

**Derleme Makalesi / Review Paper**

**CRITERION WEIGHTING IN MULTICRITERIA DECISION MAKING**

**Derya ÖZTÜRK<sup>\*1</sup>, Fatmagül BATUK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*DSİ, Genel Müdürlüğü, ANKARA*

<sup>2</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 12.06.2006 Kabul/Accepted: 06.03.2007**

**ABSTRACT**

Spatial multicriteria decision analysis is process that combines spatial and nonspatial data into resultant decision. Multicriteria decision making (MCDM) problems involve criteria of varying importance to decision makers. For this reason, information about the relative importance of the criteria is required. Criteria weights are derived according to decision maker's preferences and criterion weighting is usually achieved by assigning to each criterion a weight that indicates the criterion importance relative to the other criteria. In this paper, most popular criterion weighting methods including ranking, rating, pairwise comparison, trade-off analysis and fuzzy logic approach for dealing with uncertainty about the relative importance of weights are explained and in one sample application, pairwise comparison method is used for criterion weighting and use of weights on MCDM is demonstrated.

**Keywords:** MCDM, spatial decision support system, criterion weight.

**MSC number/numarası:** 90B50.

**ÇOK SAYIDA KRİTER İLE KARAR VERMEDE KRİTER AĞIRLIKLARI**

**ÖZET**

Çok sayıda kritere göre mekansal karar analizleri, mekansal ve mekansal olmayan verilerin bir sonuç kararı için bir arada değerlendirilmesi işlemidir ve birçok alternatif içerisinde seçim yapmayı kapsar. Çok Sayıda Kriter ile Karar Verme (ÇKKV), karar vericiye göre değişen öneme sahip kriterleri kapsar. Bu nedenle kriterlerin bağıl önemi hakkında bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Kriter ağırlıkları, karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak oluşturulur ve ağırlık verme işlemi, genelde her bir kritere diğer kriterlere göre bağıl önemini gösteren bir ağırlığın atanmasıyla gerçekleştirilir.

Bu makalede, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde en çok kullanılan sıralama, puanlama, ikili karşılaştırma ve tercih önceliği analizi yöntemleri ve kriterlerin bağıl önemine ilişkin belirsizlik durumunda bulanık mantık yaklaşımı anlatılmış ve bir uygulama örneğinde ikili karşılaştırma yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenerek çok sayıda kriter ile karar verme sürecinde ağırlıkların kullanılması örneklenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Çok sayıda kriterle karar verme, mekansal karar destek sistemleri, kriter ağırlığı.

**1. GİRİŞ**

Karar verme, karar vericinin/vericilerin mevcut seçenekler arasından amacına veya amaçlarına en uygun bir veya birkaç seçeneği seçmesidir [1]. Çok Sayıda Kriter ile Karar Verme (ÇKKV); problem tanımı, probleme ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve alternatiflerin seçilen

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: dzozturk@yahoo.com, tel: (312) 417 83 00 / 2984

kriterlere uygunluğunun saptanması işlemleri ile gerçekleştirilir. Karar verilecek konu ile ilgili bazı kriterler harita ya da coğrafi veri tabanı bileşeni ise ÇKKV işlemleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli olarak yürütülür (C-ÇKKV). C-ÇKKV'de karar analizi coğrafi verilerin kullanılmasını, karar vericinin tercihlerini ve belirli bir karar kuralına göre verilerin ve tercihlerin düzenlenmesini kapsar [2]. C-ÇKKV süreci en genel şekliyle karar probleminin tanımlanması, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi, kriter katmanlarının hazırlanması ve standartlaştırılması, kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve karar analizinin uygulanması adımlarından oluşmaktadır.

Planlama, afet risk analizi, kaynak yönetimi gibi bir çok alanda C-ÇKKV ile çok sayıda kriter bir arada değerlendirilerek belirli bir amaç için uygun yerler, alternatifler belirlenmektedir. Karar analizinde, problem tanımlandıktan sonra öncelikle değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi gerekir. Kriterler karar problemine ilişkin amaçları karşılayabilecek kapsamda ve kriterin her sınıfı için karar vericinin tercihlerini belirten bir sayıyla ifade edilebilecek şekilde ölçülebilir özellikte olmalıdır. Değerlendirme kriterleri anlaşılabilir veya belirsiz anlamlarda olmamalıdır [2, 3].

ÇKKV problemleri birçok alternatif içinden seçim yapmayı gerektiren bir işlemdir ve karar vericiye göre değişen öneme sahip kriterleri kapsayabilmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin amacı, her bir kriterin diğerlerine göre önemini belirlemektir [4].

Bir karar probleminde belirlenen kriterlere verilecek ağırlıklar, sonuçlar üzerinde çok etkilidir. Bir kriterin diğerlerine göre daha fazla ya da daha az önemli olmasının belirlenmesinin yanısıra, herbir kriterin diğerine göre bağlı önemi sayısal olarak ifade edilmelidir. Ağırlık değerlerindeki küçük değişimler bile birçok zaman sonucu önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle kriter ağırlıklarının belirlenmesi, karar analizinin en önemli aşamalarından biridir.

Bu makalede, karar problemlerinde kriter ağırlıklarını belirlemede en çok kullanılan yöntemler anlatılmış ve karşılaştırılmıştır. Karar vericinin değerlendirme kriterlerine ilişkin bilgilerinin sınırlı ya da belirsiz olma durumu için bulanık mantık yaklaşımı ele alınmıştır. Ağırlıkların C-ÇKKV'de kullanımına örnek oluşturmak amacıyla, yeni bir toplu konut yeri seçimi örneğinde ikili karşılaştırma yöntemiyle ağırlıkların belirlenmesi ayrıntılı olarak açıklanmış, ağırlıkların C-ÇKKV'de kullanımı Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (Weighted Linear Combination) yöntemi üzerinde gösterilmiştir.

## **2. AĞIRLIKLARIN BELİRLENMESİ**

Kriterler karar vericiler için farklı ağırlıklarda olabilir. Bu nedenle kriterlerin bağlı önemi hakkında bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Kriter ağırlıkları, karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak oluşturulur. Ağırlık verme işlemi, genelde her bir kriter için diğer kriterlere göre bağlı önemini gösteren bir ağırlığın atanmasıyla gerçekleştirilir [4].

Değerlendirme kriterlerine önemlerine göre atanan ağırlıklar, her bir kriterin sahip olduğu çeşitli değerlerin bu ağırlıklara göre değişimini ve bu değişimlere bağlı olarak farklı sayısal değerlerin oluşturulmasını sağlar. Ağırlıkları tek başına değerlendirme kriterlerinin genel bir ölçütü olarak yorumlamak yanıltıcıdır. Ağırlık değerleri kriterlerin sınıf değerleriyle işleme konulduğundan, her bir kriter için en yüksek ve en düşük değerler arasındaki farka ve bunlar arasında aldığı değerlere bağlıdır.

Kriter ağırlıkları, kullanılacak sayı aralığını artırarak veya azaltarak keyfi olarak büyük veya küçük değerler seçilebilir. Ancak, ağırlıklar genelde toplamı 1 olacak şekilde normalleştirilir. n adet kriter olması durumunda ağırlıkların kümesi (w),

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n) \text{ ve } \sum w_j = 1 \quad (1)$$

olarak tanımlanır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde başlıca yöntemler şunlardır:

- Sıralama (Ranking)
- Puanlama (Rating)

- İkili Karşılaştırma (Pairwise Comparison)
- Tercih Önceliği Analizi (Trade-off Analysis)

Bu yöntemler doğrulukları, kullanım kolaylık dereceleri, anlaşılabilirliği ve teorik yapısı bakımından birbirinden farklıdır [2, 4].

### 2.1. Sıralama Yöntemi (Ranking Method)

Kriterlere önemlerine göre ağırlıklarının atanması için en basit yöntem, kriterleri önem derecelerine göre sıraya dizmektir. Yani her kriter karar vericinin tercihine göre sıralanır [4, 5]. Bu amaçla normal sıralama (straight ranking) ya da ters sıralama (invers ranking) kullanılabilir.

Normal sıralamada; en önemli kriter =1, ikinci önemli kriter =2,... ve ters sıralamada ise en az öneme sahip kriter =1, bir sonraki az öneme sahip kriter =2,... biçiminde sıralanır.

Bir kriter kümesi sıralandığında, sıralama düzeninden sayısal olarak ağırlıkların elde edilmesi için çok sayıda yöntem vardır. Bunlar arasında en çok kullanılan yaklaşımlar (Çizelge 1):

- Sıralama toplamı (Rank sum)
- Sıralamanın tersinin alınması (Rank reciprocal)
- Sıralamanın üslü kuvvetlerinin alınması (Rank exponent)

Sıralama toplamı yöntemine göre ağırlıklar,

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum(n - r_k + 1)} \quad (2)$$

formülüne göre hesaplanır.

Burada;

$w_j$  = j. kriter için normalleştirilmiş ağırlık

$n$  = kriter sayısı ( $k = 1, 2, \dots, n$ )

$r_j$  = kriterin sırası

Her bir kriterin  $(n - r_j + 1)$  bağıntısına göre ağırlıkları belirlenir ve bu ağırlıklar bütün ağırlıkların toplamıyla  $(\sum(n - r_k + 1))$  normalleştirilir.

Sıralamanın tersi alınarak ağırlıkların elde edilmesi yönteminde ağırlıklar, bir kriterin önem sırasının tersinin normalleştirilmesiyle türetilir. Ağırlıkları hesaplamak için,

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum(1/r_k)} \quad (3)$$

bağıntısı kullanılır.

Sıralamanın üslü kuvvetleri alınarak ağırlıkların elde edilmesinde bir parça daha ek bilgi gereklidir. Burada, karar vericinin 0-1 aralığında en önemli kriterin ağırlığını belirlemesi gerekmektedir. Bu ağırlık,

$$w_j = \frac{(n - r_j + 1)^p}{\sum(n - r_k + 1)^p} \quad (4)$$

bağıntısında işleme konulur ve "p" iteratif yöntemle çözülür. p belirlendikten sonra, kalan kriterler için ağırlıklar hesaplanabilir. Bu yaklaşımda  $p = 0$  için tüm kriterler eşit ağırlıklı olur ve  $p = 1$  için ise ağırlıklar, sıralama toplamı yöntemiyle elde edilen ağırlıklara eşit olur [4].

Sıralama yöntemleri oldukça basittir. Yine de bu yöntemin pratik kullanımı, sıralanacak kriterlerin sayısı ile sınırlıdır. Genelde çok fazla sayıda kriter kullanıldığında, bu yöntem çok uygun değildir. Sıralama yöntemlerinin teorik yapı bakımından eksik olduğu, yaklaşık ağırlık belirlemede kullanılabileceği araştırmacılarca belirtilmiştir [4, 5].

Çizelge 1. Sıralama yöntemiyle ağırlıkların belirlenmesi [5]

| Kriter | Sıra Toplamı |                          | Sıralamanın Tersisi          |                             | Sıralamanın Üslü Kuvvetleri  |   |                              |
|--------|--------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|------------------------------|
|        | Sıra         | Ağırlık<br>( $n-r_j+1$ ) | Normalleştirilmiş<br>Ağırlık | Ters Ağırlık<br>( $1/r_j$ ) | Normalleştirilmiş<br>Ağırlık | Ağırlık<br>( $n-r_j+1$ ) <sup>p</sup> , p=2 | Normalleştirilmiş<br>Ağırlık |
| A      | 4            | 2                        | 0.133                        | 0.250                       | 0.109                        | 4   | 0.073                        |
| B      | 2            | 4                        | 0.267                        | 0.500                       | 0.219                        | 16  | 0.291                        |
| C      | 5            | 1                        | 0.067                        | 0.200                       | 0.088                        | 1   | 0.018                        |
| D      | 1            | 5                        | 0.333                        | 1.000                       | 0.438                        | 25  | 0.454                        |
| E      | 3            | 3                        | 0.200                        | 0.333                       | 0.146                        | 9   | 0.164                        |
| Toplam |              | 15                       | 1.000                        | 2.283                       | 1.000                        | 55  | 1.000                        |

## 2.2. Puanlama Yöntemi (Rating Method)

Puanlama yönteminde, karar vericilerin daha önce tanımlanmış bir sayısal aralık temelinde ağırlıkları kestirmesi gerekir. Örneğin 0'dan 100'e kadar değerler kullanılabilir [4, 6]. En basit puanlama yöntemlerinden biri puan tahsisi (point allocation) yaklaşımıdır. Bu yöntemde karar vericinin ilgilenilen kriterler için 100 puanı tahsis etmesi gerekir. Yöntem, özel olarak 0-100 aralığında puanların verilmesine dayalıdır. Diğerlerine göre daha yüksek puanlı bir kriter, daha büyük bağıl önem anlamındadır. Örneğin, bir fabrika yeri seçimi probleminin ulaşım sistemine yakınlık, fabrika kuruluş maliyeti ve su temini gibi 3 kriterden oluştuğu düşünülecek olursa; örnek olarak karar verici ulaşım sistemine erişime 30 puan, fabrika kuruluş maliyetine 50 puan ve su teminine 20 puan verebilir. Sonuç olarak ağırlıklar bu 3 kriterle göre sırasıyla 0.3, 0.5 ve 0.2 olarak atanabilir [4].

Puanlama yönteminde (Çizelge 2) ideal olarak tüm kriterlere verilen puanların toplamının 100 olması istenebilir. Ancak bu durum nadiren elde edilebilir ve genelde pratikteki uygulamalarda puanlar toplamı 100 olacak şekilde düzeltilir [6].

Çizelge 2. Puan tahsisi yöntemine göre ağırlıkların belirlenmesi [6]

| Kriter | Puan | Düzeltilmiş Ağırlıklar | Oran (%) |
|--------|------|------------------------|----------|
| A      | 30   | 30/(110/100)           | 27       |
| B      | 35   | 35/(110/100)           | 32       |
| C      | 45   | 45/(110/100)           | 41       |
| Toplam | 110  |                        | 100      |

Düzeltilme formülü: Kriter puanı/(toplam puan/100)

Puan tahsisi yönteminin bir alternatifi, oran kestirimi (ratio estimation) işlemidir (Çizelge 3). İşlem, puan tahsisi yönteminin değiştirilmiş bir halidir. Bu yöntem en önemli kriterle keyfi bir puanın atanmasıyla başlar. Örneğin en önemli kriterle 100 puan atanabilir. Sıralamada daha az öneme sahip kriterlere orantılı olarak daha düşük puanlar verilir. Bu işlem, en az öneme sahip kriterle puan verilinceye kadar devam eder. Buna göre, en az önemi olan kriterle verilen puan, oran hesaplamaları için temel alınır.

Yöntemde her bir kriterle verilmiş olan puanlar en az önemi olan kriterin puanına bölünür. Yani oran  $w_j/w^*$  'ye eşittir. Burada  $w^*$  en düşük puan ve  $w_j$  ise j. kriterin puanıdır. Bu oran, bir kriterin en düşük öneme sahip kriterle göre bağıl tercih edilirliliğini gösterir. Yöntem tüm kriterler için ağırlıklar atanıncaya kadar bir sonraki en önemli kriter için tekrarlanır. Sonuçta ağırlıklar her bir ağırlığın toplama bölünmesiyle toplamaları 1 olacak şekilde normalleştirilir. Oran

kestirimi yönteminde sayıların 0'a bölümü tanımsız olduğundan, puanlamada sıfır değeri ihmal edilir [4, 5].

**Çizelge 3.** Oran kestirimi yöntemine göre ağırlıkların belirlenmesi [4]

| Kriter | Sıra | Oran Ölçeği | Orijinal Ağırlık | Normalleştirilmiş Ağırlık |
|--------|------|-------------|------------------|---------------------------|
| A      | 4    | 50          | 5                | 0.168                     |
| B      | 2    | 75          | 7.5              | 0.252                     |
| C      | 5    | 10          | 1                | 0.034                     |
| D      | 1    | 100         | 10               | 0.335                     |
| E      | 3    | 63          | 6.3              | 0.211                     |
| Toplam |      |             | 29.8             | 1.000                     |

Puanlama yöntemi kriterlerin önemini hem sıralı hem de birbirine göre büyüklükleriyle göstermesi yönünden avantajlıdır [6].

### 2.3. İkili Karşılaştırma Yöntemi (Pairwise Comparison Method)

İkili karşılaştırma yöntemi Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir ve çok sayıda kriterle bağlı olarak karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi İşleminde (Analytic Hierarchy Process: AHP) kullanılmaktadır [7]. Bu yöntemde oran matrislerini yaratmak için ikili karşılaştırmalar yapılır. Yöntemde ikili karşılaştırmalar girdi veri olarak alınır ve çıktı veri olarak bağıl ağırlıklar oluşturur. Ağırlıklar, oran matrisinin maksimum özdeğeriyle (eigenvalue) özvektörün (eigenvector) normalleştirilmesiyle belirlenir [4].

İkili karşılaştırma terimi iki faktörün ya da kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargılarına dayanır. İkili karşılaştırmalar karar kriterlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmıştır. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir.

İkili karşılaştırma yargılarının oluşturulmasında, başka bir ifade ile karar verici tarafından A kriterinin B kriterine göre ne kadar önemli olduğuna karar verilmesi için Çizelge 4'te gösterilen (1-9) puanlı tercih ölçeğinden faydalanılmaktadır. Bu ölçeğin etkinliği çeşitli alanlardaki uygulamalar ve başka ölçeklerle yapılan teorik karşılaştırmalar sonucunda saptanmıştır [8].

**Çizelge 4.** Tercih ölçeği [7]

| Önem Derecesi | Tanım                              |
|---------------|------------------------------------|
| 1             | Eşit önemli                        |
| 3             | Orta derecede daha önemli olması   |
| 5             | Kuvvetli derecede önemli olması    |
| 7             | Çok kuvvetli düzeyde önemli olması |
| 9             | Aşırı derecede önemli olması       |
| 2, 4, 6, 8    | Ara değerler                       |

İkili karşılaştırma yönteminin bir avantajı bir seferde sadece 2 kriterin düşünülmesidir. n adet kriter için yöntem,  $n(n-1)/2$  adet karşılaştırmadan oluşur. Örneğin 10 değerlendirme kriterli bir karar problemi 45 adet ikili karşılaştırma yapmayı gerektirir [4].

İkili karşılaştırma yöntemine ilişkin çeşitli eleştiriler bulunmaktadır. 1-9 ölçeği ile yapılan ikili karşılaştırmalar bazı problemlerde karar vericiyi tutarsızlığa da götürebilmektedir. Örneğin Kriter A Kriter B'den 5 kat ve Kriter B de Kriter C'den 5 kat daha önemli olarak kabul

edilirse Kriter A'nın Kriter C'den 25 kat daha önemli olduğu hükmüne varılabilir ki bu durum olanaklı değildir [9].

Yöntem zaman alıcıdır. Bunun için gerekli hesaplamaları yapan bilgisayar programları vardır. İkili karşılaştırma yöntemi bir çok araştırmacı tarafından C-ÇKKV işlemleriyle birleştirilmiş, teorik açıdan ve deneyimlerle test edilmiştir [4].

### **2.3.1. Tutarlılık**

Sonuç kararın kalitesi bakımından önemli bir konu, ikili karşılaştırma sürecinde karar verici tarafından belirlenen yargıların tutarlılığıdır. Tutarlı olmak rasyonel düşünüşün bir önkoşulu olarak kabul edilir. Ancak uygulamada tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse imkansızdır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından önerilen bir tutarlılık oranı (consistency ratio) kullanılmaktadır. Literatürde alternatif tutarlılık ölçüm çalışmaları da görülmektedir. İkili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı hesaplanır. Bu oran için Saaty tarafından önerilen üst limit 0.10'dur. Yargılar için hesaplanan tutarlılık oranı 0.10'un altında ise yargıların yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmenin devam edebileceği kabul edilmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0.10'un üstünde ise yargılar tutarsız kabul edilmektedir. Bu durumda yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gerekir. Tutarlılık oranı yargıların yeniden gözden geçirilmesiyle düşürülebilir. Ancak bu işlemde başarısız olunursa, problemin daha doğru bir biçimde tekrar kurulması ve sürecin en baştan ele alınması gerekir [8].

Tutarlılık oranının belirlenmesi için, ağırlıklı toplam vektör belirlenir ve buna göre tutarlılık vektörü hesaplanır. Tutarlılık vektörü hesaplandıktan sonra  $\lambda$  ve tutarlılık indeksi (CI) hesaplanır.  $\lambda$ , tutarlılık vektörünün ortalama değeridir. Tutarlılık indeksinin karşılaştırılan kriter sayısına bağlı olarak değişen tesadüflik göstergesine (RI) bölünmesiyle tutarlılık oranı (CR) hesaplanır [4].

### **2.4. Tercih Önceliği Yöntemi (Trade-off Analysis Method)**

Tercih önceliği analizi yöntemi doğrudan doğruya önceliklerin belirlenmesine dayanır. Karar verici alternatif çiftleri arasında tercih yapar. Bu yaklaşımda karar verici bir defada 2 kriter göze 2 alternatifin (örneğin A ve B) karşılaştırmasını yapar ve hangi alternatifin tercih edileceğine karar verir. Karar verici A alternatifinin B'ye ya da B alternatifinin A'ya tercih edilip edilmeyeceğini veya iki alternatif arasında tercih yapılamayacağını belirler. Böyle yargılar yapılırken, çeşitli kriterlere ne kadar ağırlıkların atanacağı sonucuna ulaşılabilir. Yöntemde, karar verici tercih önceliğini herhangi 2 kriter arasında diğer kriterlere bağlı olmaksızın yapar [4, 5].

Tercih önceliği analizi kriterler arasında tercih yapılmasına dayalıdır. Karar verici C1 kriterinin bir birimi C2 kriterinin ne kadarlık birimine eşittir veya C2'nin bir birimini elde etmek için C1'den ne kadarlık birim karşılık verilmeli gibi sorulara cevap vermek zorundadır. Kriter çiftleri için bu tür sorular cevaplandırılarak bütün kriterlerin ağırlıkları bulunabilir. Örneğin C1, C2 ve C3 gibi 3 kriterli bir problemde, bir birim C1 kriteri kaç birim C2 kriterine eşittir sorusunun cevabının 2 olduğu varsayılırsa C1/C2=2 olacaktır. Benzer şekilde bir birim C2 kriteri kaç birim C3 kriterine eşittir sorusunun cevabının 1.5 olduğu düşünülürse C2/C3=3/2 olacaktır [10].

$$\left. \begin{array}{l} C_1 = 2C_2 \\ 2C_2 = 3C_3 \\ C_1 + C_2 + C_3 = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow 2C_2 + C_2 + 2/3C_2 = 1 \Leftrightarrow C_2 = 3/11$$
$$C_1 = 2 \times \frac{3}{11} = \frac{6}{11}$$
$$C_3 = \frac{2}{3} \times \frac{3}{11} = \frac{2}{11}$$

Bir amaç için en uygun yer seçimi probleminin maliyet, eğitim ve bakım kriterlerine dayalı olarak tercih önceliği yaklaşımı ile çözümlenmek istendiği ve karar vericinin 2 kriter arasındaki seçiminin Çizelge 5'te temsil edildiği varsayalım. Probleme göre, karar verici iki yer alternatifine göre tercihlerini belirleyecektir. Çizelgeye göre karar verici 1 birim eğitim kriterine karşılık, maliyet kriterine 0.6 birim vermiştir.

**Çizelge 5.** Maliyet ve eğitim kriterleri için tercih önceliği analizi [4]

| A Alternatifi |        | B Alternatifi |        | Tercih  |
|---------------|--------|---------------|--------|---------|
| Maliyet       | Eğitim | Maliyet       | Eğitim |         |
| 0             | 1.0    | 1.0           | 0      | A       |
| 0.2           | 1.0    | 1.0           | 0      | A       |
| 0.4           | 1.0    | 1.0           | 0      | A       |
| 0.6           | 1.0    | 1.0           | 0      | Farksız |
| 0.8           | 1.0    | 1.0           | 0      | B       |
| 1.0           | 1.0    | 1.0           | 0      | B       |

Buna bağlı olarak  $w_1 = (1/0.6)w_2$  ya da  $w_1 = 1.667w_2$  şeklinde elde edilebilir. Benzer bir Çizelge maliyet ve bakım kriterleri için oluşturularak  $w_1 = (1/0.3)w_3$  ya da  $w_1 = 3.333w_3$  ilişkisinin elde edildiği varsayılırsa iki kriter arasında verilen iki ilişkiden ağırlıklar hesaplanabilir.

$$w_1 = 1.667w_2$$

$$w_1 = 3.333w_3$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

buna göre;

$$w_1 = 0.526$$

$$w_2 = 0.316$$

$$w_3 = 0.158$$

Tercih önceliği analizinin yalnızca kantitatif değerlendirme kriterleri ile kullanılması önerilmektedir [4, 5].

## 2.5. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Çok sayıda kritere göre karar verme problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde hangi yöntemin kullanılacağı karar vericinin önceliklerine bağlıdır. Karar verici kullanım kolaylığı, doğruluk, anlaşılabilirliği, teorik yapısı, bilgisayar yazılımlarının elde edilebilirliği ve yöntemin C-ÇKKV'ye entegre edilip edilemeyeceğini değerlendirerek yönetime karar verir. Örneğin ağırlıkların elde edilmesinde kullanım kolaylığı ve hızlı çözüm isteniyorsa sıralama ya da puanlama yöntemlerinden biri kullanılabilir. Diğer yandan eğer doğruluk ve teorik yapı ana düşünce ise, ikili karşılaştırma veya tercih önceliği analizi uygun olur. İkili karşılaştırma ve tercih önceliği analizi kullanılarak ağırlıkların elde edilmesi için bazı yazılımlar mevcuttur. Ayrıca bu yöntemler hesaplama programlarıyla da gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak, kriter ağırlıklarının bulunması yöntemleri birçok CBS sistemine entegre edilebilir. Deneysel uygulamalar C-ÇKKV'de ikili karşılaştırma yönteminin en etkili yöntemlerden biri olduğunu belirtmektedir. Deneylere bağlı olarak, Lai ve Hopkins (1995) ikili karşılaştırma yönteminin etkililik yönünden

tercih önceliği yönteminden çok az farklı olduğunu göstermiş ve ikili karşılaştırma yönteminin zaman yönünden tercih önceliği yaklaşımından daha iyi olduğunu tespit etmiştir [2, 4, 5].

## 2.6. Belirsizlik

Karar verici değerlendirme kriterlerine ilişkin bilgilerin sınırlı ya da belirsiz olması durumunda yeteri kadar duyarlı yargılar oluşturamayabilir. Kriterlerin bağıl önemine ait belirsizlik durumu ile ilgili çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan biri bulanık mantık (fuzzy logic) uygulamasıdır. Ağırlıklara ilişkin belirsizlik bulanık mantık ile çözümlenebilir [2, 4, 5].

### 2.6.1. Bulanık Mantık ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterlerin bağıl önemine ait belirsizlik durumunda, karar verici değerlendirme kriterleriyle ilgili tercihlerini “önemli”, “daha önemli”, “çok önemli”, “oldukça çok önemli” vb. sözel (linguistic) terimlerle ifade eder. Bu terimler bulanık sayılara dönüştürülür. Bu sayılar belirli bir aralıkta gerçel sayılardır. Sözel terimleri, karşılığı olan bulanık sayılara sistematik olarak dönüştürmek için çok sayıda numerik yaklaşım önerilmiştir. Chen ve Hwang (1992) tarafından önerilen dönüşüm Çizelge 6’da verilmiştir. Bu dönüşüm, 4, 6, 8 adet ve daha fazla sözel terim için genişletilebilir [4].

**Çizelge 6.** Sözel terimlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi [4]

| Sözel Terim | Sözel Terim Sayısı |                   |                     |                   |                     |
|-------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|             | 2                  | 3                 | 5                   | 7                 | 9                   |
| Çok düşük   |                    |                   | (0,0,0.1,0.2)       | (0,0,0.1,0.2)     | (0,0,0,0.1)         |
|             |                    |                   |                     |                   | (0,0,0.1,0.2)       |
| Düşük       |                    | (0,0,0.2,0.4)     | (0.1,0.25,0.25,0.4) | (0.1,0.2,0.2,0.3) | (0.2,0.2,0.2,0.4)   |
|             |                    |                   |                     | (0.2,0.3,0.4,0.5) | (0.2,0.35,0.35,0.5) |
| Orta        | (0.4,0.5,0.5,0.8)  | (0.2,0.5,0.5,0.8) | (0.3,0.5,0.5,0.7)   | (0.4,0.5,0.5,0.6) | (0.3,0.5,0.5,0.7)   |
|             |                    |                   |                     | (0.5,0.6,0.7,0.8) | (0.5,0.65,0.65,0.8) |
| Yüksek      | (0.5,0.8,0.8,1)    | (0.6,0.8,1,1)     | (0.6,0.75,0.75,0.9) | (0.7,0.8,0.8,0.9) | (0.6,0.8,0.8,1)     |
|             |                    |                   |                     |                   | (0.7,0.9,1,1)       |
| Çok yüksek  |                    |                   | (0.8,0.9,1,1)       | (0.8,0.9,1,1)     | (0.8,1,1,1)         |

Uygun bir yer seçimi probleminin maliyet (m), eğim (e) ve bakı (b) gibi 3 temel kriterle dayalı olduğu ve karar vericinin bu üç kriterin bağıl önemi konusunda net bir karara varamadığı, yalnızca maliyet kriterini çok önemli, eğim kriterini ikinci derecede önemli ve bakı kriterini ise önemli olarak değerlendirdiği varsayılınsın. Bu üç durum sözel terimlere göre işleme konulabilir. Buna göre; sözel terimler değerlendirme kriterlerinin ağırlığı olarak düşünülürse, maliyet, eğim ve bakı kriterleri için ağırlıklar sırasıyla sözel terimleriyle;

$w_m$  = çok önemli

$w_e$  = ikinci derecede önemli

$w_b$  = önemli

şeklinde ifade edilebilir.

Sözel terimlerle temsil edilen ağırlıklar karşılığı olan bulanık sayılarına dönüştürülebilir. Bunun için Çizelge 6 kullanıldığında üç terimli ölçülendirmeye göre ağırlıklar,



$w_m = (0.6, 0.8, 1, 1)$   
 $w_e = (0.2, 0.5, 0.5, 0.8)$   
 $w_b = (0, 0, 0.2, 0.4)$   
 şeklinde elde edilir [4].

### 3. UYGULAMA

Uygulama alanı Samsun ili Atakum beldesinde, 11.6 km<sup>2</sup> kaplayan bir bölgedir. Karar verme problemi yeni toplu konut alanları için en uygun yerlerin belirlenmesini içermektedir. En uygun alanların belirlenmesinde jeolojik durum, toprak arazi kullanım kabiliyet sınıfları, eğim ve bakı kriterleri ele alınmıştır.



Şekil 1. Uygulama alanı

Uygulamada 1/25000 ölçekli toprak arazi kullanım kabiliyet sınıfları haritası, halihazır haritalara işlenmiş gözlemsel jeolojik etüt bilgileri ile eğim ve bakı katmanlarının elde edilmesi için 32 adet 1/1000 ölçekli halihazır haritanın yükseklik verileri kullanılmıştır. İlk aşamada uygulama alanı içerisindeki kısıtlamalar belirlenmiş ve buna göre orman ve mera alanları değerlendirmeye alınmamıştır. ArcGIS 9.0 yazılımı ile 10 m hücre boyutlu eğim ve bakı katmanları hazırlanmış ve sayısal vektör formattaki arazi kullanım kabiliyet sınıfları ve jeolojik durum verileri 10 m hücre boyutlu raster veriye dönüştürülmüştür.

Uygulama alanındaki 2. sınıf araziler ile aktif heyelanlı alanlar da yerleşim amaçlı kullanılmayacağından, bu yerler de orman ve mera alanlarıyla birleştirilerek arazi kullanım kabiliyet sınıfları, jeolojik durum, eğim ve bakı katmanlarından çıkarılmıştır.

Kriterlere ait katmanlar, subjektif değerlendirmeler sonucunda sınıflarına ya da sayısal değerlerine göre 1-10 arasında puanlandırılmıştır. Kriter sınıflarına bağlı olarak, 10 değeri en uygun yeri, 1 değeri en az uygun yeri ifade etmektedir. Her kriter için sınıf değerleri Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanılmasına Dair Yönetmeliğin 8. maddesine göre tarım dışı amaçlı kullanılacak arazilerde ihtiyaçların öncelikle VIII. sınıf arazilerden karşılanması; bu sınıf arazilerden karşılanamaması durumunda VII., VI., V., IV. ve III. sınıf kuru

### Criterion Weighting in Multicriteria Decision Making ...

tarım arazilerinden VII. sınıftan III. sınıfa doğru bir öncelik sırası gözetilmek koşuluyla karşılanabileceği belirtilmektedir. Buna göre, çalışma alanında puanlamada en yüksek değer VI. sınıf, en düşük değer III. sınıf arazilere verilmiştir. Jeolojik durumda ise, en yüksek değer uygun alana, en düşük değer önlemlili alana (yer altı suyu, stabilite, şişme, sıvılaşma vb. sorunların belirlendiği alanlar) verilmiştir.

Eğim kriterinde %5'ten düşük eğimler en yüksek, %30'dan fazla olan eğimler en düşük puanla değerlendirilmiştir. Eğimin %30'dan daha fazla olması yerleşim açısından uygun olmamasına rağmen, bitişik alanlarında uygun eğimlerin bulunması ve %30'lara yakın olan eğimlerin komşu alanlarla birleştirilebileceği göz önüne alınarak bir kısıtlama olarak kabul edilmeyip en düşük puan olan 1 değeri verilmiştir. Bakı kriterinde, uygulama alanının deniz manzarasına sahip olması nedeniyle denize yönelim ilk öncelik, güneşe yönelim ise ikinci öncelik olarak ele alınmış olup, değerlendirme bu esaslara göre yapılmıştır. Bölgenin deniz manzarasına hakim yönü kuzeydoğu olması nedeniyle en yüksek puanla değerlendirilmiştir. Batı ve kuzeybatıya yönelime ise en düşük puan verilmiştir.

Çizelge 7. Kriter katmanlarının hazırlanmasında esas alınacak değerler

| Arazi Kullanım Kabiliyeti Değer |    | Jeolojik Durum Değer |    |
|---------------------------------|----|----------------------|----|
| VI. Sınıf Arazi                 | 10 | Uygun Alan           | 10 |
| IV. Sınıf Arazi                 | 7  | Sondaj Şartlı Alan   | 6  |
| III. Sınıf Arazi                | 2  | Önlemlili Alan       | 2  |

| Eğim    | Değer | Bakı      | Değer |
|---------|-------|-----------|-------|
| < %5    | 10    | Kuzeydoğu | 10    |
| % 5-10  | 8     | Doğu      | 9     |
| %10-15  | 6     | Kuzey     | 8     |
| %15-20  | 4     | Güney     | 7     |
| % 20-30 | 2     | Güneydoğu | 6     |
| >% 30   | 1     | Güneybatı | 5     |
|         |       | Batı      | 3     |
|         |       | Kuzeybatı | 2     |

Çizelge 7'deki değerlere göre kriter katmanları oluşturulduktan sonra kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkların belirlenmesi için ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 8 ve Çizelge 9). Ağırlıkların hesabı için, ikili karşılaştırma matrisinin her sütunundaki değerler toplanarak matristeki her eleman sütun toplamına bölünür (sonuç matris, normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisidir). Normalleştirilmiş matrisin her satırındaki elemanların ortalaması hesaplanarak kriterlerin bağlı ağırlıkları bulunur. Buna göre ağırlıklar jeoloji, toprak, eğim ve bakı kriterleri için sırasıyla 0.497, 0.068, 0.314 ve 0.121 olarak bulunmuştur.

Çizelge 8. Değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

| Kriter  | Jeoloji | Eğim | Bakı | Toprak |
|---------|---------|------|------|--------|
| Jeoloji | 1       | 2    | 4    | 6      |
| Eğim    | 1/2     | 1    | 3    | 5      |
| Bakı    | 1/4     | 1/3  | 1    | 2      |
| Toprak  | 1/6     | 1/5  | 1/2  | 1      |

Çizelge 9. Bağlı kriter ağırlıkları

| Kriter  | 1. Adım |       |       |        | 2. Adım |       |       |        | Ağırlık |
|---------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|
|         | Jeoloji | Eğim  | Bakı  | Toprak | Jeoloji | Eğim  | Bakı  | Toprak |         |
| Jeoloji | 1       | 2     | 4     | 6      | 0.522   | 0.566 | 0.471 | 0.429  | 0.497   |
| Eğim    | 0.500   | 1     | 3     | 5      | 0.261   | 0.283 | 0.353 | 0.357  | 0.314   |
| Bakı    | 0.250   | 0.333 | 1     | 2      | 0.130   | 0.094 | 0.118 | 0.143  | 0.121   |
| Toprak  | 0.167   | 0.200 | 0.5   | 1      | 0.087   | 0.057 | 0.059 | 0.071  | 0.068   |
| Toplam  | 1.917   | 3.533 | 8.500 | 14.000 | 1.000   | 1.000 | 1.000 | 1.000  | 1.000   |

İkili karşılaştırmalarda tutarlılığın belirlenmesi amacıyla tutarlılık oranı hesaplanmış (Çizelge 10) ve 0.012 olarak bulunmuştur. Bu değer 0.10 dan küçük olduğu için yargılar tutarlıdır.

Çizelge 10. Tutarlılık oranının belirlenmesi

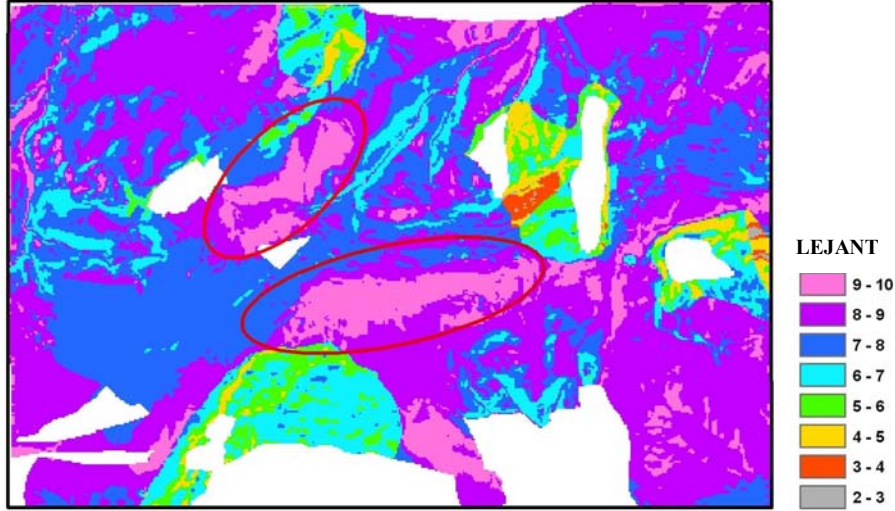
| Kriter  | 1. Adım   | 2. Adım |
|---------|---|---------|
| Jeoloji | $0.497 \times 1 + 0.314 \times 2 + 0.121 \times 4 + 0.068 \times 6 = 2.015$         | 4.058   |
| Eğim    | $0.497 \times 0.5 + 0.314 \times 1 + 0.121 \times 3 + 0.068 \times 5 = 1.264$       | 4.032   |
| Bakı    | $0.497 \times 0.25 + 0.314 \times 0.333 + 0.121 \times 1 + 0.068 \times 2 = 0.485$  | 4.017   |
| Toprak  | $0.497 \times 0.167 + 0.314 \times 0.2 + 0.121 \times 0.5 + 0.068 \times 1 = 0.274$ | 4.029   |

$$\lambda = \frac{4.058 + 4.032 + 4.017 + 4.029}{4} = 4.034$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.011$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.011}{0.90} = 0.012$$

C-CKKV'de Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme yöntemine göre, kriter katmanları ağırlıklarıyla çarpılır ve toplanır. Ağırlıklar toplamı 1 olacak şekilde ve kriter katmanları da 1-10 aralığında standartlaştırıldığı için, sonuç değerler 1-10 aralığında kalacaktır. Uygulamada jeoloji, toprak ve bakı kriterlerinin en kötü koşulu için 2, sadece eğim kriterinin en kötü koşulu için 1 değeri verilmiştir. Bu nedenle sonuç analiz değerlerinde en düşük değer 2 olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Ağırlıklı kriterlere göre elde edilen sentez katmanı

Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme yöntemine göre, 2-10 aralığında elde edilen sonuçlar, eşit aralıklı 8 adet sınıfa (9-10, 8-9, 7-8, 6-7, 5-6, 4-5, 3-4, 2-3) gruplandırılmıştır. Sentez katmanına (Şekil 2) göre yüksek değerli alanlar jeolojik durum, toprak arazi kullanım kabiliyeti, eğim ve baki kriterlerine göre toplu konut alanı için en uygun yerleri, düşük değerli alanlar ise uygun olmayan yerleri göstermektedir. Buna göre, 9-10 değerleri arasındaki alanlar yeni toplu konut yerleri için birinci öncelikli uygun yerler, 8-9 değerleri arasındaki alanlar ikinci olarak tercih edilebilecek bölgelerdir. En az tercih edilecek yerler, 2-3, 3-4 ve 4-5 değer aralığında bulunan alanlardır.

#### 4. SONUÇ

Karar verme sürecinin en önemli aşamalarından biri kriterlerin ağırlıklarının bir başka ifadeyle önem düzeylerinin belirlenmesidir. Kriterlere verilecek ağırlıklar karar analizinin sonucunu doğrudan etkilemektedir. Analizin doğruluğu, ağırlıkların yeterli doğrulukta belirlenmesine bağlıdır. Kriter ağırlıklarını belirlemede çeşitli yöntemler bulunmakta ve bu yöntemler doğrulukları, kullanım kolaylık dereceleri, anlaşılabilirliği ve teorik yapısı bakımından birbirinden farklı olduğundan ağırlıkların belirlenmesinde hangi yöntemin kullanılacağı karar vericinin önceliklerine göre değişmektedir. Sıralama ve puanlama yöntemleri kullanım yönünden daha kolay olmasına karşın ikili karşılaştırma ve tercih önceliği analizi yöntemleri daha doğru sonuç vermektedir. Kriterlere ilişkin bilgilerin sınırlı ya da belirsiz olması durumunda ise bulanık mantık kullanılarak çözüme gidilmektedir.

Bu makalede kriter ağırlıklarının C-ÇKKV yaklaşımında nasıl kullanıldığına örnek oluşturmak amacıyla, seçilen uygulama alanında yeni toplu konut yeri seçimi için eğim, baki, jeolojik durum ve toprak arazi kullanım kabiliyeti kriterleri ele alınmıştır. Kriter ağırlıklarını belirlemede ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırma, ağırlık belirlemede en doğru sonuç veren yöntemlerden biri olup, yapılan değerlendirmelerin tutarlılığının kontrol edilebilmesi de yöntemin etkinliğini arttırmaktadır.

Sonuç olarak, ağırlıkları belirlemede hangi yöntemin kullanılacağına yöntemin kolaylığı, doğruluğu, kriterlere ilişkin yeteri kadar bilginin olup olmadığı, çalışmanın amacı ve gerektirdiği hassasiyet dikkate alınarak karar verilir. Ancak hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın,

ağırlıkları belirlemede subjektif değerlendirmeler yapıldığından gerektiğinde konuyla ilgili uzman görüşlerinden yararlanılmalı ve değerlendirmede yeterli özen gösterilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- [1] Evren R. ve Ülengin F., “Yönetimde Karar Verme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1992.
- [2] Malczewski J., “Spatial Multicriteria Decision Analysis”, Jean – Claude Thill, Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis, 1999.
- [3] Rashed T. and Weeks J., “Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas”, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 17, No. 6, 547-576., 2003.
- [4] Malczewski J., “GIS and Multicriteria Decision Making”, John Wiley and Sons, Newyork, 1999.
- [5] Strager M. P., “Integrating Criteria Preferences and Spatial Data to Prioritize Lands for Preservation in Cacapon River Watershed, West Virginia”, Final Report to the Canaan Valley Institute, Task Order NRAC 2002-09, 2002.
- [6] Thomas F., Ulrich S., Schlenzig C., “Ranking Methodologies for Sustainable Development and CDM Projects Checklists”, Final Project Document, 2001.
- [7] Saaty T. L., “The Analytic Hierarchy Process”, McGraw-Hill Comp., U.S.A., 1980.
- [8] Kuruüzüm A. ve Atsan N., “Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları”, Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (1) 2001, 83-105, 2001.
- [9] Yılmaz E., “Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinin Çözümü”, DOA Dergisi No:5, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını, Sayfa 95-122, Tarsus, 1999.  
<http://www.foresteconomics.org/ersinyayinlar.htm>
- [10] Ahmadi M., “Crime Mapping and Spatial Analysis”, MSc. Thesis, International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede, The Netherlands, 2003.