

ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİNDEN ELECTRE

Dr. Ahmet TÜRKER¹⁾

Kısa Özet

Karar verme problemleri, tek ölçütlü ve çok ölçütlü olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Doğal olarak çok ölçütlü karar verme problemlerinde birden çok amaç gözetilmektedir. Bu nedenle de verilecek karar daha gerçekçi olabilmektedir. Çok ölçütlü problemin çözümü için birçok teknik geliştirilmektedir. Bu makalede ELECTRE tekniği tanıtılmaktadır. Teknik çok ölçütlü karar verme zorunluluğu ortaya çıkan pek çok alanda yaygınlık kazanmaktadır.

ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME PROBLEMİ

Bir karar verme problemi genel olarak belirli bir seçenek kümesinden bir tanesinin en az bir amaca veya ölçüte göre en uygun olanının belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir. Karar verme probleminin en yalın şekli tek ölçüte göre karar vermedir. Ancak ele alınan problemde amaç birden çok ise, söz konusu problem çok ölçütlü karar verme problemi olmaktadır. Tek ölçüte göre karar vermede seçenekler arasında bu ölçüte göre en yüksek değeri alan seçeneği seçmek kolayca mümkün olabilmektedir. Çok ölçütlü karar verme probleminde ise sorun, seçenekler kümesi içinden mevcut ölçütlere göre en iyi sonucu veren çözümü bulmaktır. Bu tür problemlerde genellikle amaçlar birbiriyle çelişkili olduğundan, her amacı en iyi şekilde karşılayan bir seçenek bulmak zordur. Ancak burada hemen bir hususu belirtmekte yarar vardır ki, o da çok amaçlı karar verme problemlerinde geleneksel anlamda en iyileme (optimization) kavramından çok uzlaşma, ara bulma (arbitration), yeterlilik, önemlilik (prominance) gibi kavramlar önem kazanmaktadır (DEMİR et al, s. 225).

Çok ölçütlü karar verme probleminin çözümü için birçok teknik geliştirilmiştir. Bu teknikleri farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Karar vericinin bir kişi veya grup olması; karar verme problemlerinin deterministik veya stokastik yapıda olması; seçeneklerin sonlu veya sonsuz elemanlı bir küme oluşturmaları; problemin kısıt ve amaç fonksiyonlarının lineer veya nonlineer fonksiyonlar olması... vb. sınıflandırmada esas olarak alınabilmektedir (TANYAŞ 1983, s. 28).

ZIONTS tarafından Tablo-1'de gösterildiği gibi, çok ölçütlü karar verme teknikleri, modelin deterministik veya stokastik yapıda olmasına ve modelin kısıt ve seçeneklerinin özelliklerine göre 4 farklı gruba ayrılmıştır (ZIONTS 1980, s. 1.13).

1) İ. Ü. Orman Fakültesi Orman Ekonomisi Anabilim Dalı.

Tablo-1: Çok Ölçütlü Karar Verme Tekniklerinin Sınıflandırılması

	Kapalı Kısıtlar (Açık Çözümler)	Açık Kısıtlar (Kapalı Çözümler)
Deterministik Sonuçlar	Deterministik Ayrık (İng.: discrete) Seçenekler Arasından Seçim veya Deterministik Karar (I)	Deterministik Matematik Programlar (III)
Stokastik Sonuçlar	Stokastik Karar Analizi (II)	Stokastik Matematik Programlama (IV)

KAPALI KISIT TEKNİKLERİ-DETERMINİSTİK SONUÇLAR

Bu gruptaki problemlerde kısıtlar açık (explicit) olarak görülmemektedir. Sorunla ilgili tüm mümkün çözümler (seçenekler) belirlenmekte, bunlar çeşitli ölçütlere göre değerlendirilmektedir.

Seçeneklerin ölçütlere göre aldıkları değerler bir tabloya yerleştirilmektedir. Satır ve sütunlardan meydana gelen tabloda sütunlar seçenekleri ($J=1, \dots, m$), satırlar da ölçütleri ($i=1, \dots, n$) göstermektedir. Her bir satır ve sütunun kesiştiği nokta, bir seçeneğin ölçüte göre aldığı değeri göstermektedir. Tablonun boyutu probleme esas olan seçenek ve ölçütlerin sayısına bağlıdır.

Burada sorun, seçenekler arasında probleme en uygun olanını seçmektir. Eğer bir seçenek esasen tüm ölçütler açısından üstünse, bu durumda herhangi bir işlem yapmaya gerek kalmadan bu seçenek seçilecektir. Ancak gerçekte böyle bir durumla pek karşılaşılmamaktadır. Çünkü, seçenekler bazı ölçütler açısından üstün, bazı ölçütler açısından da düşük bir değer almaktadırlar.

Tüm ölçütler dikkate alınmak üzere, en üstün seçeneğin seçilebilmesi amacıyla, problemin niteliğine göre çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bunların belli başlıları şöylece sıralanabilir (ZIONTS 1980, s. 2.1-24):

- 1) Bir kümenin bütün baskın olmayan çözümlerini bulan teknik,
- 2) Üstünlük ilişkilerine dayanan Electre tekniği,
- 3) Çok boyutlu tercih analizi için lineer programlama teknikleri ve bunun çeşitlemeleri,
- 4) Zionst'ın ayrık seçenek tekniği.

Burada; 1, 3 ve 4 no'lu teknikler konumuz dışında kaldığından bunlara ilişkin açıklama yapılmayacaktır.

Electre Tekniği

Electre tekniği pek çok alanda, çok amaçlı karar verme tekniği olarak kullanılmaktadır. Nitel verileri ağır basan problemlerde, bu verileri nicel hale dönüştürebilen bir teknik olarak çeşitli sorunların çözümünde kullanılabilmektedir.

ELECTRE sözcüğü Elimination Et Choix Traduisant la Réalité sözcüklerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim anlamına gelmektedir.

Teknikte geçen temel kavramlar aşağıda kısaca açıklanacaktır.

a) Seçenekler Kümesi: Seçenekler, bir sorunun çözümünde kullanılabilecek olan birbirinden farklı yaklaşımlardır (BAĞIRKAN 1983, s. 7).

Seçenekler kümesi oluşturulurken bunların mümkün olduğu kadar geniş tutulması gerekir. Seçenekler, karar vericinin kontrolü altındaki kaynaklara bağlıdır ve kontrol edilebilir değişkenlerdir (HALAÇ 1978, s. 21).

b) Ölçütler Kümesi: Ölçütler, seçeneklerin değerlendirilmesinde kullanılan ölçüler, başka bir deyişle araçlardır. Bunlar, karar vericinin gerçekleşmesini istediği amaçlarla bir bütünlük gösterirler. Bir karar verme probleminde ölçütleri tanımlamadan herhangi bir seçeneğin değerlendirilmesi yapılamamaktadır.

Diğer yandan analizlerde ölçütler seçilirken aynı amacı birden çok ölçütle göstermekten kaçınmak gerekir. Ayrıca ölçütün sayısı da önemli olmaktadır. Ölçüt sayısı problemin önemli yanlarını görmezden gelecek kadar az sayıda olmamalı, fakat analizi gereksiz yere zorlaştıracak kadar da çok sayıda olmamalıdır (BERTIER-MONTGALFIER 1973, S. 92; ZIONTS 1980, s. 1.4).

Ölçütler iki gruba ayrılırlar:

1) Nicel ölçütler

2) Nitel ölçütler

1) Nicel ölçütler: Sayısal değerlerle test edilebilen ölçütlerdir. Bir yatırım projesinin kârlılık ölçütü buna örnek olarak verilebilir. Çünkü bu ölçüte göre değerlendirmenin temel öğeleri (masraflar, gelir) sayısal olarak belirli bir doğrulukla saptanabilmektedir.

2) Nitel ölçütler: Bu gruptaki ölçütler sayısal değerlerle kolaylıkla test edilemezler. Örneğin, yeni kurulan ormanın çevrenin mikroklimasına etkisi veya civarda yaşayan halk için rekreasyon etkisi gibi konular nitel ölçütleri gerekli kılan özelliklerdir.

c) Ölçütlerin Önem Ölçüsü (Ağırlıklar): Belirtildiği üzere çok ölçütlü karar verme problemlerinde amaç sayısı birden çok olmakta ve bu amaçlar bazen birbirleriyle çelişkili de olabilmektedir. O nedenle ölçütlerin önemleri, karar verici açısından muhakkak ki aynı derecede değildir. Karar verici genellikle her bir ölçüt için farklı önem derecesi saptamaktadır. Böylece ölçütler önem derecelerine göre bir sıraya sokulmaktadır. Burada; karar vericinin bilgileri, tercihleri, deneyimleri ve sezgisi önem kazanmaktadır. Nitekim DOĞRUSÖZ bu konuda şöyle demektedir: Bilimin yardımı olsa da olmasa da, sezgi ve yargı kullanmadan karar vermek olanaksızdır, özellikle çok boyutlu değer ölçüsü söz konusu olduğu durumlarda... Bu gibi durumlarda bilimin rolü, karar vericinin, seçimi yaparken, sezgi ve yargısını daha etkin bir biçimde kullanılmasına olanak verecek bilgileri türetip sunmaktır (DOĞRUSÖZ 1976, s. 14).

ELECTRE tekniğinde ölçütlere verilen ağırlıklar bir vektör oluşturmaktadır. $G = \{g_i \mid i=1, \dots, n\}$

d) Verimlilik ölçüsü (ölçek): Ölçütlerin nitel ve nicel oluşuna göre alacağı değerler de farklı olmaktadır. Örneğin, bir projenin işlendirmeye katkısını çalıştıracağı işçi sayısı göstermek mümkündür. Buna karşılık bir ormanın estetik değeri nitel olarak belirtilebilmektedir.

Verimlilik ölçüsü, çeşitli seçeneklerin temel alınan ölçütlere göre kazanacakları farklı değerleri aynı birime çevirmede yardımcı olan ölçeklerdir. Örneğin elimizde (çok iyi, iyi, orta, kötü, çok kötü) gibi bir değerler dizisi bulunduğunda varsayılırsa, burada (çok iyi) ve (çok kötü) değerlere sayısal bir iskanın iki ucunu karşı karşıya getirmek ve diğer değerler için interpolasyon yapmak düşünülebilir. Örneğin değerler: çok iyi=10; iyi=7,5; orta=5; kötü=2,5; çok kötü=0 şeklinde gösterilebilir. Ancak önem dereceleri farklı olan ölçütler için birim uzunlukları farklı olan ölçeklerin seçilmesi gerekmektedir. Verimlilik ölçüsü de bir vektör oluşturmaktadır $K = \{k_i \mid i=1, \dots, n\}$

e) Verimlilik: Bir seçeneğin, belirli bir ölçüt ve bunun verimlilik ölçüsü (Ölçek) gözönüne alınarak hesaplanan değerine verimlilik adı verilmektedir.

DEĞERLENDİRME TABLOSUNUN OLUŞTURULMASI

Teknikle çözüme, bir başlangıç tablosunun düzenlenmesiyle başlanmaktadır. Tabloda sütunlar seçeneklere, satırlar ise ölçütlere ayrılmıştır.

Tablo 2: Başlangıç Tablosu

		SEÇENEKLER		
		1.....j.....m		
Ö	a	$Y_{a,1}$	$Y_{a,j}$	$Y_{a,m}$
L	.	.	.	.
Ç	.	.	.	.
Ü	i	$Y_{i,1}$	$Y_{i,j}$	$Y_{i,m}$
T	.	.	.	.
L	.	.	.	.
E	n	$Y_{n,1}$	$Y_{n,j}$	$Y_{n,m}$
R				

Başlangıç tablosu düzenlendikten sonra, her ölçütün önem derecesi (ağırlığı) belirlenmelidir. Ölçütlerin ağırlıklarına paralel olarak verimlilik ölçüsü (ölçek uzunluğu) saptanır. Verimlilik ölçüsü esas alınarak da her bir seçeneğin verimliliği hesaplanır. Böylelikle seçeneklerin ölçütlere göre aldıkları farklı değerler aynı eise çevrilmiş olmaktadır.

Tüm bu değerler, yani ölçütlerin ağırlıkları verimlilik ölçüleri ve seçeneklerin verimlilikleri Değerlendirme Tablosu adı verilen yeni bir tabloya yerleştirilir.

Tablo 3: Değerlendirme Tablosu

		SEÇENEKLER			Verimlilik Öl. (Ölçek)	Önem Öl. (Ağırlık)
		1.....j.....m				
Ö	a	$V_{a,1}$	$V_{a,j}$	$V_{a,m}$	k_1	g_1
L	.	.	.	.	.	.
Ç	.	.	.	.	.	.
Ü	i	$V_{i,1}$	$V_{i,j}$	$V_{i,m}$	k_i	g_i
T	.	.	.	.	.	.
L	.	.	.	.	.	.
E	n	$V_{n,1}$	$V_{n,j}$	$V_{n,m}$	k_n	g_n
R						

Şimdi seçeneklerin verimlilikleri, ölçütlerin ağırlıkları ve verimlilik ölçüleri birlikte göz önüne alınıp, aşağıda anlatılacak yol izlenerek seçenekler arasından en uygunu seçilecektir.

İlişkilerin anlatımında Çizge Kuramından (Graph Theory) yararlanılmaktadır (ROY 1968, s. 57-75 ve 1972, s. 179-201).

Değerlendirme tablosunda görüldüğü üzere, verimlilik ölçeği üzerinden seçeneklere verilen notlar V_{ij} ($j=1, \dots, m$), çizge tanımıyla E seçenekler kümesi üzerinde, $G_i=(E, U_i)$ şeklinde gösterilebilir. Burada,

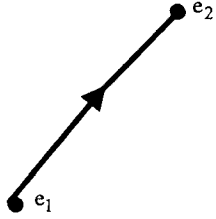
U_i =ölçütün yaylar kümesini (ilişki)

E=düğümmler seçenekler kümesini göstermektedir.

E kümesinin herhangi iki elemanı, e_1 ve e_2 olsun. Eğer e_1 seçeneği i. ölçüte göre en azından e_2 kadar iyi ise, adı geçen kurama göre ilişki,

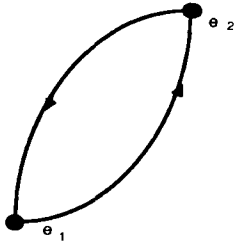
$$(e_1, e_2) \in U_i \Leftrightarrow V_{i, e_1} \geq V_{i, e_2}$$

şeklinde yazılır. Bu



çizgesi ile gösterilebilir.

Burada e_1 ve e_2 uçları düğümleri, iki ucu birleştiren çizgi de yayı göstermektedir. Okun yönü daha yüksek not takdir edilen seçenektan daha az olana doğrudur. Birbirlerine üstünlükleri olmayan iki seçenek aşağıda görüldüğü gibi ters yöndeki iki ayrı okla gösterilmektedir.



Böylelikle, çizgeler yardımıyla her bir ölçüte göre seçeneklerin ikili üstünlük ilişkileri ortaya çıkmış olmaktadır.

Her bir ölçüt için bulunan bu ilişkilerin sentezi yapılarak, yeni bir ilişki düzeni elde edilecektir.

$$G=(E, U)$$

Buraya kadar anlatılanların ve bundan sonraki bölümlerin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla aşağıda sayısal bir örnek verilmiştir.

Tablo-4 Değerlendirme Tablosu

		SEÇENEKLER						Verimlilik Ölçüsü (Ölçek)	Önem Ölç. (Ağırlık)
		e1	e2	e3	e4	e5	e6		
Ö	1	14	5	8	10	14	16	20	3
L	2	8	2	6	5	10	5	10	1
Ç									
Ü	3	6	10	4	18	15	20	20	3
T									
L	4	9	5	12	8	8	14	15	2
E	5	0	5	7	6	7	9	10	1
R									Top. 10

Burada amaç, tekniği tanıtmak olduğundan seçenekler; e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 ve e_6 simgeleriyle ifade edilmiştir. Bu seçeneklerin 5 farklı ölçüt ile değerlendirildiği varsayılmıştır.

Ölçütlerin verimlilik ölçüleri ise daha önce verilen bilgilere uygun biçimde ölçütlerin ağırlıklarına paralel olarak saptanmıştır. Tablo-5'de önem ölçülerine karşılık gelen verimlilik ölçüleri görülmektedir.

Tablo-5 Ölçütün Önem Ölçüsü ile Verimlilik Ölçüsü İlişkisi

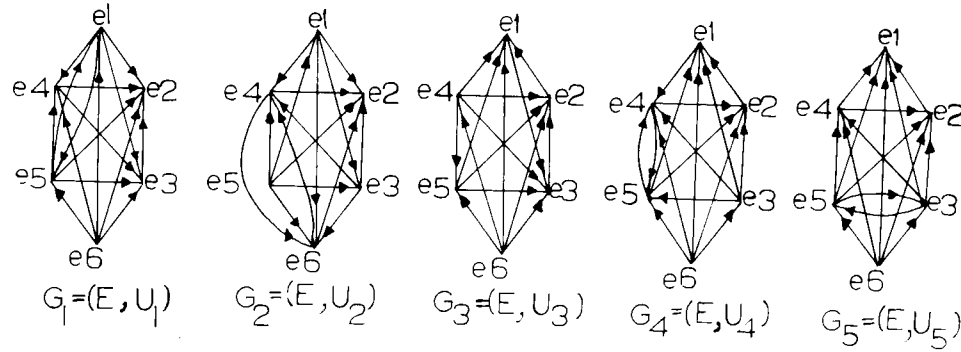
Ölçütün Önem Ölçüsü (Ağırlık)	Verimlilik Ölçüleri (Ölçek)
3	1-20
2	1-15
1	1-10

Değerlendirme tablosunda görüldüğü gibi seçimin yapılacağı seçenekler kümesi içinde, tüm ölçütlerin ışığı altında hiçbir seçenek bir diğerine tam anlamda üstün değildir. Çünkü böyle bir durumda belirli bir seçenek kolayca seçilebilecektir ve herhangi bir işlem yapmaya da gerek kalmayacaktır.

Sorun bu ölçütlerin büyük çoğunluğuna göre iyi olan seçeneğin bulunmasıdır. Bu sırada tüm seçeneklerin tüm ölçütler açısından genel bir karşılaştırılmasının aynı anda yapılması mümkün olmadığından, ikili karşılaştırmalar yapılacaktır.

Önce değerlendirme tablosundaki her ölçüt için seçeneklerin ikili üstünlük ilişkileri çizge ku-

ramından yararlanılarak $G; (E, U_1)$ şeklinde gösterilmektedir. (Şekil-1). Burada; e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 ve e_6 noktaları düğümleri (seçenekleri), düğümleri birleştirilen yönlü çizgiler de U_1 yaylar kümesini (seçenekler arasındaki ilişkileri) göstermektedir.



Şekil-1 Seçeneklerin Her Bir Ölçüt Açısından İkili Üstünlük İlişkilerini Gösteren Çizgeler.

Seçenekler arasındaki ikili ilişkiler çizgeler yardımıyla incelenirse, e_1 seçeneğinin e_2 seçeneğinden bazı ölçütlere göre büyük, bazı ölçütlere göre eşdeğer ve diğer ölçütlere göre de küçük olduğu görülmektedir.

e_1 'in e_2 'ye üstün olabilmesi için;

- e_1 seçeneğinin birçok ölçüte göre en az e_2 seçeneği kadar iyi olması gerekir (birinci koşul)

- e_1 'in bazı ölçütlere göre e_2 'den belirgin olarak çok kötü olmaması gerekmektedir (ikinci koşul).

Şöyle bir varsayım yapılırsa, e_1 seçeneği e_2 seçeneğine göre üstündür. Bu varsayım ölçütler kümesiyle bazen uyumluluk, bazen de uyumsuzluk göstermektedir. Bir başka deyişle tekniğin özü, ölçütlerin önem ölçüleri ve verimlilik ölçülerini de dikkate alarak, olası üstünlük varsayımlarını ölçen uyumluluk ve uyumsuzluk göstergelerinin hesabına dayanmaktadır. Böylece (e_1, e_2) çifti, (e_2, e_1) çiftinden bağımsız olarak her sıralı seçenek çifti için bu göstergeler hesaplanmaktadır.

Uyumluluk Matrisinin Oluşturulması

Çizge kuramındaki ifadesiyle seçenekler kümesi E'nin herhangi iki elemanı e_1 ve $e_2; (e_1, e_2) \in E$ şeklinde gösterilebilir. e_1 seçeneği en azından e_2 seçeneği kadar iyidir varsayımı, ölçütleri iki ayrı kümede toplama olanağını vermektedir. Bu kümelerden biri C (e_1, e_2) elemanlarına gerçekleştirilen ilişkiyle uyumlu olan ölçütleri içerir. Bu küme:

$$C(e_1, e_2) = \{i | (e_1, e_2) \in U_i\}$$

şeklinde yazılabilir.

Bunu başka bir şekilde ifade etmek de mümkündür.

$$C(e_1, e_2) = \{i | e_{1ij} \geq e_{2ij}\}$$

Böyle bir ilişki ile uyumsuzluk içinde olan ölçütler:

$$D(e_1, e_2) = \{i | (e_1, e_2) \notin U_i\}$$

biçiminde ifade edilmektedir. Yine bu durumu da aşağıdaki şekilde göstermek mümkündür.

$$D(e_1, e_2) = \{i | e_{1ij} < e_{2ij}\}$$

Burada kısaca, $e_{1ij} \geq e_{2ij}$ olması durumunda uyumluluktan söz edilmektedir. Bu amaçla e_1 ve e_2 seçeneklerinin tüm elemanları yukarıdan aşağıya doğru ikili olarak karşılaştırılmaktadır ve

$$X_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } e_{1ij} < e_{2ij} \\ 1, & \text{eğer } e_{1ij} \geq e_{2ij} \end{cases}$$

değeri verilmektedir.

Ayrıca ölçütlerin ağırlıklarının da (g_i) hesaba katıldığı bir UYUMLULUK GÖSTERGESİ şu

$$C(e_1, e_2) = \frac{\sum_j X_{ij} \cdot g_i}{\sum_j g_i}$$

şekilde hesaplanabilmektedir:

Tüm ölçütlerin aynı önemde olduğu kabul edilirse, uyumluluk durumunda, uyum gösteren ölçütlerin sayısının toplam ölçüt sayısına bölümü alınacaktır. Ancak ölçütlerin önemi aynı olmadığından, uyumluluk göstergesinin hesabında her ölçüt kendi önemi ölçüsünde gözönüne alınmaktadır.

Böylece uyumluluk göstergesi, önceki kısımda e_1 'in e_2 'ye üstün olabilmesi için gerekli olan koşullardan birincisine (e_1 'in birçok ölçüte göre en az e_2 kadar iyi olması) ilişkin olarak bunun ölçüsünü belirlemektedir.

Böylece Değerlendirme Tablosundaki bilgilere göre, seçeneklerin ikili ilişkiler için uyumluluk göstergesi yukarıdaki eşitliğe göre hesaplanarak köşegeni sıfır olan $n \times n$ boyutlu ve Uyumluluk Matrisi (C) adı verilen bir matris elde edilmektedir.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0.40 & 0.30 & 0.40 & 0.80 & 0.90 \\ 0.60 & 0 & 0.70 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.70 & 0.30 & 0 & 0.60 & 0.80 & 0.90 \\ 0.60 & 0.0 & 0.40 & 0 & 0.70 & 1.00 \\ 0.50 & 0.0 & 0.30 & 0.50 & 0 & 0.90 \\ 0.10 & 0.0 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0 \end{bmatrix}$$

Değerlendirme Tablosundaki bilgilerin ışığı altında Uyumluluk Matrisi aşağıda gösterilmiştir:

Bu matrisin herhangi bir elemanı örneğin $c(e_1, e_2)$ ile gösterilebilen 2. satır 1. sütundaki elemanı şöyle hesaplanmaktadır: Değerlendirme Tablosunda e_1 ile gösterilen seçenek, 1, 2 ve 4 nolu ölçütler açısından e_2 seçeneğinden üstün, diğer ölçütler açısından da düşük bulunmaktadır.

O halde yukarıdaki eşitliğe göre uyumluluk göstergesi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

$$c(e_1, e_2) = \frac{3 \times 1 + 1 \times 1 + 3 \times 0 + 2 \times 1 + 1 \times 1}{10} = 0.60$$

Bu değer matrisin ikinci satır, birinci sütununa yerleştirilmiştir.

Benzer şekilde, $c(e_2, e_1)$ için de uyumluluk göstergesini hesaplayalım. Burada, 3 ve 5 nolu ölçütlerde, e_2 seçeneği e_1 seçeneğinden daha üstündür. Bu durumda,

$$c(e_2, e_1) = \frac{3 \times 0 + 1 \times 0 + 3 \times 1 + 2 \times 0 + 1 \times 1}{10} = 0.40$$

olmaktadır.

Bu değer de matrisin birinci satır, ikinci sütununa yerleştirilmiştir.

Görüldüğü gibi, bir seçeneğin tüm değerleri diğer bir seçenekten üstünse uyumluluk göstergesi 1'e eşit olmaktadır.

Uyumsuzluk Matrisinin Oluşturulması

Seçeneklerin ikili üstünlük ilişkileri incelenirken yapılan varsayımı gerçekleştiren ölçütler olduğu gibi, gerçekleştirilmeyen ölçütler de vardır. Bunlar uyumsuzluk olarak nitelendirilir. e_1 seçeneği e_2 seçeneğinden üstündür varsayımına göre, e_1 'in e_2 'den düşük olduğu ölçütler uyumsuz olarak tanımlanabilir. Buna göre,

$$D(e_1, e_2) = \{i \mid e_{1i} < e_{2i}\}$$

şeklinde bir kümede toplanabilirler.

Uyumsuzluk göstergesinin hesabının amacı, e_{1ij} 'nin e_{2ij} 'ye göre ne kadar düşük olduğunu ortaya koymaktır. Çünkü e_{1ij} 'nin e_{2ij} 'ye üstün olabilmesi için, önceki bölümde de anlatıldığı gibi, e_{1ij} 'nin bazı ölçütlere göre e_{2ij} 'den belirgin olarak çok kötü olmaması istenir (ikinci koşul).

Bu göstergenin hesaplanmasında uyumlulukta olduğu gibi, iki seçeneğin verimlilikleri karşılaştırılarak, e_{1ij} seçeneği e_{2ij} seçeneğinden üstündür varsayımını gerçekleştirmeyen ölçütlerin verimlilikleri arasındaki mutlak farklar (sapmalar) bulunmaktadır. Daha sonra bu farkların en büyüğü, en büyük verimlilik ölçüsüne bölünmektedir. e_{1ij} seçeneği, e_{2ij} seçeneğinden tümüyle üstünse, uyumsuzluk göstergesi 0 (sıfır) olmaktadır.

Kısaca Uyumsuzluk Göstergesi:

$$d(e_1, e_2) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ eğer } D(e_1, e_2) = \emptyset \\ \frac{1}{K} \text{ Max}_{I \in D(e_1, e_2)} |e_{2ij} - e_{1ij}| \text{ eğer } D(e_1, e_2) \neq \emptyset \end{array} \right\}$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada k = en büyük verimlilik ölçüsüdür. Hesaplanan Uyumsuzluk Göstergesi, köşegeni sıfır olan $n \times n$ boyutlu bir matris olarak toplanmaktadır. Bu matrise de Uyumsuzluk Matrisi (D) adı verilmektedir. Aşağıda örnek problem için Uyumsuzluk Matrisi oluşturulmuştur:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0.45 & 0.30 & 0.20 & 0.10 & 0.15 \\ 0.25 & 0 & 0.30 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.35 & 0.35 & 0 & 0.20 & 0.20 & 0.05 \\ 0.60 & 0.40 & 0.70 & 0 & 1.15 & 0.0 \\ 0.45 & 0.45 & 0.55 & 0.25 & 0 & 0.25 \\ 0.70 & 0.55 & 0.80 & 0.30 & 0.30 & 0 \end{bmatrix}$$

Değerlendirme Tablosunda e_1 seçeneği e_2 seçeneğinden 3 ve 5 nolu ölçütlere göre düşük bulunmaktadır. Bunlar uyumsuzluk gösteren ölçütlerdir. Bu ölçütlerde e_1 ve e_2 seçenekleri arasındaki en büyük fark (sapma) 5 birim ile beşinci ölçüttedir. Bu değer en büyük verimlilik ölçüsü olan 20'ye bölünürse, yukarıdaki varsayım için uyumsuzluk göstergesi $d(e_1, e_2) = 0,25$ hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} d(e_1, e_2) &= \frac{1}{K} \text{ Max} (|f_{3,2} - f_{3,1}| ; |f_{5,2} - f_{5,1}|) \\ &= \frac{1}{20} \text{ Max} (|10 - 6| ; |5 - 0|) \\ &= \frac{1}{20} \text{ Max} (|4| ; |5|) = \frac{1}{20} \cdot 5 = 0,25 \end{aligned}$$

Bu değer Uyumsuzluk Matrisinin birinci sütunu, ikinci satırına yerleştirilmiştir.

Aynı şekilde $d(e_2, e_1)$ hesaplanabilir. e_2 nolu seçenek, e_1 seçeneğinden üstündür varsayımı için, uyumsuzluk gösteren 1, 2 ve 4 numaralı ölçütlerdir. Buna göre:

$$\begin{aligned} d(e_2, e_1) &= \frac{1}{K} \text{ Max} (|f_{1,2} - f_{1,1}| ; |f_{2,2} - f_{2,1}| ; |f_{4,2} - f_{4,1}|) \\ &= \frac{1}{20} \text{ Max} (|5 - 14| ; |2 - 8| ; |5 - 9|) \\ &= \frac{1}{20} \text{ Max} (|9| ; |6| ; |4|) \\ &= \frac{1}{20} \cdot 9 = 0,45 \end{aligned}$$

Bu değer de matrisin ikinci sütun, birinci satırına yerleştirilmiştir.

Uygun Seçeneklerin Belirlenmesi

Buraya kadar seçeneklerin ikili karşılaştırmaları yapılmış, bunların birbirleriyle olan üstünlük ilişkilerinin ortaya konması için uyum ve uyumsuzluk göstergeleri elde edilmiştir.

Bundan sonra seçim aşamasına, başka bir deyişle, seçenekler arasında en uygunun belirlenmesi ve diğerlerinin elenmesi aşamasına gelinmiştir.

Uyumluluk ve uyumsuzluk göstergeleri tanımlarından bilindiği gibi, e_1 seçeneği e_2 seçeneğinden tümüyle üstünse;

Uyumluluk göstergesi $c(e_1, e_2)=1$ ve

Uyumsuzluk göstergesi $d(e_1, e_2)=0$ olacaktır.

Böyle bir durumda herhangi bir işlem yapmaya gerek olmayacaktır. Çünkü, e_1 seçeneği e_2 seçeneğinden açıkça üstün olduğundan kolayca seçilebilecektir. Oysa bu durumun her zaman için gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır.

Örnek problemde de görüldüğü gibi, iki seçenek arasında birisi bazı ölçütler açısından daha iyi olduğu halde, diğer bazı ölçütler açısından düşük bulunmaktadır. Dolayısıyla, uyumluluk göstergesi 1'den küçük olmakta ve uyumsuzluk göstergesi ise 0'dan büyük olmaktadır. Kısacası:

Uyumluluk göstergesi $c(e_1, e_2) < 1$

Uyumsuzluk göstergesi $d(e_1, e_2) > 0$

Bu durumda, bu iki göstergeye dayanarak seçim yapabilmek amacıyla, uyumluluk göstergesi $c(e_1, e_2)$ için 1'e yakın bir referans değer ile, uyumsuzluk göstergesi $d(e_1, e_2)$ için de 0'a yakın bir referans değer seçilmektedir.

Uyumluluk göstergesi için saptanan referans değere UYUMLULUK EŞİK DEĞERİ (P); uyumsuzluk göstergesi için saptanan değere de UYUMSUZLUK EŞİK DEĞERİ (Q) adı verilmektedir.

Herhangi bir seçeneğin seçilebilmesi için:

1) $c(e_1, e_2)$ uyum göstergesi en azından (P) uyumluluk eşik değerine eşit olmalıdır. Diğer bir deyişle $c(e_1, e_2) \geq P$ olmalıdır.

2) $d(e_1, e_2)$ uyumsuzluk göstergesi en çok (Q) uyumsuzluk eşik değerine eşit olmalıdır. Diğer bir deyişle $d(e_1, e_2) \leq Q$ olmalıdır.

Bu iki koşulu birlikte gerçekleştiren seçeneğe "1" gerçekleştirmeyene ise "0" sayısal değeri verilerek, SONUÇ MATRİSİ adı verilen yeni bir matris elde edilmektedir. Doğaldır ki matrisin boyutu $n \times n$ olmaktadır.

Bu matrisin değerlerine göre, seçenekler aralarından baskın olandan olmayan doğru bir okla birleştirilerek, bunların tümünü kapsayan bir çizge oluşturulmaktadır.

$G(P, Q) = (E, U(P, Q))$

Burada:

$(e_1, e_2) \in U(P, Q) \Leftrightarrow c(e_1, e_2) \geq P$ ve $d(e_1, e_2) \leq Q$ dir.

Çizgede her seçenek bir düğüm ile gösterilmektedir. Hiçbir okun gitmediği düğüm noktası uygun seçeneği belirlemektedir. Bu düğüm noktasına ÇEKİRDEK adı verilmektedir.

Örnek problemde bir an için $P=1.00$, $Q=0$ eşik değerleri seçilmiş olsun. P ile uyumluluk matri-

sinin, Q ile de uyumsuzluk matrisinin elemanlarının karşılaştırılmasıyla aşağıdaki Sonuç Matrisi elde olunur.

Matris oluşturulurken

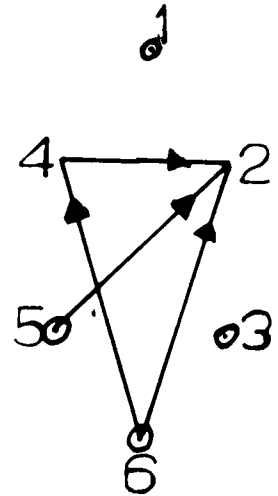
$P=1$ $Q=0$ koşulunu gerçekleştirenlere 1, gerçekleştirmeyenlere 0 değeri verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bu matriste örneğin 2. satır, 4. kolondaki 1'in anlamı, "4. seçenek 2. seçenektan daha üstündür" demektir. Böylece;

$G(1, 0) = (E, U(1, 0))$

çizgesi elde edilmiştir (Şekil-2). Okların yönü üstün olan seçenektan düşük seçeneğe doğru olduğundan, seçeneklere gelen ok sayılarına göre öncelik sırası belirlenmektedir.



Şekil-2 G(1;0) çizgesi

O halde sıralama şu şekilde olmaktadır:

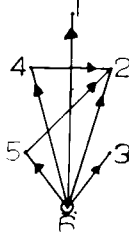
6; 5; 3; 1 > 4 > 2

Burada > simgesi üstünlüğün yönünü vermektedir. Her ne kadar 1. ve 3. seçenekler üstün görülüyorsa da, diğer seçeneklere oklarla bağlanmadıklarından, durumlarında (ilişkilerinde) bir belirsizlik var demektir. P ve Q değerlerini değiştirerek bunları da, diğer seçeneklerle yeniden ilişlendirmek mümkündür.

Öte yandan seçenekler kümesinden istenilen sayıda seçenek seçmek ve bir sıraya koymak amacıyla P ve Q değerlerini değiştirmek de mümkündür. Örneğin, yukarıdaki sıralamada ilk önce hangi seçeneğin seçileceği sorusuna yanıt aramak için; P ve Q değerlerini değiştirmek yoluyla da seçeneklerin sırası belirlenebilmektedir. Bu amaçla Şekil-3'den yararlanarak aşağıdaki tablo hazırlanmıştır.

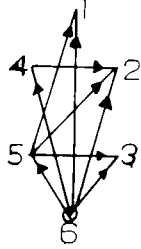
Şekil-3: Değişik P ve Q Değerlerine Göre Sonuç Matrisleri ve Çizgeleri.

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	1
3	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0



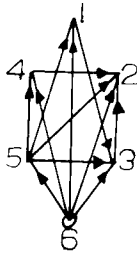
G (90; 25) çizgesi

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0



G (80; 25) çizgesi

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	1	1	1	1
3	1	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0



G (70; 35) çizgesi

Tablo-6: Değişik P ve Q Değerlerine Göre Seçeneklerin Öncelik Sırasının Belirlenmesi

P	Q	Seçeneklerin Öncelik Sırası
1.00	0.00	6; 5; 3; 1 > 4 > 2
90	25	6 > 5; 4; 3; 1 > 2
80	25	6 > 5; 4; > 3; 1 > 2
70	35	6 > 5 > 4; 1 > 3 > 2

Görüldüğü gibi üstün seçenek önceden belli olmaktadır. P=90 ve Q=25 durumunda 6. seçenek, diğerlerinden ayrılarak öne geçmektedir. Ancak; 5, 4, 3 ve 1 nolu seçenekler aynı sırada daha iyi ifa-

deyle aynı grupta kalmaktadırlar. Bunlar arasında da öncelik sırasını ortaya koyabilmek için P=80 ve Q=25 değeri uygulanmış, 5. ve 4. seçenekler 1. ve 3'den ayrılarak öne geçmişlerdir. P=70 ve Q=35 durumunda ise 5. seçenek öne geçmiş, 4. ve 1. seçenek aynı gruba girmiş, 3. seçenek ise son sıralara geçmiştir.

Böylelikle, seçenekler arasında istenen sayıda seçenek seçmek ve diğerlerini elemek mümkün olabilmektedir.

Electre Tekniğinin Kullanış Örnekleri

ELECTRE tekniği çok ölçütlü bir karar verme tekniği olarak birçok alanda uygulanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

a) Fransa'da karayolları idaresi tarafından bir kentin çevresinde oto yol yapımı düşünülmüştür. Yolun daha ucuza mal edilebileceği düşüncesiyle, güzergâhın kentin civarındaki ormandan geçirilmesi, özel mülkiyete ait araziden geçirilmesine tercih edilmiştir. Bunun nedeni, özel mülkiyete ait arazilerin kamulaştırılmasının çok pahalıya mal olmasıdır. Oysa orman arazisi hazineye ait olduğundan, arazi için herhangi bir ödeme yapılmayacak, orman idaresine sadece kesilecek ağaçlar için bir bedel ödenecektir. Ancak orman idaresi yapılacak yolun ormanın tahribine neden olması, dolayısıyla, ormanın kent halkına sağladığı rekreasyonel ve diğer yararlar bu projenin gerçekleştirilmesiyle azalacağı için karşı çıkmış ve yol güzergâhının değiştirilmesini istemiştir. Bunun üzerine Tarım Bakanlığı tarafından bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada başka başka güzergâhlardan geçen 7 proje hazırlanmıştır. Bu projeler arasında en uygunun seçilmesi amaçlanmıştır.

Projeler arasında seçim yapabilmek amacıyla Karayolları ve Orman İdaresinin görüşleri de alınmıştır. Ayrıca yolların geçeceği yerleşim alanlarındaki halkın görüşlerini öğrenmek amacıyla bir anket yapılmıştır. Anket sonuçlarına göre 7 adet proje, 9 adet ölçüte göre değerlendirilmiş, yolun ormandan geçirilmemesine karar verilmiştir (BERTIER-MONTGOLFIER 1973, s. 87-104).

b) Tekniğin bir başka uygulanması ise, Dünya Sağlık Örgütü'nde olmuştur. Örgüt, çeşitli ülkelerin gelişmelerine yardımcı olmak amacıyla değişik konularda projeler hazırlamaktadır. Projeler; kolera ve sıtma gibi hastalıkların kontrolü, sağlık uzmanlarının eğitimi ve yetiştirilmesi gibi konuları içermektedir.

Yürürlükte bulunan projeler her yıl gözden geçirilmekte, eklenen yeni projelerle birlikte değerlendirilmekte ve öncelik sırası saptanmaktadır. Bu amaçla 7 adet proje arasından 3'ünü seçmek, seçilenler arasında da öncelik sırasını saptamak için ELECTRE tekniği uygulanmıştır. Bu problemde projeler 10 farklı ölçüte göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu 5, 1, 2, 4, 3, 6 ve 7 nolu projeler biçiminde bir sıra ortaya çıkmıştır. Bunların arasından da ilk üçü, yani, 5, 1 ve 2 nolu projeler seçilmiştir (BERTIER-BOUROUCHE 1975, s. 30).

c) ELECTRE'nin diğer bir uygulaması da Fransa'da Kibrit ve Tütün Sanayii İşletmesinin imal ettiği sigaraların, eksperler tarafından ayırma ve örnekleme yoluyla yapılan geleneksel kalite kontrolü yerine, periyodik olarak sigara kullanıcılarının görüşlerine başvurularak sigara kusurlarının bir sıraya konması şeklindeki modern yaklaşımda görülmüştür. Bu amaçla 14 tür kusur seçilmiş, anket yoluyla sigara kullanıcılarının bu kusurların önemleri hakkında görüşleri alınmıştır. Değerlendirme sonucu 7 kategoriden oluşan kusurlar ortaya konmuştur (BUFFET et al. 1967, s. 304-315).

d) Bir başka araştırmada da yeni imal edilen sigara için isim seçiminde ELECTRE tekniğinden yararlanılmıştır (MARCOTOCHINO-MICHAUD 1979, s. 38).

e) Ülkemizde çok ölçütlü karar verme teknikleri yeni yeni tanınmaktadır. Çalışmaları henüz teorik evrededir; uygulamaya aktarılmamıştır. Bu meyanda ELECTRE tekniği de oldukça yeni tanınmaktadır. Bu teknik, ülkemizde bugüne kadar üç doktora tezi çerçevesinde uygulanmıştır.

İlki 1979 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi'nce, klasik ve nümerik kontrollü tezgâhların çok ölçütlü değerlendirilmesi ve uygun olanın seçilmesi amacıyla hipotetik birmodel çerçevesinde uygulanmasıdır. 6 adet seçenek, 10 ölçüte göre değerlendirilmiş ve en uygun seçeneğin seçimi amacıyla ELECTRE tekniğine başvurulmuştur (EVREN, 1979).

İkinci çalışma İ.T.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde bir inşaat projesinin yine hipotetik birmodeli üzerinde çalışılmıştır. 7 seçenek 9 ölçüte göre ele alınan problem ELECTRE tekniğiyle çözülmüş ve uygun olan seçenek seçilmiştir (MANISALI, 1981).

Türkiye'deki uygulamaların üçüncüsü de İ.Ü. Orman Fakültesi'nde yapılmıştır. Bu çalışmada, Trakya'daki ağaçlandırmaya uygun 14799, 78 Ha.'lık bir alan 31 adet aktivite alanına (ağaçlandırılacak homojen nitelikli aday alana) ayrılmıştır. Her aktivite alanı için çeşitli olası seçenekler düşünülmüş ve her seçenek 8 adet ölçüte göre değerlendirilmiştir. ELECTRE tekniğini kullanmak suretiyle sözü edilen her aktivite alanının amaçlarımız doğrultusunda önem derecesi, ağaçlandırmada kullanılacak uygun ağaç türü, uygun üretim teknolojisi ve uygun idare süresi aynı anda belirlenmiştir (TÜRKER, 1986).

SONUÇLAR

Buraya kadar yapılan açıklamalardan çıkan sonuç, çok ölçütlü karar verme tekniği olan ELECTRE tekniğinin birçok üstünlüklere sahip olduğunu göstermektedir. Şöyle ki,

- Karar verici ölçütleri ağırlıklandırmak yoluyla, yatırımın sonunda gerçekleşmesini istediği amaçları önem derecesine göre sıraya koyabilmektedir.
- Nitel ölçütler de kullanabilmektedir.
- Teknik kolay anlaşılabilen ve değerlendirilmesi mekanik hale konulabilmektedir.
- Çizge kuramından yararlanarak seçeneklerin birbiriyle olan ilişkilerinin gösterilmesi ve anlaşılması görsel ve kolay olmaktadır.
- Verimlilik ölçülerinin uzunlukları, karar verici tarafından seçilebilmektedir. Buna göre önem dereceleri farklı verimlilik ölçüleri de farklı olmaktadır.
- Projenin yarattığı çok çeşitli faydaları ölçerek hesaba katmak mümkün olabilmektedir. Bu yönüyle tekniği ormancılığın birçok probleminin çözümünde kullanmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- BAĞIRKAN Ş.-1983, *Karar Verme. Der Yayınları, İstanbul.*
- BERTIER P., MONTGOLFIER J. de-1973, *On Multicriteria Analysis An Application To A Forest Management Problem. In: Working Proceedings of the Nato- Conference: Mathematical Analysis of Decision Problems In Ecology pp. 87-104.*
- BERTIER P., BOUROCHE J. M.-1975, *Analyse Des Données Multidimensionnelles. PUF. France.*
- BUFFET P., GREMY J. P., MARC M., SUSSMANN B.-1967, *Peut-on Choisir En Tenant Compte De Critères Multiples? Une Méthode Electre Et Trois Applications. METRA, vol. VI, No: 2, France.*
- DEMİR M. H., BIRCAN B., TÜTEK H.-1985, *Yönetmel Karar Verme. İzmir.*
- DOĞRUSÖZ H.-1976, *Çok Boyutlu Değer Ölçüsü İle Karar Verme. Yöneylem Araştırması Bildiriler 76, İstanbul.*
- EVREN R.-1979, *Klasik ve Nümerik Kontrollü Tezgâhların Çok Ölçütlü Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.*
- HALAÇ C.-1978, *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması). İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınlarından No. 2501/86, İstanbul.*
- KARAYALÇIN İ.-1979, *Hareket Araştırması (Yöneylem Araştırması). İ.T.Ü. Kütüphanesi, sayı 1132, İstanbul.*
- MANISALI E.-1981, *Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Çok Ölçütlü Model Yaklaşımı. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, İstanbul.*
- MARCOTORCHINO J.F., MICHAUD P.-1979, *Optimisation En Analyse Ordinale Des Données. MASSON, France.*
- ROY B.-1968, *Classement Et Choix En Présence De Points De Vue Multiples. Revue d'informatique et de Recherche Opérationnelle, No. 8, p. 57-75; France.*
- ROY, B. 1971, *Problems And Methods With Multiple Objective Functions. Mathematical Programming. North-Holland Pub. Co., Vol. I.*
- ROY, B., 1972, *How Outranking Relation Helps Multiple Criteria Decision Making. Seminar On Multiple Criteria Decision Making. University of South Caroline, Columbia, 26-27/10/1972, U.S.A.*
- TANYAŞ, M.-1983, *Çok Ölçütlü Karar Verme Probleminin Çözümü. Sanayi Mühendisliği Dergisi, Yıl 2, Cilt 2, Sayı 8, İstanbul.*
- TÜRKER A.-1986, *Ağaçlandırmalarda Çok Ölçütlü Karar Verme. Doktora Tezi, İ. Ü. Orman Fakültesi, İstanbul.*
- YILMAZ M.R.-1981, *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerine Eleştirel Bir Bakış. Yöneylem Araştırması Bildiriler 78, İstanbul.*
- ZIONTS S.-1980, *Multiple Criteria Decision Making: An Overview And Several Approaches. Working Paper No. 454, School of Management, State University of New York at Buffalo, U.S.A.*