

**ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ KULLANILARAK
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNİN
ÇÖZÜMÜ**

Solving Multiple Criteria Decision Making
Problems Using the Analytic Hierarchy Process

Ersin YILMAZ

Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü

Eastern Mediterranean Forestry Research Institute

P.K.: 18 33401 TARSUS

ÖZET

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde sıkça kullanılmakta olan çok kriterli karar verme tekniklerinden birisidir. Asıl olarak elemanların ikili karşılaştırılmasından elde edilen önceliklere dayalı bir ölçüm teorisidir. Bu metod en iyi alternatifin seçilmesinde, hem objektif ve hem de subjektif faktörlerin dikkate alınmasına imkan verir. Her ne kadar AHS'nin çeşitli karar problemlerinde geniş bir kullanım alanı olsa da, bu yaklaşıma yönelik bazı eleştiriler de bulunmaktadır. Ancak yine de AHS, bugün elde mevcut en popüler çok kriterli karar verme metodolojilerden birisidir. AHS'nin bu popülerliği, karmaşık karar problemlerinin analizinde gösterdiği basitlik, esneklik, kullanım kolaylığı ve rahat yorumlanması gibi özelliklerinden ileri gelmektedir.

Bu makalede AHS genel olarak tanıtılmış ve prensipleri sunulmuştur. AHS'nin en iyi alternatifin seçilmesi işleminde kullanımı, varsayıma dayalı basit bir arazi kullanımı seçim problemi örneği üzerinde gösterilmiştir. Aynı zamanda AHS'ye yönelik yapılan eleştirilere değinilmiş ve bu metodun üstün yanları da belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Çok Kriterli Karar Verme, Karar Analizi, Arazi Kullanımı.

ABSTRACT

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a commonly used solution technique for solving any multicriteria decision making problem. This method is one of the most flexible and easily implemented multicriteria decision making techniques. It is a theory of measurement concerned with dominance priorities from pairwise comparison of elements with respect to a common criterion. The AHP allows the consideration of both objective and subjective factors in selecting the best alternative. Despite the widespread use of the AHP in diverse decision problems, this multi-attribute approach has not been without criticisms. In spite of these criticisms, in fact it is one of the most popular multicriteria decision making methodologies available today. Thus the areas in which the AHP is applied are diverse and numerous. The popularity of the AHP is due to its simplicity, flexibility, ease of use and interpretation etc. in analysing complex decision problems.

In this article, principles of the AHP are presented and its main concepts and critical points are described and illustrated with a simple hypothetical example of land use selection problem in which the best decision alternative is selected. In addition strengths and criticisms of the AHP are explained.

Key Words: The Analytic Hierarchy Process (AHP), Multiple Criteria Decision Making, Decision Analysis, Land Use.

1. GİRİŞ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), ilk olarak 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından ortaya konmuş olup karmaşık karar problemlerinin analizinde kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden birisidir (Saaty, 1980).

Geliştirildiğinden bu yana ekonomi, planlama, enerji politikaları, kaynak tahsisleri, sağlık, anlaşmazlık çözümü, proje seçimi, pazarlama, bilgisayar teknolojisi, bütçe tahsisi, muhasebe, eğitim, sosyoloji, mimarlık ve daha bir çok alanlardaki çeşitli karar problemlerine uygulanmıştır (Zahedi, 1986). Ayrıca AHS'nin karmaşık çevresel karar analizlerinde kullanımı, Anselin ve ark. (1989) ve Varis (1989) tarafından örneklenmiştir. Ormancılık alanında ise Kangas (1992 ve 1994), AHS'yi çok amaçlı faydalanmaya dayalı stratejik orman planlaması ile kamu katılımının sağlandığı stratejik orman planlamasına uygulamıştır. Bunun yanında Engür (1996) ise, orman ürünleri hasadındaki teknoloji seçimini AHS kullanarak gerçekleştirmiştir.

AHS'nin uygulanması prensiplerini açıklamak için Anderson ve ark. (1997)'de sunulan bir örnek çalışma en iyi arazi kullanımının seçimi problemine uyarlanmıştır. Böylece en yüksek toplam faydayı sağlayan alternatif arazi kullanım şeklini seçmek isteyen karar vericinin yüz yüze kaldığı bir problem ele alınmış ve bu probleme dayalı olarak AHS metodu açıklanmaya çalışılmıştır.

2. AHS'NİN UYGULANMASI ÖRNEĞİ

Bir ön çalışmadan sonra karar vericinin farklı büyüklükte üretim ormanı, muhafaza ormanı ve rekreasyon alanına sahip alternatif arazi kullanımlarını A, B ve C şeklinde karar alternatifleri (seçenekleri) olarak kararlaştırdığı varsayılın. Ayrıca en uygun alternatifin seçiminde kullanılacak kriterler (ölçütler) olarak da maliyet minimizasyonu, odun hammaddesi üretimi, peyzaj değeri ve yaban hayatı habitat kalitesinin dikkate alınacağı düşünülün. Maliyet minimizasyonu ve odun hammaddesi üretimine yönelik sayısal verilerin elde edilmesi mümkündür. Bununla birlikte peyzaj değeri ve yaban hayatı habitat kalitesinin değerleri kolaylıkla tespit edilemez. O nedenle bazı kriterlerin

ölçümü, karar vericinin her bir alternatif ile ilgili subjektif değerlendirmesine göre yapılacaktır.

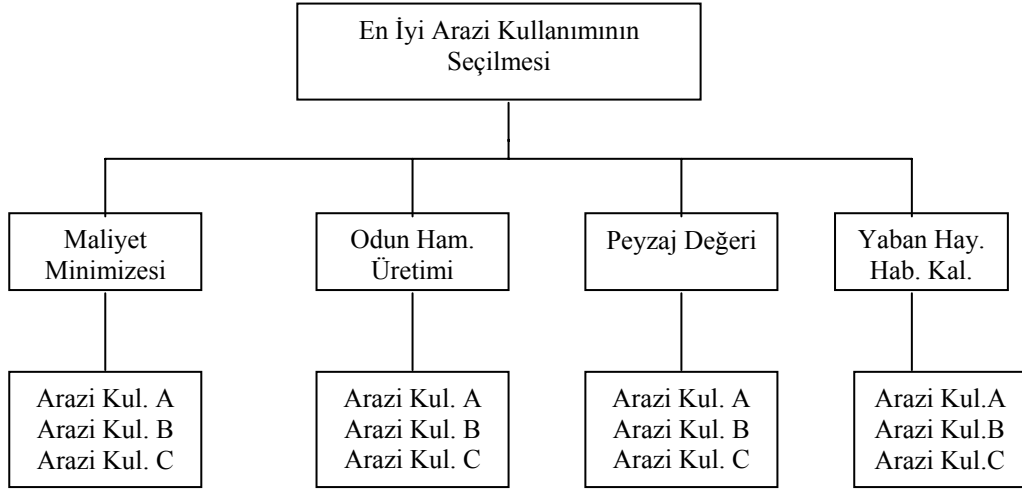
Öte yandan karar vericinin, maliyet gibi kolaylıkla ölçülmesi mümkün olan bir kriter için dahi kişisel bir tercih sunması durumunda, subjektiflik durumu ile karşılaşılır. Örneğin Alternatif A'nın Alternatif C'den daha büyük maliyete sahip olduğu düşünüldüğünde, bu maliyet farkı bir karar verici için büyük bir miktar para anlamına gelir iken bir başka karar verici için o kadar büyük bir miktar para anlamına gelmeyebilir. Bu nedenle Alternatif A'nın Alternatif C'den çok yada az pahalı olup olmaması kararı, asıl olarak bu karşılaştırmayı yapan karar vericinin düşüncesine yani maddi durumuna bağlı subjektif bir hüküm olarak karşımıza çıkar. İşte AHS bu gibi durumları ele alacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece karar vericinin subjektif hükümleri AHS karar sürecinin önemli bir parçasını teşkil eder.

2.1. HİYERARŞİNİN KURULMASI

AHS'deki ilk adım; *genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine* göre problemin grafiksel bir sunumunun oluşturulmasıdır. Böylece oluşturulan bir grafik problemin *hiyerarşisini* gösterir. Şekil 1, örnek olarak açıklanacak olan arazi kullanımı seçim problemine yönelik hiyerarşiyi göstermektedir. Dikkat edilirse hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın “en iyi arazi kullanımının seçilmesi” olarak alındığını göstermektedir. İkinci düzeydeki dört adet kriter (maliyet minimizasyonu, odun hammaddesi üretimi, peyzaj değeri ve yaban hayatı habitat kalitesi) genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır. Nihayet üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (Arazi Kullanımı A, Arazi Kullanımı B ve Arazi Kullanımı C) ise her bir kritere göre değerlendirilecektir.

AHS'de karar verici, genel amaca ulaşmaya yaptığı katkıya göre her bir kriterin göreceli önemi hakkında hükümlerde bulunur. Bir sonraki düzeyde karar verici, her bir kritere katkıda bulunmasına göre her bir karar alternatifine yönelik bir tercih yada başka bir deyişle öncelik belirtir. Örneğin arazi kullanımı seçim probleminde karar vericinin, genel amaca göre dört kriterin her birisinin göreceli önemi hakkında hükmünü belirtmesine ihtiyaç duyulacaktır. Aynı zamanda karar verici, her bir kritere göre bu üç adet arazi kullanımının her birisine yönelik tercihini de

Şekil : 1- Arazi Kullanımı Seçim Problemine Yönelik Hiyerarşi
Figure : 1- Hierarchy for the Land Use-Selection Problem



ortaya koyması gerekir. Bu göreceli önem ve tercihler hakkındaki bilgileri sentezlemek ve sonuçta genel tercihe göre bu üç arazi kullanımının öncelik sıralamasını elde etmek için aşağıda açıklanan bir matematiksel süreç kullanılır.

2.2. AHS KULLANILARAK ÖNCELİKLERİN TESPİTİ

Bu bölümde, hem kriterler ve hem de karar alternatiflerine yönelik olarak öncelik değerlerinin tespiti için AHS'nin ikili karşılaştırmalardan nasıl yararlandığı açıklanacaktır. Arazi kullanımı seçim probleminde belirlenmesine ihtiyaç duyulan öncelikler şunlardır;

- 1- Genel amaca (en iyi arazi kullanımının seçimi) göre dört adet kriterin (maliyet minimizasyonu, odun hammaddesi üretimi, peyzaj değeri ve yaban hayatı habitat kalitesi) öncelikleri,
- 2- Maliyet minimizasyonu kriterine göre üç adet arazi kullanımının (Arazi Kullanımı A, Arazi Kullanımı B ve Arazi Kullanımı C) öncelikleri,

- 3- Odun hammaddesi üretimi kriterine göre üç adet arazi kullanımının öncelikleri,
- 4- Peyzaj değeri kriterine göre üç adet arazi kullanımının öncelikleri ve
- 5- Yaban hayatı habitat kalitesi kriterine göre üç adet arazi kullanımının öncelikleridir.

Aşağıdaki alt başlıkta peyzaj değeri kriterine göre üç adet arazi kullanımına yönelik önceliklerin nasıl tespit edileceği açıklanacaktır. Diğer öncelik takımları da aynı yöntem izlenerek belirlenebilir.

2.2.1. İkili Karşılaştırmalar

İkili karşılaştırmalar, AHS'nin önemli yapı taşlarından birisidir. Peyzaj değerine göre üç adet arazi kullanımının önceliklerinin belirlenmesinde, ilk aşamada arazi kullanımları ikili olarak karşılaştırılabilmesi için iki adet olarak düşünülür ve bu arazi kullanımlarının peyzaj değeri açısından karar vericinin bir tercih belirtmesi istenir. Yani karar verici üç ayrı karşılaştırma işleminde Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B'yi, Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı C'yi ve Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı C'yi peyzaj değeri bakımından karşılaştırması gerekir.

AHS, iki ayrı elemana yönelik göreceli tercihleri ölçeklendirmek için 1-9 ölçeğini kullanır. Tablo 1, karar verici tarafından ifade edilen sözel tercihler için tavsiye edilmiş olan sayısal değerleri göstermektedir. Araştırma ve deneyimler, iki elemana yönelik tercihler arasında ayırım yapılmasında 9 birimlik ölçeğin esas alınabileceğini göstermiştir.

Arazi kullanımı seçim probleminde karar vericinin Arazi Kullanımı A'nın peyzaj değeri ile Arazi Kullanımı B'nin peyzaj değerini karşılaştırdığı ve Arazi Kullanımı A'nın, Arazi Kullanımı B'den daha yüksek peyzaj değerine sahip olduğu hükmüne vardığı varsayılınsın. O takdirde karar vericiden Tablo 1'de gösterilen sözel hükümlerden birini kullanarak Arazi Kullanımı A'nın Arazi Kullanımı B'den ne kadar daha yüksek peyzaj değerine sahip olduğu yönündeki tercihini belirtmesi istenir. Eğer karar verici, Arazi Kullanımı A'yı Arazi Kullanımı B'ye *biraz tercih ediyor* ise o takdirde AHS'de 3 değeri, eğer *tercih ediyor* ise 5 değeri, eğer *kuvvetle tercih ediyor* ise 7 değeri ve *kesinlikle tercih ediyor* ise 9 değeri kullanılır. 2, 4, 6 ve 8 değerleri de orta değerler olarak

Tablo :1- AHS Tercihleri İçin İkili Karşılaştırma Ölçeği
Table :1- Pairwise Comparison Scale for AHP Preferences

Sözel Tercih Hükmü Verbal Judgement of Preferences	Sayısal Değer Numerical Rating
Kesinlikle Tercih Edilme Extremely Preferred	9
Kuvvetle Tercih Edilme Very Strongly Preferred	7
Tercih Edilme Strongly Preferred	5
Biraz Tercih Edilme Moderately Preferred	3
Eşit Olarak Tercih Edilme Equally Preferred	1

tercih ölçeğinde kullanılabilir. 1 değeri ise iki elemanın *eşit olarak tercih edildiği* hükmünün verilmesi durumunda kullanılır.

Peyzaj değeri kriteri açısından Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B'nin arasındaki tercih istendiğinde, karar vericinin Arazi Kullanımı A'nın Arazi Kullanımı B'den eşit olarak tercih edilme ile biraz tercih edilme arasında bir tercih sunduğu ve dolayısıyla bu hükmü yansıtan 2 sayısal değerinin alındığı varsayalım. Daha sonra karar vericiden Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı C arasında tercihinin belirtmesi istenir. Bu durumda ise karar vericinin Arazi Kullanımı A'yı Arazi Kullanımı C'den kuvvetle tercih edilme ile kesinlikle tercih edilme arasında tercih ettiğini belirttiği varsayalım. Bu ifade sayısal değer olarak 8'e karşılık gelecektir. Son olarak karar vericiden Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı C'yi karşılaştırması sonucundaki tercihi istenir. Bunun sonucunda karar vericinin Arazi Kullanımı B'yi Arazi Kullanımı C'ye tercih edilme ile kuvvetle tercih edilme arasında tercih belirttiği varsayalım. Bu durumda AHS'de sayısal değer olarak 6 alınacaktır.

2.2.2. İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Peyzaj değeri kriterine göre üç adet arazi kullanımının önceliklerini belirlemek için ikili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulmasına ihtiyaç duyulur. Üç adet arazi kullanımı düşünüldüğüne göre ikili karşılaştırmalar matrisi üç satır ve üç sütundan oluşacaktır. Karar vericinin yukarıda belirlediği tercihlere dayalı olarak oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi aşağıda gösterildiği şekildedir:

	Peyzaj Değeri		
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A		2	8
Arazi Kul. B			6
Arazi Kul. C			

Yukarıdaki matris tablosunda; Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B'nin karşılaştırılmasına yönelik verilmiş olan matris değeri 2 iken, Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı C'nin karşılaştırılmasına 8 ve Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı C'nin karşılaştırılmasına 6 matris değeri verildiği görülmektedir.

İkili karşılaştırmalar matrisindeki diğer değerlerin belirlenmesinde ilk dikkat edilmesi gereken nokta, herhangi bir alternatifin kendisi ile karşılaştırılmasında verilecek hükmün “eşit olarak tercih edilme” olmasıdır. Bu yüzden Tablo 1’de gösterilmiş olan ölçeğe göre; Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı A’nın, Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı B’nin ve Arazi Kullanımı C ile Arazi Kullanımı C’nin karşılaştırılması ile elde edilecek matris değeri 1 olmalıdır. O halde AHS’de ikili karşılaştırmalar matrisinin köşegenlerindeki tüm elemanlara 1 değeri atanmalıdır.

Daha sonra yapılması gereken, Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı A ve Arazi Kullanımı C ile Arazi Kullanımı B’nin ikili karşılaştırılması sonucu elde edilecek matris değerlerinin bulunmasıdır. Bunun için aynı yöntem izlenerek karar vericinin bu ikili karşılaştırmalara yönelik tercihlerini belirtmesi istenebilir. Bununla birlikte Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B’nin karşılaştırılması ile ilgili karar vericinin tercih değerinin 2 olduğu bilinmektedir. O halde bu iki arazi kullanımının bir

diğer ikili karşılaştırmasını yapmaya ihtiyaç yoktur. Zira Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı A'nın tercih değerinin, Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B'nin tercih değeri tersi, yani 1/2 olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bu yüzden AHS'de Arazi Kullanımı B ile Arazi Kullanımı A'nın tercih değeri, Arazi Kullanımı A ile Arazi Kullanımı B'ye yönelik tercih değerinin tersini (karşıtını) hesaplamak suretiyle elde edilir. Bu tersini alma ilişkisi kullanılarak Arazi Kullanımı C'nin Arazi Kullanımı A'ya göre tercih değerinin 1/8 ve Arazi Kullanımı C'nin Arazi Kullanımı B'ye göre tercih değerinin ise 1/6 olduğu bulunabilir. Bu sayısal tercih değerlerinin de ikili karşılaştırmalar matrisine eklenmesi ile Tablo 2'de gösterilen peyzaj değeri kriterine göre üç adet arazi kullanımının ikili karşılaştırmalar matrisi tamamlanmış olur.

Tablo :2- Peyzaj Değeri Kriterine Göre Üç Adet Arazi Kullanımına Yönelik Tercihleri Gösteren İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Table :2- Pairwise Comparison Matrix Showing Preferences for the Three Land Uses in Terms of Landscape Value

	Peyzaj Değeri Landscape Value		
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	1	2	8
Arazi Kul. B	1/2	1	6
Arazi Kul. C	1/8	1/6	1

2.2.3. Sentez

İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulduktan sonra, karşılaştırılan elemanların her birinin *önceliği* hesaplanabilir. Örneğin peyzaj değeri kriterine göre arazi kullanımlarının her birine yönelik göreceli önceliklerin tahmin edilmesi için Tablo 2'deki ikili karşılaştırma bilgilerinin kullanılmasının istendiği varsayalım. AHS'nin bu işlemine *sentezleme* adı verilmektedir. Sentezlemeyi gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan matematiksel prosedür, özdeğer ve özvektör hesaplamalarını

içerir. Bununla ilgili olarak her ne kadar farklı hesaplama yöntemleri bulunsa da, amaca uygun basit bir yaklaşım şekli aşağıda sunulmuştur.

2.2.3.1. Hükümlerin Sentezlenmesine Yönelik Prosedür

Adım 1: İkili karşılaştırmalar matrisinin her bir sütunundaki değerler toplanır.

Adım 2: İkili karşılaştırmalar matrisindeki her bir eleman, bulunduğu sütunun toplam değerine bölünür. Bu işlem sonucunda elde edilen matrise *normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi* denir.

Adım 3: Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisinin her bir satırındaki elemanların aritmetik ortalaması hesap edilir. Bu aritmetik ortalama değerleri, karşılaştırılan elemanların göreceli öncelikleri ile ilgili bir tahmin sağlar.

Bu sentezleme sürecinin nasıl çalıştığını göstermek için, Tablo 2’de gösterilen ikili karşılaştırmalar matrisine yukarıdaki üç adımlık süreç uygulanırsa;

Adım 1: Her bir sütundaki değerler toplanır.

	Peyzaj Değeri		
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	1	2	8
Arazi Kul. B	1/2	1	6
Arazi Kul. C	1/8	1/6	1
Toplamlar	13/8	19/6	15

Adım 2: Matristeki her bir eleman, bulunduğu sütunun toplam değerine bölünür.

	Peyzaj Değeri		
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	8/13	12/19	8/15
Arazi Kul. B	4/13	6/19	6/15
Arazi Kul. C	1/13	1/19	1/15

Dikkat edilirse bu aşamada normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisindeki sütunların her birinin toplam değeri 1'e eşit olmaktadır.

Adım 3: Her bir satırdaki elemanların aritmetik ortalaması alınır.
(Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisindeki sayısal değerler aşağıda ondalık forma dönüştürülmüş şekilde verilmiştir.)

	Peyzaj Değeri			Satırın
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C	Aritmetik Ort.
Arazi Kul. A	0.615	0.632	0.533	0.593
Arazi Kul. B	0.308	0.316	0.400	0.341
Arazi Kul. C	0.077	0.053	0.067	0.066
			Toplam	1.000

Yukarıda açıklanan bu sentezleme işlemi sonucunda peyzaj değeri kriterine göre üç adet arazi kullanımının göreceli öncelikleri elde edilir. Böylece peyzaj değeri kriteri dikkate alındığında en çok tercih edilen arazi kullanımı 0.593 düzeyinde bir öncelik değeri ile Arazi Kullanımı A iken, 0.341 düzeyinde bir öncelik değeri ile Arazi Kullanımı B ikinci ve 0.066 düzeyinde bir öncelik değeri ile Arazi Kullanımı C üçüncü tercih edilen arazi kullanımı olmuştur. Sonuçta peyzaj değeri kriterine göre Arazi Kullanımı A, Arazi Kullanımı B ve Arazi Kullanımı C'nin göreceli önceliklerini gösteren öncelik vektörü aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} 0.593 \\ 0.341 \\ 0.066 \end{bmatrix}$$

2.2.4. Tutarlılık (Doğruluk)

AHS'de yukarıda açıklanan ikili karşılaştırmalar prosedürünün kullanımı ile önceliklerin ortaya konulmasından sonra, karar vericinin son kararın niteliği açısından ikili karşılaştırmalarda vermiş olduğu hükümlerin tutarlılığını kontrol etmesi gereklidir.

Tam bir tutarlılığın sağlanması güç olup herhangi bir ikili karşılaştırmalar takımında bazı tutarsızlıklar ile karşılaşılabilir. Tutarlılık sorununu ele almak için AHS, karar verici tarafından verilen ikili karşılaştırma hükümleri arasındaki tutarlılık derecesinin ölçümüne yönelik bir metot sağlamaktadır. Eğer tutarlılık derecesi kabul edilebilir düzeyde ise, o takdirde karar sürecine devam edilebilir. Ancak tutarlılık derecesi kabul edilemez düzeyde ise, bu durumda karar vericinin analize devam etmeden önce ikili karşılaştırma hükümlerini tekrar ele alması ve düzeltmesi gereklidir.

AHS, bir *tutarlılık oranı* hesaplamak suretiyle ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarlılığını ölçer. Bu oran 0.10 değerini aşması halinde ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarsızlığı söz konusu olur ve böyle bir durumda karar vericinin ikili karşılaştırmalar matrisindeki değerleri düzeltmesi gereklidir. 0.10 yada daha az tutarlılık oranı değerleri ise ikili karşılaştırmalardaki tutarlılık düzeyinin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir.

Tutarlılık oranının nasıl bir matematiksel prosedür ile hesaplanabileceği, arazi kullanımı seçim problemindeki peyzaj değeri kriterine yönelik ikili karşılaştırmalar için aşağıda açıklanmaktadır.

2.2.4.1. Tutarlılık Oranının Tahmin Edilmesi

Adım 1: İkili karşılaştırmalar matrisi ile buna yönelik öncelik vektörü çarpılır. Bu şekilde elde edilen vektöre *ağırlıklandırılmış toplam vektör* adı verilmektedir. Arazi kullanımı seçim problemi için bu hesaplama aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 \\ 1/2 & 1 & 6 \\ 1/8 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.593 \\ 0.341 \\ 0.066 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \times 0.593 + 2 \times 0.341 + 8 \times 0.066 \\ 0.5 \times 0.593 + 1 \times 0.341 + 6 \times 0.066 \\ 0.125 \times 0.593 + 0.166 \times 0.341 + 1 \times 0.066 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.803 \\ 1.034 \\ 0.197 \end{bmatrix} \text{ Ağırlıklandırılmış toplam vektör}$$

Adım 2: Adım 1’de elde edilen ağırlıklandırılmış toplam vektörünün her bir elemanı, buna karşılık gelen öncelik değerine bölünür. Bu hesaplama arazi kullanımı seçim probleminde aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} 1.803 / 0.593 &= 3.040 \\ 1.034 / 0.341 &= 3.032 \\ 0.197 / 0.066 &= 2.985 \end{aligned}$$

Adım 3: Adım 2’de elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları tespit edilir. Bu ortalama değere *maksimum özdeğer* denir ve λ_{\max} simgesi ile gösterilir. Arazi kullanımı seçim problemi için λ_{\max} değeri şu şekilde elde edilir:

$$\lambda_{\max} = (3.040 + 3.032 + 2.985) / 3 = 3.019$$

Adım 4: Aşağıdaki formül kullanılarak *tutarlılık indeksi* (Tİ) hesap edilir.

$$T\dot{I} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

n = karşılaştırılan elemanların sayısı.

Arazi kullanımı seçim probleminde n =3 olduğuna göre tutarlılık indeksi;

$$T\dot{I} = (3.019 - 3) / 2 = 0.010$$

Adım 5: Tutarlılık oranı (TO) hesap edilir. Tutarlılık oranının hesabında aşağıdaki formül kullanılır:

$$TO = T\bar{I} / R\bar{I}$$

Formüldeki $R\bar{I}$ simgesi *rasgele (tesadüfi) indeks* anlamına gelmekte olup rasgele olarak üretilmiş ikili karşılaştırmalar matrislerinin ortalama tutarlılık indeksini ifade eder. $R\bar{I}$ değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak aşağıdaki değerleri alır:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R\bar{I}$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Arazi kullanım seçimi probleminde $n = 3$ ve dolayısıyla $R\bar{I} = 0.58$ olduğuna göre, bu problem için aşağıdaki tutarlılık oranı elde edilecektir:

$$TO = 0.010 / 0.58 = 0.017$$

Daha önce belirtildiği üzere 0.10 yada daha düşük bir tutarlılık oranı kabul edilebilir düşünülmektedir. Arazi kullanımı seçim problemi örneğinde 0.017'lik bir tutarlılık oranı elde edildiğine göre, peyzaj değerine yönelik ikili karşılaştırmalar matrisinde ortaya konan tutarlılık derecesi kabul edilebilir düzeydedir.

2.2.5. Arazi Kullanımı Seçim Problemindeki Diğer İkili Karşılaştırmalar

AHS'nin arazi kullanımı seçim probleminde uygulanmasına devam edildiğinde maliyet minimizasyonu, odun hammaddesi üretimi ve yaban hayatı habitat kalitesi kriterlerine göre de ikili karşılaştırmalar sürecinin aynı şekilde kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Bunun için karar vericinin, bu kriterlerin her birisine göre arazi kullanımlarını ikili olarak karşılaştırması gereklidir. Bu karşılaştırmaların Tablo 3'deki ikili karşılaştırma matrislerinde gösterildiği şekilde yapıldığı varsayalım.

Tablo :3- Arazi Kullanımı Seçim Problemindeki Maliyet Minimizasyonu, Odun Hammaddesi Üretimi ve Yaban Hayatı Habitat Kalitesi Kriterlerine Yönelik İkili Karşılaştırma Matrisleri.

Table :3- Pairwise Comparison Matrices for Minimum Cost, Timber Production and Wildlife Habitat Quality in the Land Use-Selection Problem

Maliyet Minimizasyonu			
Minimum Cost			
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	1	1/3	1/4
Arazi Kul. B	3	1	1/2
Arazi Kul. C	4	2	1

Odun Hammaddesi Üretimi			
Timber Production			
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	1	1/4	1/6
Arazi Kul. B	4	1	1/3
Arazi Kul. C	6	3	1

Yaban Hayatı Habitat Kalitesi			
Wildlife Habitat Quality			
	Arazi Kul. A	Arazi Kul. B	Arazi Kul. C
Arazi Kul. A	1	1/3	4
Arazi Kul. B	3	1	7
Arazi Kul. C	1/4	1/7	1

Peyzaj değeri kriterinde kullanılan aynı sentez prosedürü izlenerek bu kriterler için de öncelik vektörleri hesaplanabilir. Tablo 4'de bu sentezin sonuçları gösterilmiştir.

Tablo :4- Arazi Kullanımı Seçim Problemindeki Maliyet Minimizasyonu, Odun Hammaddesi Üretimi ve Yaban Hayatı Habitat Kalitesine Yönelik Öncelik Vektörleri

Table :4- Priority Vectors for Minimum Cost, Timber Production and Wildlife Habitat Quality in the Land Use-Selection Problem

<u>Maliyet Min.</u> <u>Minimum Cost</u>	<u>Odun Ham. Üretimi</u> <u>Timber Production</u>	<u>Yab. Hay. Habitat Kal.</u> <u>Wildlife Habitat Quality</u>
$\begin{bmatrix} 0.123 \\ 0.320 \\ 0.557 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.087 \\ 0.274 \\ 0.639 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.265 \\ 0.655 \\ 0.080 \end{bmatrix}$

Bu öncelikler incelendiğinde Arazi Kullanımı C'nin maliyet minimizasyonu (0.557) ve odun hammaddesi üretimi (0.639) kriterlerine göre en fazla tercih edilen arazi kullanımı iken Arazi Kullanımı B'nin yaban hayatı habitat kalitesi (0.655) kriterine göre en fazla tercih edilen arazi kullanımı olduğu görülmektedir. Hiçbir arazi kullanımı tüm kriterlere göre en fazla tercih edilen arazi kullanımı olmamıştır. Bu nedenle son karar verilmeden önce kriterlerin genel amaca göre göreceli önemlerinin değerlendirilmesi gereklidir.

En iyi arazi kullanımının seçilmesi genel amacına göre tüm kriterlerin önceliklerini saptamak için daha önce açıklanan ikili karşılaştırma prosedürü aynı şekilde kullanılmalıdır. Bu son ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulabilmesi için karar vericinin kriterleri kendi aralarında ikili olarak karşılaştırarak her bir kriterin önemini belirlemesi gerekir. Bu amaçla aşağıdaki altı adet karşılaştırma yapılarak bu konularda bir hüküm verilmelidir:

Maliyet minimizasyonu ile odun hammaddesi üretimi karşılaştırması,
Maliyet minimizasyonu ile peyzaj değeri karşılaştırması,
Maliyet minimizasyonu ile yaban hayatı habitat kalitesi karşılaştırması,

Odun hammaddesi üretimi ile peyzaj değeri karşılaştırması,
Odun hammaddesi üretimi ile yaban hayatı habitat kalitesi karşılaştırması,

Peyzaj değeri ile yaban hayatı habitat kalitesi karşılaştırması.

Örneğin genel amaca göre maliyet minimizasyonu ile odun hammaddesi üretiminin ikili karşılaştırmasında karar vericinin, maliyet minimizasyonu kriterini odun hammaddesi üretim kriterinden biraz daha önemli bulduğu varsayılın. Bu durumda maliyet minimizasyonu kriterinin daha yüksek önemini göstermek için, Tablo 1'deki AHS'nin 9'lu sayısal değer ölçeği kullanılarak ikili karşılaştırmalar matrisine 3 değeri konulur. Aşağıdaki tabloda genel amaca göre bu dört adet kriterin ikili olarak karşılaştırılmasına dayalı olarak oluşturulduğu varsayılan ikili karşılaştırma matrisi sunulmaktadır.

Tablo :5- Arazi Kullanımı Seçim Problemindeki Dört Adet Kriter Yönelik İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Table :5- Pairwise Comparison Matrix for the Four Criteria in the Land Use-Selection Problem

	Kriter			
	Criterion			
	Mal. min.	Od. ham. ür.	Peyz. Değ.	Ya. h.h. kal.
Maliyet min.	1	3	2	2
Od. ham. ür.	1/3	1	1/4	1/4
Peyzaj değeri	1/2	4	1	1/2
Ya. h. h. Kal.	1/2	4	2	1

Bu durumda ikili karşılaştırma bilgilerini dört adet kriter yönelik önceliklere dönüştürmek için daha önce açıklanan sentezleme süreci kullanılabilir. Böylece Tablo 6 elde edilir.

Tablo :6- Arazi Kullanımı Seçim Probleminde Dört Adet Kriteria Yönelik Öncelikler

Table :6- The Priorities for the Four Criteria in the Land Use-Selection Problem

Kriterler Criteria	Öncelikler Priorities
Maliyet Minimizasyonu Minimum Cost	0.398
Odun Hammaddesi Üretimi Timber Production	0.085
Peyzaj Değeri Landscape Value	0.218
Yaban Hayatı Habitat Kalitesi Wildlife Habitat Quality	0.299

Buna göre en iyi arazi kullanımının seçilmesi genel amacına göre en önemli yani en yüksek önceliğe sahip kriter, 0.398 değerine sahip maliyet minimizasyonu kriteridir. Bunu 0.299 değer ile yaban hayatı habitat kalitesi kriteri ve 0.218 değer ile peyzaj değeri kriteri izlemektedir. Odun hammaddesi üretim kriteri ise genel amaca göre nispeten önemsiz bir kriterdir. Bir sonraki bölümde üç adet arazi kullanımına yönelik genel öncelik sıralamasının oluşturulmasında burada elde edilen öncelik bilgisinin nasıl kullanıldığı gösterilecektir.

2.3. GENEL ÖNCELİK SIRALAMASININ ELDE EDİLMESİ

Daha önceki bölümlerde karşılaştırılan elemanların öncelik sıralamasının elde edilmesi için ikili karşılaştırmalar matrisinden nasıl faydalandığı gösterilmiştir. Burada ise karar alternatiflerinin genel öncelik sıralamasını elde etmek için kriter öncelikleri ve her bir kriter göre her bir karar alternatifinin önceliklerinin nasıl kombine edileceği gösterilecektir. Tablo 7’de daha önceki aşamalarda hesaplanmış olan kriterlere göre arazi kullanımının öncelikleri verilmektedir. Bu matrise *öncelik matrisi* denmektedir.

Tablo :7- Arazi Kullanımı Seçim Problemine Yönelik Öncelik Matrisi

Table :7- The Priority Matrix for the Land Use-Selection Problem

	Mal. min. Min. Cost	Od. ham. ür. Timber Prod.	Peyzaj değ. Landsc. Val.	Ya. h.h. ka. Wild.H.Qu.
Arazi Kul. A Land Use A	0.123	0.087	0.593	0.265
Arazi Kul. B Land Use B	0.320	0.274	0.341	0.655
Arazi Kul. C Land Use C	0.557	0.639	0.066	0.080

Her bir karar alternatifine yönelik genel önceliklerin hesaplanmasında kullanılan prosedürü anlamak için, her bir kriterin önceliğinin o kriterin önemini yansıtan bir ağırlık olarak düşünüldüğü bilinmelidir. Her bir karar alternatifinin genel önceliği, kriter önceliği ile o kritere göre karar alternatifi önceliklerinin çarpımı sonucunda elde edilen değerlerin toplanması ile elde edilir. Arazi kullanımı seçim probleminde kriter önceliklerinin maliyet minimizasyonu kriteri için 0.398, odun hammaddesi üretim kriteri için 0.085, peyzaj değeri kriteri için 0.218 ve yaban hayatı habitat kalitesi kriteri için ise 0.299 olarak bulunduğu hatırlanırsa (Tablo 6), Arazi Kullanımı A için genel öncelik hesaplaması aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\begin{aligned} \text{Arazi Kullanımı A'nın genel önceliği} &= 0.398(0.123) + 0.085(0.087) + \\ & 0.218(0.593) + 0.299(0.265) \\ &= 0.265 \end{aligned}$$

Arazi Kullanımı B ve C için de aynı matematiksel hesaplama tekrar edildiğinde, bu arazi kullanımlarının genel öncelikleri şu şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned} \text{Arazi Kullanımı B'nin genel önceliği} &= 0.398(0.320) + 0.085(0.274) + \\ & 0.218(0.341) + 0.299(0.655) \\ &= 0.421 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arazi Kullanımı C'nin genel önceliği} &= 0.398(0.557) + 0.085(0.639) + \\ &0.218(0.066) + 0.299(0.080) \\ &= 0.314 \end{aligned}$$

İkinci bir yaklaşım olarak yukarıdaki işlemler matris yolu ile ifade edilir ise karar alternatiflerinin genel önceliğine ulaşmak için; hiyerarşinin birinci seviyesinde elde edilen genel amaca göre kriter öncelikleri vektörü (Tablo 6) ile ikinci seviyede elde edilen kriterlere göre her bir karar alternatifi önceliklerini gösteren öncelik matrisinin (Tablo 7) bilinmesi gerekir.

1. seviye için öncelik vektörü (a)

$$\begin{bmatrix} 0.398 \\ 0.085 \\ 0.218 \\ 0.299 \end{bmatrix}$$

2. seviye için öncelik matrisi (b)

$$\begin{bmatrix} 0.123 & 0.087 & 0.593 & 0.265 \\ 0.320 & 0.274 & 0.341 & 0.655 \\ 0.557 & 0.639 & 0.066 & 0.080 \end{bmatrix}$$

Karar alternatiflerinin genel önceliğine ulaşmak için en alt seviyeden en üst seviyeye doğru çarpma işlemini gerçekleştirmek gerekir. Arazi kullanımı seçim probleminde bu işlem (b x a) şeklinde olacaktır:

$$\begin{bmatrix} 0.123 & 0.087 & 0.593 & 0.265 \\ 0.320 & 0.274 & 0.341 & 0.655 \\ 0.557 & 0.639 & 0.066 & 0.080 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.398 \\ 0.085 \\ 0.218 \\ 0.299 \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki matris çarpımı gerçekleştirilir ise;

$$\begin{bmatrix} 0.265 \\ 0.421 \\ 0.314 \end{bmatrix} \text{ sonucu elde edilir.}$$

Böylece AHS'nin karar alternatifleri sıralaması şu şekilde elde edilir:

Alternatif	Öncelik
Arazi Kullanımı A	0.265
Arazi Kullanımı B	0.421
Arazi Kullanımı C	0.314
Toplam	1.000

Bu sonuçlar karar vericinin bir arazi kullanımının seçimi konusunda vereceği karara bir temel teşkil edecektir. AHS önceliklerine dayalı olarak bir karar verilecek ise, o takdirde Arazi Kullanımı B'nin seçilmesi gerekir. Bir başka ifadeyle eğer karar verici genel amaca göre kriterlerin önemi hakkında verdiği hükümlerin ve kriterlere göre arazi kullanımlarına yönelik tercihlerinin doğru olduğuna inanıyor ise, o takdirde AHS öncelikleri Arazi Kullanımı B'nin tercih edilen arazi kullanımı olduğunu göstermektedir.

AHS uygulaması sonucunda elde edilecek alternatiflerin genel öncelik sıralaması, sadece ikili karşılaştırmaları yapan ilgili karar verici için geçerli olacaktır. Nitekim yukarıda elde edilen arazi kullanımı alternatif sıralaması, karar verici değiştiğinde farklı olabilecektir.

3. TARTIŞMA

AHS'nin daha önce belirtilen geniş kullanım alanına rağmen, bu çok kriterli yaklaşıma yönelik olarak literatürde bazı eleştirilere de rastlanmaktadır. Bu eleştirilerden ilki *sıra değişimi* olarak adlandırılan durumla ilgilidir (Dyer, 1990). Sıra değişimi; probleme yeni karar alternatifleri eklenmesi durumunda alternatiflerin tercih sırasında oluşabilecek değişme anlamına gelmektedir. Örneğin Alternatif C'nin dikkate alınmadığı bir durumda AHS analizinin sonucu Alternatif A'nın Alternatif B'ye tercih edilmesi şeklinde bir sonuç doğurmuş iken, analize Alternatif C dahil edildiğinde Alternatif B'nin Alternatif A'ya tercih edilmesi sonucuna ulaşılabilecektir.

Öte yandan Goodwin ve Wright (1998), AHS’de kullanılan 1-9 ölçeğine yönelik literatürde yapılan eleştirilere değinmişlerdir. Buna göre AHS’de ikili karşılaştırma yapılırken kullanılan sözel hükümler ile sayısal hükümlerin birbirini tam karşılamadığını, örneğin “tercih edilme” sözel hükmünün 1-9 ölçeğine göre sayısal değer olarak karşılığı olan 5 değerinin çok yüksek olduğunun tartışıldığını belirtmektedirler. Ayrıca 1-9 ölçeği ile yapılan ikili karşılaştırmalar bazı problemlerde karar vericiyi tutarsızlığa da götürebilmektedir. Örneğin Alternatif A Alternatif B’den 5 kat ve Alternatif B de Alternatif C’den 5 kat daha önemli olarak kabul edilir ise, o takdirde Alternatif A Alternatif C’den 25 kat daha önemli olduğu hükmüne varılabilir ki bu durum olanaklı değildir. Öte yandan 1-9 ölçeğindeki sayısal değerlere başvurmaksızın elemanların sadece göreceli önemlerine yönelik yapılan ikili karşılaştırmaların farklı hatta yanlış yorumlanma ihtimali de bulunmaktadır.

Yine aynı yazarlar her ne kadar ikili karşılaştırma soruları kolay olarak düşünülse de, karar vericinin çok sayıda hükümde bulunmasının gerektiği durumlarda AHS metodunun kullanımından kaçınıldığını da ifade etmektedirler.

AHS’ye yönelik yukarıda belirtilen bazı eleştiriler yapılıyor olsa da, AHS bugün en yaygın şekilde kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi olarak görünmektedir. Zira sahip olduğu özellikler nedeniyle bir çok karmaşık karar probleminin analizinde kolaylıklar ve üstünlükler sağlamaktadır. Nitekim AHS’nin önemli avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- AHS ile bir hiyerarşi kurularak karar problemleri biçimsel (görünümsel) olarak ifade edilir. Bu şekilde karmaşık problemler bileşenlerine ayrılarak karışıklıkları giderilir ve basit bir yapıya kavuşturulur.
- AHS’de elemanların ikili karşılaştırmaları sırasında karar vericinin kişisel hükümleri kullanılır. Böylece karar verme sürecinde sadece sayısal verilere dayalı çözüm aranmamakta, karar verme işlemini yapan kişilerin fikir ve düşünceleri de dikkate alınmaktadır.
- Karar verici, ikili karşılaştırmaları kullanmak suretiyle problemin her bir parçasına daha fazla yoğunlaşabilir. Bu esnada sadece iki elemanın düşünülmesi nedeniyle verilecek hükümler basitleşmektedir. Öte yandan hükümleri sayısal değer ile ifade etme

güçlüğü söz konusu ise sözel hükümlerin kullanılması da mümkündür.

- AHS'de karar verici, hem objektif (kantitatif) ve hem de subjektif (kalitatif) faktörleri beraberce dikkate alarak alternatiflerini değerlendirebilir ve en uygun alternatifin seçilmesine yönelik karar alabilir.
- Karar vericinin yaptığı ikili karşılaştırmaların tutarlılığını (doğruluğunu) test etmek de mümkündür. Böylece karar verici, tutarsızlık durumunda verdiği hükümleri tekrar ele alarak düzeltme imkanına sahiptir.
- AHS'nin çok yönlü oluşu, onun geniş bir uygulama çeşitliliğine sahip olmasını sağlamıştır. Nitekim Mansooreh ve Pet-Edwards (1997); AHS'nin önem ve tercih belirterek en uygun alternatifin seçilmesi yanında, göreceli olasılıklar hakkında hükümler vererek tahmin problemlerinde ve senaryolar inşa etmede de kullanılmakta olduğunu belirtmektedirler.
- Ayrıca AHS'nin bilgisayar üzerinde uygulanmasını sağlayarak kullanıcıya kolaylık sağlayan *Expert Choice (EC)* isimli bir bilgisayar yazılım paketinin bulunduğu da bildirilmektedir (Anderson ve ark., 1997).

Bu haliyle AHS karmaşık karar problemlerinin analizinde sağladığı basitlik, esneklik, kullanım kolaylığı ve rahat yorumlanması ile her türlü kişisel, kurumsal, ulusal v.b. problemlere kolaylıkla uygulanabilecek durumdadır.

Bu kapsamda ormancılık pratiğindeki çeşitli kararların analizinde de AHS rahatlıkla uygulanabilir özelliğindedir. Nitekim Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğünde, kamu tercihlerinin de dikkate alındığı çok amaçlı faydalanmaya dayalı ormancılığın işlevsel (fonksiyonel) planlama çalışmaları kapsamında AHS'nin uygulama olanakları üzerine bir araştırma projesi halen yürütülmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

ANDERSON, D.R., SWEENEY, D.J. and WILLIAMS, T.A., 1997: An Introduction to Management Science-Quantitative Approaches to Decision Making. Eighth Edition, West Publishing Company, USA.

ANSELIN, A., MEIRE, P.M. and ANSELIN L., 1989: Multicriteria Techniques in Ecological Evaluation: An Example Using the Analytical Hierarchy Process. Biological Conservation, Volume: 49, pp: 215-229, England.

DYER, J.S., 1990: Remarks on the Analytic Hierarchy Process. Management Science, Volume: 36, No: 3, March, pp: 249-258, USA.

ENGÜR, M.O., 1996: Orman Ürünlerinin Hasadında Teknoloji Seçimi ve Mekanizasyon Olanakları. İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul.

GOODWIN, P. and WRIGHT, G., 1998: Decision Analysis for Management Judgement. Second Edition, John Wiley and Sons, USA.

KANGAS, J., 1992: Multiple-Use Planning of Forest Resources by Using the Analytic Hierarchy Process. Scandinavian Journal of Forest Research, Volume: 7, No: 2, pp: 259-268.

KANGAS, J., 1994: An Approach to Public Participation in Strategic Forest Management Planning. Forest Ecology and Management, Volume: 70, pp: 75-88.

MANSOOREH, M. and PET-EDWARDS, J., 1997: Technical Briefing: Making Multiple-Objective Decisions. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., IEEE Computer Society Press, USA.

SAATY, T.L., 1980: The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

VARIS, O., 1989: The Analysis of Preferences in Complex Environmental Judgements-A Focus on the Analytic Hierarchy Process. Journal of Environmental Management, Volume: 28, pp: 283-294.

ZAHEDI, F., 1986: The Analytic Hierarchy Process-A Survey of the Method and its Applications. Interfaces, Volume: 16, July-August, pp: 96-108.