Analitik Hiyerarşi Yöntemi'nin ilk aşaması karar probleminin hiyerarşik olarak yapılandırılmasıdır. Bu aşamada bir karar verme probleminin alt öğelere ayrılması ve bu öğeler arasındaki ilişkileri gösteren bir modelin oluşturulması amaçlanır. İlgili alt öğeler gruplanıp düzenlenerek hiyerarşik yapı oluşturulur (Şekil 2).



Şekil 2. AHY'nin genel yapısı

AHY'nin ikinci aşaması karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma yöntemi AHY içinde temel bir ölçme biçimidir. Bu işlem, özellikle herhangi bir anda karar verme aşamasında sadece ikili veri gruplarının birbirleriyle olan ilişkisine yöneldiğinden karar vermenin karmaşıklığını önemli derecede azaltmaktadır. İkili karşılaştırma yöntemi üç işlem adımını içerir:

- Hiyerarşinin her aşamasında bir karşılaştırma matrisinin oluşturulması
- Her bir hiyerarşi düzeyi için ağırlıkların hesaplanması
- Tutarlılık oranının belirlenmesi

Amaç, ölçüt ve alt ölçütler belirlendikten sonra, ölçüt ve alt ölçütlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Karar verici Tablo 1'de görülen değerler ve tanımlara dayalı bir puanlama yapar.

Karar verici Tablo 1'de belirtilen önem derecelerine göre ikili karşılaştırma matrisini oluşturur (Tablo 2).

Tablo 1. AHY ikili karşılaştırma ölçeği

Önem derecesi	Tanım
1	Eşit öneme sahip
2	Eşit ile orta arası önemde
3	Orta öneme sahip
4	Orta ve güçlü arası önemde
5	Güçlü öneme sahip
6	Güçlü ile çok güçlü arası önemde
7	Çok güçlü öneme sahip
8	Çok güçlü ile çok çok güçlü arası önemde
9	Çok çok güçlü öneme sahip

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrisi

	1. ölçüt	2. ölçüt	3. ölçüt	...	n. ölçüt
1. ölçüt	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
2. ölçüt	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}
3. ölçüt	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}
:	:	:	:	...	:
n. ölçüt	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}

Tüm ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra ağırlık vektörü hesaplanır. Ağırlık vektörü Saaty (1980)'nin özvektör prosedürüne göre hesaplanır. Ağırlık vektörünün hesaplanması iki temel adımı içerir: Birincisi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi; ikincisi, normalize edilen değerlerden ağırlıkların hesaplanmasıdır. İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları, o sütunun toplam değerine bölünür. Böylece $A_w = [a_{ij}^*]_{n \times n}$ olarak adlandırılan ve her sütundaki değerler toplamı 1'e eşit olan bir "Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi" elde edilir. Normalleştirme işlemi tüm $j=1,2,\dots,n$ için aşağıdaki eşitliğe göre yapılır:

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Elde edilen A_w matrisinde, her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınır. Ağırlıklar, tüm $i=1,2,\dots,n$ değerleri için aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad (2)$$

Bu aritmetik ortalama ($1 \times m$) boyutlu matrisin ilgili satırını oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak, m boyutlu w ağırlık vektörü elde edilir:

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \quad (3)$$

Saaty (1980)'e göre ağırlık vektörü w ile ikili karşılaştırma matrisi A arasında aşağıdaki eşitlik mevcuttur:

$$A w = \lambda_{\max} w \quad (4)$$

λ_{\max} değeri A matrisinin en büyük özdeğeri olarak adlandırılır. Bu terim ikili karşılaştırma matrisinin elemanları ile ağırlık vektörünün elemanlarının çarpılmasından oluşur.

λ_{\max} değeri AHY içinde önemli bir parametredir ve Tutarlılık Oranı (TO)'nun (Consistency Ratio (CR)) hesaplanmasında bir temel katsayı olarak işlev görür (Saaty, 1991b). TO'nun hesaplanabilmesi için öncelikle bir Tutarlılık Katsayısı (TK)'nin hesaplanması gerekir. Saaty (1980)'e göre TK'nın hesaplanması için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir:

$$TK = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Hesaplanan Tutarlılık Katsayısı (TK)'ndan anlamlı yorumlamalar yapabilmek amacıyla Saaty (1980) tarafından Tutarlılık Oranı (TO) terimi tanımlanmıştır:

$$TO = \frac{TK}{RK} \quad (6)$$

Burada RK, Rastlantısal Katsayı (Random Index) olarak adlandırılmaktadır. RK rastlantısal olarak belirlenmiş ikili karşılaştırma matrisinden türetilmiş bir katsayı değeridir.

Saaty (1980) tarafından, ayrıca, TO için bir üst limit de belirlenmiştir. Eğer $TO < 0.1$ olursa bu oran ikili karşılaştırmaların kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir. Eğer $TO \geq 0.1$ ise bu oranın değeri ikili karşılaştırmaların

tutarsız olduğunu gösterir ki tüm işlemin en baştan tekrarlanması gerekir. Başka bir deyişle, ikili karşılaştırma matrisinin elemanları tekrar gözden geçirilmeli ve bu işlemlerden sonra yeni bir tutarlılık oranı hesaplanmalıdır.

Problemin çözümünün son aşaması tüm düzeyleri kapsayacak bir bileşik ağırlıklandırmanın yapılmasıdır. Bu işlem hiyerarşinin her düzeyinde herhangi bir ağırlığın belirli bir sırada diğer hiyerarşi düzeyindeki ilgili ağırlıkla çarpılmasından oluşmaktadır. İkinci düzeyden en alt düzeye kadar bu işlem adım adım devam ettirilmekte ve en son aşamada bir bileşik ağırlık vektörü elde edilmektedir.

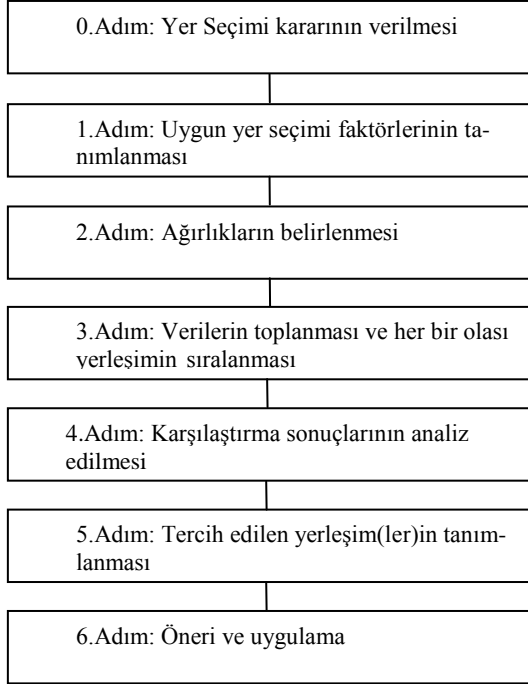
Sonuç olarak, AHY karar verme eyleminin her aşamasında karar vericilere verecekleri kararlarda destek sağlamaktadır. AHY, karar vericinin bir karar verme problemi üzerindeki çeşitlilik arzeden yargılarını, en iyi kararı verebilmek için sistematik bir biçimde organize etmesine olanak sağlayan bir yöntemdir (Saaty ve Niemira, 2006). Bu bağlamda, karar verme eyleminin sonuç ürünleri açık ve net bir biçimde türetilmektedir.

Yer seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Bir yer seçimi kararı birçok seçeneğin tanımlanmasını, analizini, değerlendirilmesini ve seçimini içerir. Fabrikalar, depolar, mağazalar, terminaller ve acil durum servisleri yer seçimi yapılacak tesisler arasındadır. Yer seçimi işlemi doğal olarak bir gereksinime cevap verecek değişkenlerin belirlenmesiyle başlamaktadır. Bir yer seçimi kararı da "en iyi" yerleşimin araştırılmasıyla verilmektedir (Yang ve Lee, 1997).

Yer seçimi, tanımlanan bir arazi kullanımı için uygun bir alanın belirlenmesinde kapsamlı bir biçimde saptanmış amaç ve faktörlerin birlikte düşünülmesini gerektirmektedir. Örneğin endüstriyel bir tesis için yer seçimi işlemi ekonomik, sosyal, teknik ve çevresel disiplinlerce tanımlanmış bir dizi faktörü içermektedir. Özellikle tüm bu faktörlerin bir yer seçimi için birlikte düşünülmesi bu işlemi oldukça karmaşık hale getirmektedir (Jun, 2000).

Yer seçimi problemi sonuç ürün olan karar vermede anahtar rol oynayan ölçütleri içeren birçok ölçütlü karar verme problemidir. Bir tercih modeli oluşturularak karar vericilerin tercihlerinin değerlendirilmesi amacıyla birçok kuram ve yöntem geliştirilmiştir. Literatürde etkin bir yaklaşım olarak analitik hiyerarşi yöntemi uygulama alanı bulmaktadır (Saaty, 1994). Şekil 3'te AHY'nin yer seçiminde kullanılmasına ilişkin çözüm süreci gösterilmektedir.



Şekil 3. AHY yer seçimi çözüm süreci

Yer seçimi analizinde AHY, katı atık depoları için en uygun yer seçiminden (Siddigui vd., 1996); endüstri bölgelerinin seçimine (Eldrandaly vd., 2003) kadar geniş bir alanda uygulama alanı bulmaktadır. Değinilen AHY destekli yer seçimi uygulamalarına ek olarak fuar alanı seçimi (Chen, 2006), mağaza yeri (Burnaz ve Topçu, 2006) ve hastane yeri seçimi (Ohta vd., 2007) de verilebilir.

Literatür incelendiğinde AHY'nin, özellikle acil durum servisleri için yer seçiminde kullanımına yönelik yayın sayısının azlığı dikkat çekmektedir (Vaidya ve Kumar, 2006). Tez çalışmasının bu eksikliği giderecek yapıda bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Olay/olguya özgü olarak belirlenecek olası ölçütlerin uygulamadan uygu-

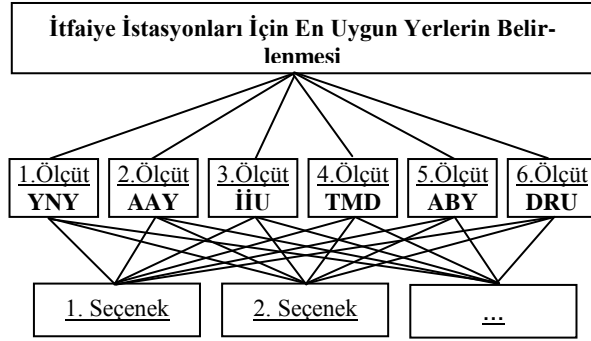
lamaya değişiklik göstereceği açıktır. Bu çalışmada afet yönetiminde özellikle itfaiye istasyonları için yer seçimi sürecinde olası ölçütler belirlenmiş ve olası yerler için ağırlıklandırma yapılmıştır. Bu ağırlıklandırma itfaiye personelinin ve afet yönetimi konusunda uzman akademik görevlilerin görüşleri alınarak (belirlenen ölçütlerin ikili karşılaştırması yapılarak) yapılandırılmıştır.

Uygulama

Çalışmada izlenen adımlar şu şekilde özetlenmektedir: 1) Çözülecek problemin/amacın belirlenmesi (bu çalışmaya özel olarak itfaiye istasyonları için en uygun yerlerin belirlenmesi eylemi); 2) İtfaiye istasyonlarının yeni yerlerinin belirlenmesinde etkili olabilecek olası ölçütlerin belirlenmesi; 3) Verilerin elde edilmesi, hazırlanması ve düzenlenerek CBS ortamına aktarılması; 4) Parça parça olan veri gruplarının bir çalışma bölgesi oluşturacak şekilde düzenlenmesi ve herbir ölçüte (tabaka) karşılık gelen verilerin raster veri formatında betimlenmesi; 5) Raster veri gruplarının sınıflandırılması; 6) Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)'nin ikili karşılaştırma özelliğinden yararlanarak tercih matrislerinin oluşturulması; 7) İki karar verici grubun görüşlerine dayanarak oluşturulan tercih matrisinden yararlanarak özdeğer ve özvektör değerlerinin hesaplanması; 8) AHY'nin sonuçların sentezlenmesi özelliğinden faydalanarak ilgili herbir ölçüt için önem/ağırlık değerlerinin belirlenmesi; 9) Ölçütlere ağırlıklı toplama işlemi uygulanarak sonuç raster verisinin CBS ortamında elde edilmesi; 10) Oluşturulan modelin duyarlılığını test etmek amacıyla herbir ölçüt için CBS ortamında duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi ve 11) Yeni itfaiye istasyon yerlerinin belirlenmesinde karar vericilere destek sağlayan bir sistemin önerilmesi.

Problemin çözümünün bu aşamasında, amacı gerçekleştirmek için gerekli ölçütler, daha önceden yapılmış çalışmalardan (proje, rapor, makale) yararlanarak ve çalışma bölgesinin yapısı baz alınarak belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda itfaiye istasyonları için en uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla altı ölçüt saptanmıştır (İBB, 1989; Badri vd., 1998): 1)

Yüksek Nüfus Yoğunluğu (YNY); 2) Anaarterlere Yakınlık (AAY); 3) İtfaiye İstasyonuna Uzaklık (İİU); 4) Tehlikeli Madde Depolarına Yakınlık (TMD); 5) Ahşap ve Tarihi Binalara Yakınlık (ABY); 6) Deprem Riskinin Yüksek Olduğu Yerlere Uzaklık (DRU). Saptanan bu altı ölçüt Şekil 4’te gösterilmektedir.

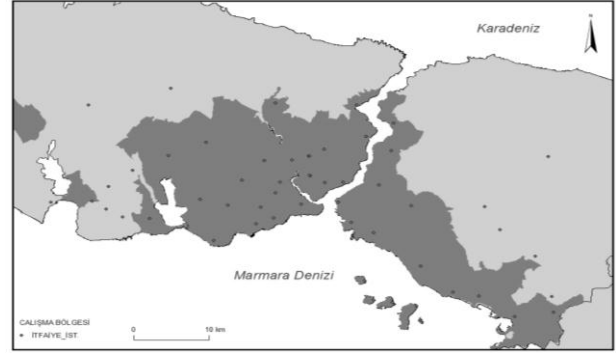


Şekil 4. Amaç, ölçüt ve seçeneklerin hiyerarşik yapıda gösterimi

Şekil 4’ten de görüldüğü gibi uygulamanın birinci aşaması bir amacın belirlenmesini içermektedir. İkinci aşamada ölçütler saptanıp ağırlıklandırılarak üçüncü aşamadaki seçeneklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uygulamaya CBS açısından bakıldığında her bir ölçüt CBS’de amaca uygun formatta hazırlanan tabakalara karşılık gelmektedir. Her bir ölçütün birbiriyle ağırlıklı toplama işlemine tabi tutulması sonucunda seçenek veya seçenek grupları belirlenen piksel boyutunda CBS ortamında türetilmektedir.

Projede çalışma bölgesi olarak İstanbul İli’nde Avrupa ve Anadolu Yakası’nın her iki kesiminde nüfusun yoğun olduğu yerlerle, 2002 tarihli JICA verisinin (JICA. ve IBB., 2002) üretiminde temel alınan 3030 sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu’nun kapsadığı belediye sınırı temel alınmıştır (Şekil 5). Şekil 5’te aynı zamanda 2008 yılı itibarıyla var olan itfaiye istasyonları da gösterilmektedir.

Belirlenen her bir ölçüt CBS ortamında tabakalar şeklinde gösterilmiştir. CBS ortamına vektörel olarak aktarılan bu veriler raster veri tipine dönüştürülmüş ve yeniden sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5. Proje çalışma alanı

Belirlenen tüm bu ölçütler için verilerin elde edilmesi ve ilgili dönüşümlerin yapılmasından sonra ölçütlerin önceliklerinin/ağırlıklarının AHY ile belirlenmesi işlemine geçilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2 ile eşitlik 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 dikkate alınarak ölçütler için ikili karşılaştırma (tercih) matrisleri oluşturulmuş; öğretim üyelerinin ve itfaiyecilerin değerlendirmeleri baz alınarak ölçütler ayrı ayrı önceliklendirilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 3. Öğretim üyelerince belirlenen ölçüt ağırlıkları

ÖLÇÜTLER	AĞIRLIKLAR
TMD	0.40 (%40)
YNY	0.16 (%16)
AAY	0.15 (%15)
İİU	0.10 (%10)
ABY	0.10 (%10)
DRU	0.09 (%9)

Tablo 4. İtfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağırlıkları

ÖLÇÜTLER	AĞIRLIKLAR
YNY	0.36 (%36)
TMD	0.26 (%26)
AAY	0.14 (%14)
ABY	0.11 (%11)
İİU	0.07 (%7)
DRU	0.06 (%6)

Değerlendirmeye katılan öğretim üyeleri ve itfaiyeciler tarafından oluşturulan grup ikili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi, normalize edilen değerlerden lamda değerleri ve tutarlılık indisi hesaplamaları sonucunda öğretim üyeleri için tutarlılık oranı 0.007; itfaiyeciler

için ise bu oran 0.015 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan her iki tutarlılık oranının 0.1 değerinden küçük olduğu gözlenmiş ve bu değerlerin tutarlı bir biçimde ve bilimsel kriterlere uygun bir şekilde elde edildiği belirlenmiştir.

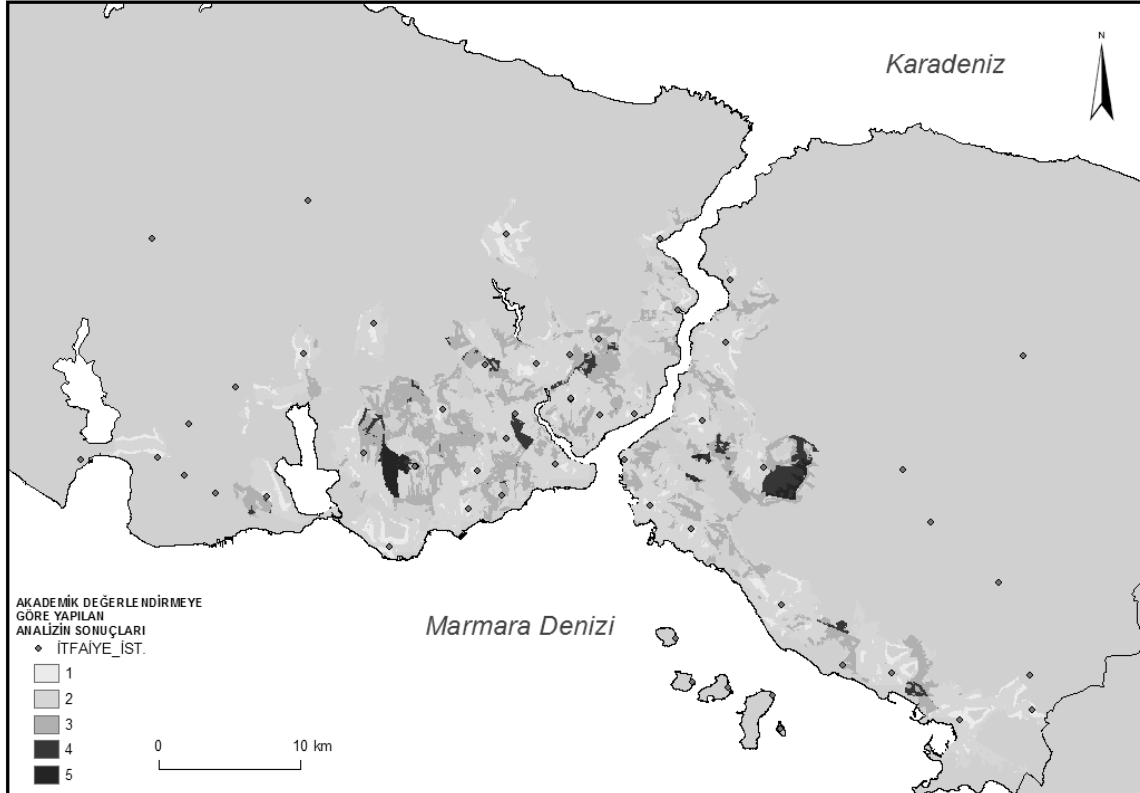
Öğretim üyeleri ile itfaiyecilerce belirlenen ağırlıklar için iki farklı analiz yapılmıştır. Analizlerde ArcGIS yazılımının ArcMap 9.2 platformunun Spatial Analyst eklentisi ile ArcToolbox araç kutusu kullanılmıştır. Analizde kullanılan her bir ölçüt (YNY, TMD, AAY, ABY, IIU, DRU) ArcGIS yazılımında birer tabaka ile betimlenmiştir. Kullanılan her bir ölçüt raster veri formatına dönüştürülmüştür. Raster veri formatında betimlenen ölçütlerin ortak bir analize tabi tutulabilmesi amacıyla her bir ölçüt Reclassify (yeniden sınıflandırma) işlemine sokulmuştur. Bu işlemler yapıldıktan sonra ArcToolbox araç kutusunun mekansal analiz araçları (Spatial Analyst Tools)'nın altında ağırlıklandırılmış toplam (Weighted Sum) aracı kullanılarak bindirme analizi yapılmıştır. Her bir ölçüt girdi raster verisi olarak temel alınmış ve Analitik Hiyer-

arşi Yöntemi baz alınarak üretilen ölçüt ağırlıkları ağırlıklandırılmış toplama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları öğretim üyelerince ve itfaiye görevlilerince belirlenen ölçüt ağırlıklarına göre sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterildiği şekilde oluşmuştur.

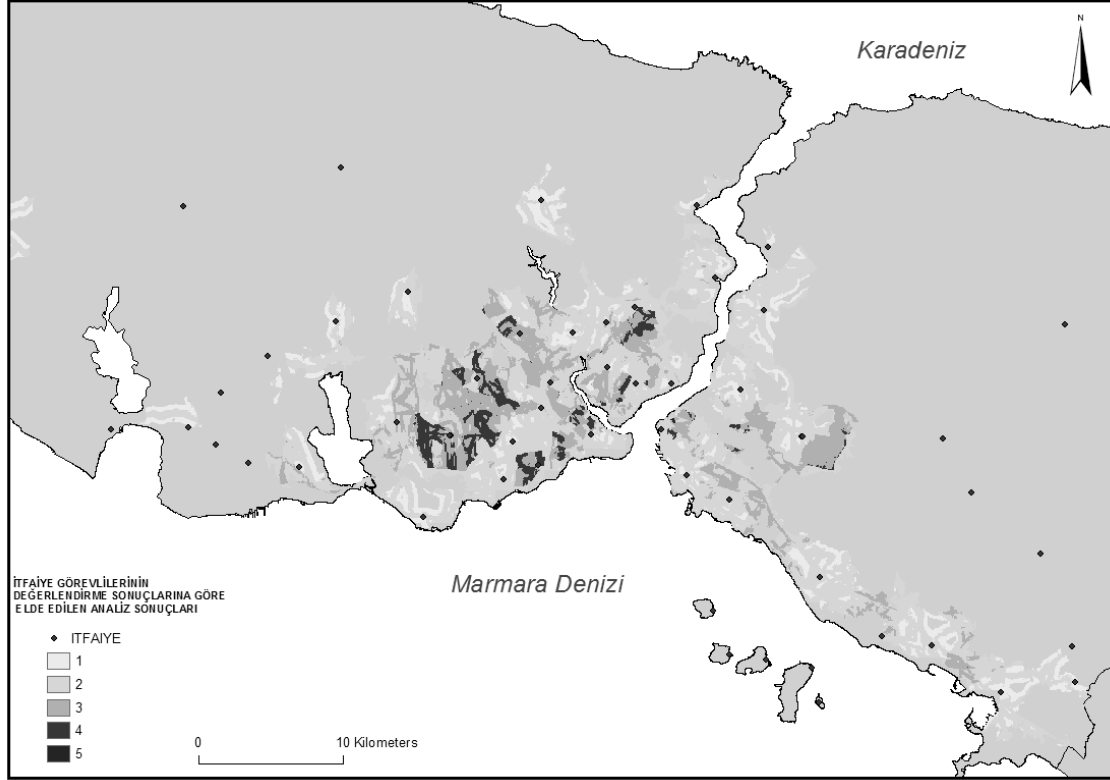
Öğretim üyeleri ve itfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan analizlerden (Şekil 6 ve Şekil 7) sonra oluşturulan modelin duyarlılığını test etmek ve modeli doğrulamak amacıyla her bir ölçüt için CBS ortamında duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Duyarlılık analizi

Dantzig (1963) duyarlılık analizinin amacını şu şekilde belirtmektedir: Duyarlılık analizi karar verme modellerinin uygulanmasında ve etkin bir biçimde kullanılmasında temel bir kavram olarak belirmektedir. Duyarlılık analizinin amacı, parametrelerin değişimi altında en uygun çözümün kararlılığını ve tutarlılığını değerlendirmektir. Duyarlılık analizinde küçük ağırlık değişimlerine maruz bırakılan bir ölçütün değişimleri



Şekil 6. Öğretim üyelerince belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan analiz



Şekil 7. İtfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan analiz.

izlenerek herhangi bir ölçüt için kritik değerler belirlenmektedir. Karar verici de ilgilendiği çok ölçütlü karar verme probleminin hangi kritik kısmına daha fazla önem vermesi gerektiğini duyarlılık analizi ile saptamaktadır. İlgili ölçütlere uygulanacak duyarlılık analizi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Triantaphyllou ve Sanchez, 1997; Triantaphyllou, 2000):

$$\omega_j = (1 - \omega_i) * \left(\frac{\omega_j^0}{(1 - \omega_i^0)} \right) \quad (7)$$

ω_j ; j . ölçütün duyarlılık analizinde kullanılacak yeni ağırlık değerini göstermektedir. ω_i ise duyarlılık analizinde ağırlık artımına veya azaltımına tabi tutulan i . ölçütün yeni ağırlık değeridir. ω_i^0 ve ω_j^0 ağırlık değerleri ise sırasıyla i . ve j . duyarlılık analizine tabi tutulmadan önceki ağırlık değerleri olmaktadır.

Eşitlik (7) baz alınarak, YNY ölçütü için $\omega_i = 0.2$ (%20) ağırlık artırımına göre AAY ölçütü-

nün yeni ağırlık değeri $\omega_j = 0.137$ olarak hesaplanmaktadır:

$$(1 - 0.2) * \left(\frac{0.144}{(1 - 0.158)} \right) = \omega_j = 0.137$$

Bu çalışmada her bir ölçüt baz alınarak (YNY, AAY, İIU, TMD, ABY, DRU) ilgili tüm diğer ölçütler için % 0 ile % 100 arasında olmak üzere ve % 20'lik ağırlık değeri artımlarına göre duyarlılık analizi değerleri hesaplanmıştır.

Öğretim üyelerince saptanan ağırlıklara göre CBS ortamında 42 adet duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. İtfaiye görevlilerince belirlenen ağırlıklara göre de CBS ortamında ilgili ara değerler baz alınarak 47 adet duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizdeki her bir ölçütün kendisi de dahil olmak üzere % 0, % 20, % 40, % 60, % 80 ve % 100 şeklinde belirlenen ağırlık değişimlerine göre diğer ölçüt ağırlıklarının kendi ağırlıkları oranında değiştirilmesi ve toplam ağırlık yüzdesinin % 100 olması sağlanmıştır.

Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, acil durum servislerinin yer seçiminin CBS ortamında belirlenmesinde, AHY ile CBS'nin bütünleşik olarak kullanımı araştırılmıştır. Acil durum servislerinden olan itfaiye istasyonları için yer seçiminin başarılmasına yönelik olarak bir AHY-CBS yer seçimi modeli oluşturulmuştur. Çalışmada altı ölçüt (YNY, AAY, İIU, TMD, ABY, DRU) belirlenmiş, AHY kullanılarak ve iki karar verici grubun (öğretim üyeleri ve itfaiyeciler) görüş ve değerlendirmeleri baz alınarak bu ölçütler önceliklendirilmiş/ağırlıklandırılmıştır İki ayrı karar verici grubun ağırlıklandırma ve değerlendirmeleri sonucunda harita formatında sunulan sonuç ürünler oluşturulmuştur (Şekil 6, Şekil 7). İki ayrı değerlendirici grubun özellikle ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında birbirinden ayrıldıkları sonucuna varılmıştır. Buna göre: YNY ölçütünün, her iki değerlendirici gruba göre, ağırlık değerinde oluşan fark %20; TMD ölçütü için oluşan fark %14; AAY ölçütü için oluşan fark %1; İIU ölçütü için oluşan fark %3; ABY ölçütü için oluşan fark %1 ve DRU ölçütü için oluşan fark %3 olarak belirlenmiştir. Ölçüt ağırlıklandırma sonuçlarından ve bunlardan elde edilen farklardan da görüleceği gibi iki karar verici/değerlendirici grubun özellikle YNY ve TMD ölçütlerinin ağırlıklandırma aşamasında birbirlerinden ayrıldıkları gözlenmiştir. Diğer ölçütler arasında en fazla %3'lük bir fark bulunmaktadır.

Ayrıca bu çalışmada, oluşturulan modelin duyarlılığını test etmek ve modeli doğrulamak amacıyla CBS ortamında duyarlılık analizleri yapılmıştır. Öğretim üyelerince belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan duyarlılık analizleri sonucunda duyarlılık aralığı % 30'lar mertebesinde oluşurken; itfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan duyarlılık analizleri sonucunda duyarlılık aralığı % 12-13'ler mertebesinde oluşmuştur. Duyarlılık aralığının belirli değişimleri için literatürde belli bir değer verilmemesine rağmen burada oluşan durumda itfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağırlıklarının olası küçük değişimlerine (herbir ölçüt için artan ve azalan yönde % 5-6 gibi ağırlık değişimleri) model duyarlılık göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar da itfaiyecilerce belirlenen ölçüt ağır-

lıklarının mümkün olduğunca incelikli bir biçimde belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmada belirlenen ölçütler ve bu ölçütlere dayanarak gerçekleştirilen ağırlıklandırma süreci itfaiye istasyonları için yer seçimine yönelik olarak oluşturulmuştur. Yer seçimi modelleri uygulamaya özel problemlerdir ve değişkenleri/ölçütleri incelenen probleme göre farklılık gösterir. Gerçekleştirilen çalışma ambulans, polis gibi acil durum servislerinin yer seçimine (konuşlandırma) yönelik olarak da genişletilebilir. Bu durumda sözüedilen bu servisler için en uygun yer seçiminin başarılması: yer seçimini etkileyecek ölçütlerin belirlenmesine, ölçütlerin bilimsel kriterlere göre önceliklendirilmesine bağlı olmaktadır.

Özellikle acil durum/afet yönetimi, CBS, karar verme, yer seçimi ve duyarlılık analizi literatürü tarandığında görülmektedir ki yapılan bu çalışma özellikle ülkemiz açısından büyük bir boşluğu dolduracaktır. Bu bağlamda, acil durumlar daha bütünlüklü bir şekilde yönetilecek, model içindeki kritik ölçütler daha sağlıklı bir biçimde belirlenecek, CBS'nin analiz ve görselleştirme özelliklerinden yararlanılarak acil durum yönetiminde karar verme süreci daha da iyileştirilecek, kaynakların etkin kullanımı başarılacak, stratejik kararlar çok daha etkin bir biçimde alınacak ve can/mal kaybı mümkün olduğunca azaltılacaktır.

Kaynaklar

- Badri, M.A., Mortagy, A.M. ve Alsayed, C.A., (1998). A multi-objective model for locating fire stations, *European Journal of Operational Research*, **110**, 243-260.
- Banai-Kashani, R., (1989). A new method for site suitability analysis: The analytic hierarchy process, *Environmental Management*, **13**, 6, 685-693.
- Burnaz, S. ve Topcu, Y.I., (2006). A multiple-criteria decision-making approach for the evaluation of retail location, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, **14**, 67-76.
- Carver, S.J., (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographic information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, **5**, 321-339.

- Chen, C-F., (2006). Applying the analytical hierarchy process (AHP) approach to convention site selection, *Journal of Travel Research*, **45**, 167-174.
- Cheng, E.W.L. ve Li, H., (2001). Information priority-setting for better resource allocation using analytic hierarchy process, *Information Management and Computer Security*, **9**, 2, 61-70.
- Cova, T.J., (1999). *GIS in emergency management*, in Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W., eds, *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications And Management*, John Wiley & Sons, 845-858, New York.
- Cowen, D., (1988). GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences?, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**, 1551-1555.
- Dantzig, G.B., (1963). *Linear programming and extensions*, Princeton University Press, Princeton, NJ. USA.
- Davies, M., (2001). Adaptive AHP: A review of marketing applications with extensions, *European Journal of Marketing*, **35**, 7/8, 872-893.
- Densham, P.J. ve Rushton, G., (1988). *Decision support systems for locational planning* in Colledge, R.G. ve Timmermans, H.J.P. eds, *Behavioral Modeling in Geography and Planning*, 56-90, New York: Croom Helm.
- Densham, P.J. ve Goodchild, M.F., (1989). Spatial decision support systems: A research agenda, *Proceedings, GIS/LIS'89*, Orlando, FL, 2 (Bethesda, MD: American Congress on Surveying and Mapping), 707-716.
- Ertugrul, I. ve Karakaşoğlu, N., (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **39**, 783-795.
- Eastman, J.R., (1997). IDRISI for Windows, Version 2.0: tutorial exercises, Worcester, MA: Graduate School of Geography, Clark University.
- Eldrandaly, K., Eldin, N. ve Sui, D., (2003). A COM-based spatial decision support system for industrial site selection, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, **7**, 2, 72-92.
- İBB, (1989). *Kritik Risk Bölgeleri ve İstasyon Yerleri*, Cilt 7, İBB Yangın Güvenliği ve Yangından Korunma Araştırması, İTÜ.
- Jankowski, P., (1995). Integrating geographic information systems and multicriteria decision making methods, *International Journal of Geographic Information Systems*, **9**, 3, 251-273.
- Jankowski, P., Nyerges T.L., Smith, A., Moore, T.J. ve Howard, E., (1997). Spatial group choice: A SDSS tool for collaborative spatial decision-making, *International Journal of Geographic Information Systems*, **11**, 6, 566-602.
- JICA. ve İBB., (2002). *Türkiye Cumhuriyeti İstanbul ili sismik mikro-bölgeleme dahil afet önleme/azaltma temel planı çalışması*, Son Rapor.
- Jun, C., (2000). Design of an intelligent geographic information system for multicriteria site analysis, *URISA Journal*, **12**, 3, 5-17.
- Kim, S.C. ve Min, K.J., (2004). Determining multicriteria priorities in the planning of electric power generation: The development of an analytic hierarchy process for using the opinions of experts, *International Journal of Management*, **21**, 2, 186-193.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N., (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları, *Akdeniz, İİBF. Dergisi*, 1, 83-105.
- Malczewski, J., (1999a). *GIS and multicriteria decision analysis*, John Wiley and Sons Inc. USA. ISBN: 0471329444.
- Malczewski, J., (1999b). *Spatial multicriteria decision analysis*, in Thill, J-C., eds, *Multicriteria Decision-making and Analysis: A Geographic Information Sciences Approach*, Brookfield, VT: Ashgate Publishing, 7-48.
- Massam, B.H., (1980). *Spatial search*, Oxford: Pergamon Press.
- Millet, I. ve Wedley, W.C., (2002). Modelling risk and uncertainty with the analytic hierarchy process, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, **11**, 2, 97-107.
- Min, H., (1994). Location analysis of international consolidation terminals using the analytic hierarchy process, *Journal of Business Logistics*, **15**, 2, 25-44.
- NRC, (2003). *IT roadmap to a geospatial future*, Washington DC., The National Academies Press.
- Ohta, K., Kobashi, G., Takano, S., Kagaya, S., Yamada, H., Minakami, H. ve Yamamura, E., (2007). Analysis of the geographical accessibility of neurosurgical emergency hospitals in Sapporo city using GIS and AHP, *International Journal of Geographical Information Science*, **21**, 6, 687-698.
- Ramanathan, R., (2001). a note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment, *Journal of Environmental Management*, **63**, 27-35.
- Saaty, T.L., (1980). *The analytic hierarchy process*, New York, McGraw-Hill.
- Saaty, T.L., (1991a). Modelling the graduate business school admission process, *Socio-Economic Planning Science*, **25**, 155-162.

- Saaty, T.L., (1991b). Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process, *Behavior-metrika*, **29**, 1-9.
- Saaty, T.L., (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with analytic hierarchy process*, VI, RWS Publications, USA.
- Saaty, T.L. ve Niemira, M.P., (2006). A framework for making a better decision: How to make more effective site selection, store closing and other real estate decisions, *Research Review*, **13**, 1, 1-4.
- Siddiqui, M.Z, Everett, J.W. ve Vieux, B.E., (1996). Landfill siting using geographic information systems: A demonstration, *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, **122**, 6.
- Simon, H.A., (1960). *The new science of management decisions*, New York: Harper & Row.
- Starr, M.K. ve Zeleny, M., (1977). *MCDM: State and future of the arts* in Starr, M.K. ve Zeleny, M., eds, *Multiple Criteria Decision Making*, Amsterdam: North-Holland, 5-29.
- Triantaphyllou, E. ve Sanchez, A., (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods, *Decision Sciences*, **28**, 1, 151-194.
- Triantaphyllou, E., (2000). Multi-criteria decision making methods: A comparative study, *Applied Optimization*, 44, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Vaidya, O.S. ve Kumar, S., (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications, *European Journal of Operational Research*, **169**, 1-29.
- Yang, J. ve Lee, H., (1997). An AHP decision model for facility location selection, *Facilities*, **15**, 9/10, 241-254.
- Yoon, K.P. ve Hwang, C-L., (1995). *Multiple attribute decision making: An introduction*, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-104, Thousands Oaks, CA: Sage.