σ Journal of Engineering and Natural Sciences
Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi

Sigma 28, 124-137, 2010

Review Paper / Derleme Makalesi

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS FOR SPATIAL DECISION MAKING

Derya ÖZTÜRK*[1], Fatmagül BATUK[2]

[1]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kurupelit-SAMSUN
[2]Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa-İSTANBUL

Received/Geliş: 22.12.2009 Revised/Düzeltme: 17.05.2010 Accepted/Kabul: 21.05.2010

ABSTRACT

Decision-making is the investigating process to decide the best solution by evaluating usually many factors. Analytic hierarchy process (AHP) one of the multi-criteria decision making methods (MCDM), is based on pair-wise comparisons of factors using the values in the range of 1–9. Many spatial decision problems as site selection, disaster risk assessments, making planning decisions, natural resource management, etc. are depend on multi-criteria. In this article, in order to contribute to future studies of the use of analytic hierarchy method for spatial decision problems, the use of this method for spatial decision making is explained by the theoretical background and the calculation procedures are shown on a sample application.
Keywords: Spatial decision problems, multi-criteria decision making, analytic hierarchy process, pair-wise comparison.

KONUMSAL KARAR PROBLEMLERİNDE ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

ÖZET

Karar verme genellikle çok sayıda faktörün bir arada değerlendirilerek en iyi çözümün araştırılması sürecidir. Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi yöntemi, faktörlerin 1–9 aralığında değerler kullanılarak ikili karşılaştırmalarına dayanır. Yerleşim yeri seçimi, afet riski değerlendirmeleri, planlama kararlarının alınması, doğal kaynak yönetimi vb. birçok konumsal karar probleminde çok sayıda ölçütün değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu makalede, analitik hiyerarşi yönteminin konumsal karar problemlerinde kullanımı konusunda yapılacak çalışmalara katkı sağlamak amacıyla yöntemin teorik yapısı ele alınarak konumsal karar problemlerinde kullanım olanağı incelenmiş ve bir örnek uygulama üzerinde hesaplamalar gösterilmiştir.
Anahtar Sözcükler: Konumsal karar problemleri, çok ölçütlü karar analizi, analitik hiyerarşi yöntemi, ikili karşılaştırma.

---

1. GİRİŞ

Karar verme, birden daha fazla sayıda seçeneğin bir veya daha fazla ölçüte göre karşılaştırılarak bir sonucun elde edilmesidir. Karar verici bir problem için bazı ölçütlerin diğerlerine göre daha fazla ya da daha az önemli olduğu düşünebilir. Bu nedenle karar verme sürecinin en önemli aşaması ölçütlerin bağıl önemlerine dayalı olarak ağırlıklarının belirlenmesidir [1].

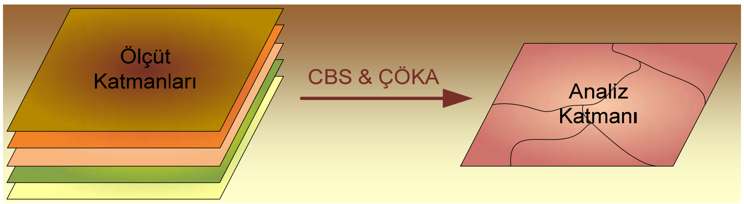
*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: dzozturk@gmail.com, tel: (532) 582 11 51

Bugün modern bilim ve teknoloji ile karmaşık karar problemlerinin çözümü mümkün olmaktadır. Yöneylem araştırması, yönetim bilimi ve istatistik gibi bilimsel disiplinlerin gelişimi ve bunların bilgisayarlarla entegrasyonu bir problem için en iyi kararın alınmasında yardımcı olmaktadır. Doğrusal programlama, dinamik programlama, hipotez testleri, envanter kontrolü, sıralama sistemlerinin optimizasyonu ve ÇÖKA yöntemlerinin tamamında da en iyi karar ya da çözüm araştırılır [2].

Yerleşim yeri seçimi, planlama, afet risk değerlendirmeleri ve doğal kaynak yönetimi gibi birçok karar konumsal verilerle ilgilidir. Konumsal veri ve bilgi gerektiren karar problemleri konumsal karar problemleri olarak adlandırılır. Konumsal karar problemleri genellikle çok sayıda seçeneğin birçok ölçüte göre değerlendirilmesini gerektirir [3, 4]. Bu nedenle konumsal karar problemleri ÇÖKA ile incelenir [4].

Konumsal ÇÖKA coğrafi bileşeni nedeniyle klasik ÇÖKA tekniklerinden önemli bir farklılık gösterir. Konumsal ÇÖKA'da her bir seçeneğin hem coğrafi konumu hem de her ölçüt için değeri gereklidir. Bundan dolayı konumsal karar problemlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve ÇÖKA teknikleri birlikte kullanılır. Buna bağlı olarak konumsal ÇÖKA aynı zamanda CBS tabanlı ÇÖKA olarak da adlandırılır [5].

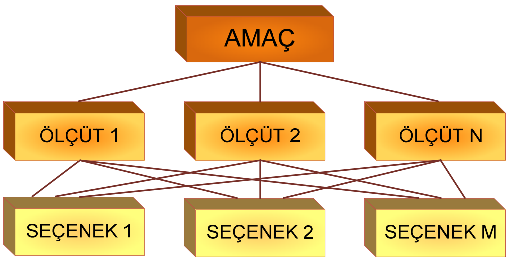
Konumsal ÇÖKA, coğrafi verileri, karar verici/vericilerin öncelikleri/değerlendirmelerini ve bu veri ve değerlendirmelerin bir karar kuralına göre birleştirilmesini kapsar. Dolayısıyla konumsal ÇÖKA'yla, karar analizinde kullanılan birden çok sayıda coğrafi katmandan bir sonuç katman elde edilir (Şekil 1) [5–7].



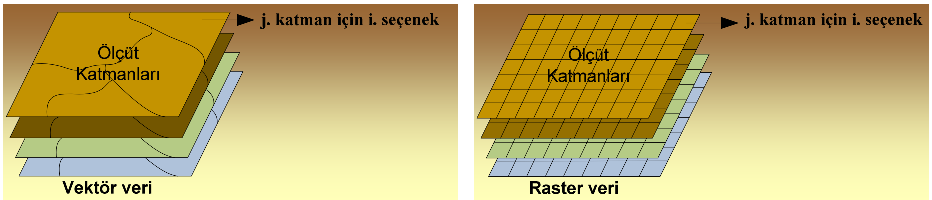
Şekil 1. Konumsal çok ölçütlü karar analizi [5]

2. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ

Birden daha çok sayıda ölçüt içeren karmaşık karar problemleri için Saaty (1980) tarafından geliştirilen *analitik hiyerarşi* yöntemiyle problem; ana hedef, ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler düzeyinde hiyerarşik bir sistem içinde modellenmektedir. Hiyerarşi genel olarak en az üç düzeyden oluşur (Şekil 2). Buna göre hiyerarşinin en üstünde problemin genel amacı, amacın altında sırasıyla ölçütler ve seçenekler yer almaktadır [5, 8, 9]. Konumsal veriler için seçenekler vektör veri yapısında nokta, çizgi ve poligonlarla; raster veri yapısında piksellerle ifade edilir (Şekil 3) [5].



Şekil 2. Analitik hiyerarşi modeli [10]



Şekil 3. Konumsal verilerde ölçüt ve seçenekler [5]

Problem, hiyerarşik bir modele oturtulduktan sonra, hiyerarşiyi oluşturan öğelerin ağırlıkları hesaplanır. Bir düzeydeki öğelerin hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan öğeler açısından değerlendirmesinde Saaty (1980) tarafından önerilen (1–9) puanlı tercih ölçeğinden (Çizelge 1) yararlanılarak bir puanlama yapılır ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur [10, 11]. Bir ikili karşılaştırma matrisi *n* adet öğe için n(n-1)/2 adet karşılaştırmadan oluşur [5].

Çizelge 1. İkili karşılaştırma tercih ölçeği [10]

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	1. öğe 2. öğeye göre biraz daha önemli
5	1. öğe 2. öğeye göre fazla önemli
7	1. öğe 2. öğeye göre çok fazla önemli
9	1. öğe 2. öğeye göre aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

İkili karşılaştırma matrisi;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

yapısındadır ve bu matris için *r* satır ve *k* sütun sayısı olmak üzere $a_{kr} = \dfrac{1}{a_{rk}}, a_{rk} \neq 0$ ’dır. Eğer k=r ise $a_{rk} = 1$ ’dir [12].

Her seçeneğin analitik hiyerarşi yöntemine göre sonuç değeri;

$$A_{AHP} = \sum_{j}^{n} a_{ij} w_j \qquad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

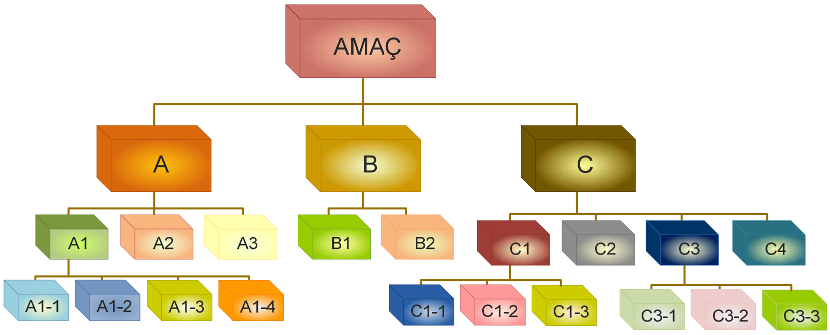
eşitliğine göre hesaplanır [10]. Burada;

w_j : j. ölçütün ikili karşılaştırma ile belirlenen ağırlığı,

a_{ij} : j. ölçütte i. seçeneğin normalleştirilmiş değeri ya da j. ölçütte i. seçeneğin diğer seçeneklere göre bağıl önemidir.

Ölçüt ağırlıklarının hesabı için, ikili karşılaştırma matrisindeki her eleman sütun toplamına bölünerek normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve bu matriste satır ortalamaları alınır. Ağırlıklar 0-1 aralığındadır ve toplamları 1’dir ($w_1+w_2+w_3+ \dots +w_n = 1$) [5].

Karşılaştırılacak öğelerin sayısı çok fazla olduğunda ikili karşılaştırmaların gerçekleştirilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle çok sayıda öğe söz konusu olduğunda hiyerarşik model, ölçüt ve alt ölçütler biçiminde yapılandırılmalıdır (Şekil 4). Ölçüt-alt ölçütler yapısında bir alt ölçütün sonuç ağırlığı (W), bu alt ölçüt ve bağlı olduğu ölçütlerin hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan ölçüt açısından ikili karşılaştırmalar ile değerlendirilmeleri sonucunda elde edilen ağırlıkların (w) çarpımıdır [13].



Şekil 4. Analitik hiyerarşi modelinde ölçüt ve alt ölçüt yapılandırması örneği [10, 11, 13]

Şekil 4'teki hiyeraşik model ele alındığında ölçütler A, B ve C; alt ölçütler A ölçütü için A1, A2 ve A3, B ölçütü için B1 ve B2, C ölçütü için C1, C2, C3 ve C4; bir alt düzeyde ise A1 alt ölçütü için A1-1, A1-2, A1-3 ve A1-4, C1 alt ölçütü için C1-1, C1-2 ve C1-3, C3 alt ölçütü için C3-1, C3-2 ve C3-3'tür. Ağırlıkların hesabı için toplam 7 adet ikili karşılaştırma matrisi (1. düzey ölçütler için 1, 2. düzey alt ölçütler için 3 ve 3. düzey alt ölçütler için 3 adet) oluşturulur. Analizde gereken ağırlıklar ($W_{A1\text{-}1}$, $W_{A1\text{-}2}$, $W_{A1\text{-}3}$, $W_{A1\text{-}4}$, W_{A2}, W_{A3}, W_{B1}, W_{B2}, $W_{C1\text{-}1}$, $W_{C1\text{-}2}$, $W_{C1\text{-}3}$, W_{C2}, $W_{C3\text{-}1}$ $W_{C3\text{-}2}$, $W_{C3\text{-}3}$, W_{C4}) ikili karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan ağırlıklara (w) göre belirlenir [10, 11, 13].

$$w_A + w_B + w_C = 1$$
$$w_{A1} + w_{A2} + w_{A3} = 1$$
$$w_{B1} + w_{B2} = 1$$
$$w_{C1} + w_{C2} + w_{C3} + w_{C4} = 1$$
$$w_{A1\text{-}1} + w_{A1\text{-}2} + w_{A1\text{-}3} + w_{A1\text{-}4} = 1$$
$$w_{C1\text{-}1} + w_{C1\text{-}2} + w_{C1\text{-}3} = 1$$
$$w_{C3\text{-}1} + w_{C3\text{-}2} + w_{C3\text{-}3} = 1$$

$$W_{A1\text{-}1} = w_{A1\text{-}1} \text{ x } w_{A1} \text{ x } w_A$$
$$W_{A1\text{-}2} = w_{A1\text{-}2} \text{ x } w_{A1} \text{ x } w_A$$
$$W_{A1\text{-}3} = w_{A1\text{-}3} \text{ x } w_{A1} \text{ x } w_A$$
$$W_{A1\text{-}4} = w_{A1\text{-}4} \text{ x } w_{A1} \text{ x } w_A$$

$$W_{A2} = w_{A2} \text{ x } w_A$$

$$W_{A3} = w_{A3} \text{ x } w_A$$

$$W_{B1} = w_{B1} \text{ x } w_B$$

$$W_{B2} = w_{B2} \text{ x } w_B$$

$$W_{C1\text{-}1} = w_{C1\text{-}1} \text{ x } w_{C1} \text{ x } w_C$$
$$W_{C1\text{-}2} = w_{C1\text{-}2} \text{ x } w_{C1} \text{ x } w_C$$
$$W_{C1\text{-}3} = w_{C1\text{-}3} \text{ x } w_{C1} \text{ x } w_C$$

$$W_{C2} = w_{C2} \text{ x } w_C$$

$$W_{C3\text{-}1} = w_{C3\text{-}1} \text{ x } w_{C3} \text{ x } w_C$$
$$W_{C3\text{-}2} = w_{C3\text{-}2} \text{ x } w_{C3} \text{ x } w_C$$
$$W_{C3\text{-}3} = w_{C3\text{-}3} \text{ x } w_{C3} \text{ x } w_C$$

$$W_{C4} = w_{C4} \text{ x } w_C$$

$$W_{A1\text{-}1} + W_{A1\text{-}2} + W_{A1\text{-}3} + W_{A1\text{-}4} + W_{A2} + W_{A3} + W_{B1} + W_{B2} + W_{C1\text{-}1} + W_{C1\text{-}2} + W_{C1\text{-}3} + W_{C2} + W_{C3\text{-}1} + W_{C3\text{-}2} + W_{C3\text{-}3} + W_{C4} = 1$$

Analitik hiyerarşi yönteminde öğelerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Bunun için ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığı kontrol edilmelidir [12]. Karşılaştırmaların tutarlılığını ölçmek için Saaty (1980) tarafından önerilen bir tutarlılık oranı kullanılmaktadır. Tutarlılık oranı 0.10'un altında ise değerlendirmelerin yeterli bir tutarlılık gösterdiği kabul edilmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0.10'un üstünde ise ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilir [11].

Tutarlılık oranının belirlenmesi için ağırlık değerleriyle ikili karşılaştırma matrisinin sütunları sırasıyla çarpılır (örneğin 1. öğenin ağırlılığı ve 1. sütun) ve elde edilen bu değerlere göre matrisin satır toplamları alınır. Bu (nx1) boyutlu ağırlıklı toplam vektör, ağırlık değerlerine bölünerek tutarlık vektörü elde edilir. Tutarlılık indeksi, tutarlılık vektörünün ortalama değeri ve ölçüt sayısına bağlı olarak hesaplanır (Eşitlik (3)). Tutarlılık indeksinin karşılaştırılan ölçüt sayısına bağlı olarak değişen tesadüfilik göstergesine (Çizelge 2) bölünmesiyle tutarlılık oranı elde edilir (Eşitlik (4)) [5].

$$\mathrm{CI} = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{3}$$

$$\mathrm{CR} = \frac{\mathrm{CI}}{\mathrm{RI}} \tag{4}$$

Burada;
RI: Tesadüfilik göstergesi,
CI: İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksidir.

Çizelge 2. Tesadüfilik göstergesi [5]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	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

Analitik hiyerarşi sürecinde ikili karşılaştırmalar, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde olduğu gibi aynı zamanda bir ölçüte göre seçeneklerin ağırlıklarının belirlenmesinde de kullanılır [1, 5, 14, 15]. Ancak özellikle raster verilere dayalı konumsal karar analizlerinde çok fazla sayıda seçenek söz konusu olduğundan birçok konumsal karar analizinde bu durum gerçekleştirilemez. Örneğin 3 farklı parsel (seçenek) yola yakınlık, eğim ve maliyet ölçütleri yönünden karşılaştırılabilirken bir bölgede yerleşim açısından en uygun alanların eğim ve jeolojik durum ölçütlerine göre belirlenmesi probleminde konumsal seçenekler piksellerle temsil edilir ve bu seçeneklerin ağırlıklarının ikili karşılaştırma yöntemiyle belirlenmesi mümkün değildir [5, 14, 15].

Ölçüt katmanları, tanımsal (örneğin *arazi kullanımı/örtüsü* [orman, yerleşim, kumluk vb.]), sıralı (örneğin *deprem riski* [1. derece, 2. derece, …], *nüfus yoğunluğu* [yüksek, orta, düşük]) ya da aralık tanımlı (sıcaklık [20–30˚C, 30–50˚C, 50–75˚C] ise bu ifadelerin sayısal değerlere dönüştürülmesinde ikili karşılaştırma yöntemi kullanılabilir [5]. Ancak çok fazla sayıda öğe söz konusu olduğunda ölçüt-alt ölçüt yapılandırmasına benzer bir hiyerarşinin kurulması ve böylece karşılaştırılacak öğelerin sayısının azaltılması genellikle sağlanamaz. Dolayısıyla böyle durumlarda sıralama ve puanlama yöntemleriyle ağırlık belirleme daha uygun olmaktadır [5, 14, 15].

Sayısal değerler taşıyan ölçüt katmanları ise bazı karar problemlerinde belirli sayı aralıklarına gruplandırılarak temsil edilmek istenebilir (örneğin 5.7 ile 85.3 aralığında değerler alan bir ölçüt katmanı için <10, 10–20, 20–40, 40–70, >70). Bu durumda oluşturulan sınıflar ikili karşılaştırma yöntemiyle ağırlıklandırılabilir [5].

Konumsal karar analizinde kullanılan ölçütler genelde farklı sayısal aralıklarda ve ölçü birimlerinde (*örneğin bir analizde, yükseklik 0–850 m, eğim % 3–45 olabilir)* değerler taşımaktadır. Bütün ölçütlerin bir arada işleme konulabilmesi için standart bir sayı aralığında normalleştirilmeleri gerekir. Bu amaçla en çok kullanılan yöntem *doğrusal ölçek dönüşümü*dür [5, 16]. Çok sayıda doğrusal ölçek dönüşümü bulunmaktadır ancak en çok kullanılanları *maksimum* *değere* göre (Eşitlik (5) ve (6)) ve *maksimum-minimum değer aralığı*na (Eşitlik (7) ve (8)) göre doğrusal ölçek dönüşümleridir [5].

Maksimum değere göre doğrusal ölçek dönüşümünde en yüksek değer yine en yüksek olacak şekilde normalleştirmek için (5), en düşük değer en yüksek olacak şekilde normalleştirmek için de (6) eşitliği uygulanır. Benzer şekilde *maksimum-minimum değer aralığına* göre doğrusal ölçek dönüşümünde en yüksek değer yine en yüksek olacak şekilde normalleştirmek için (7), en düşük değer en yüksek olacak şekilde normalleştirmek için de (8) eşitliği kullanılır.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{maks}} \tag{5}$$

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{maks}} \tag{6}$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{maks} - x_j^{min}} \tag{7}$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}^{maks} - x_{ij}}{x_j^{maks} - x_j^{min}} \tag{8}$$

Analitik hiyerarşi sürecinde eğer tüm ölçüt katmanlarında öğeler ikili karşılaştırma ile ağırlıklandırılmışsa her katmanda öğeler 0–1 aralığında yer alır. Katmanların öğe sayısı eşit ise normalleştirme işlemiyle öğeler arasındaki oran değişmeyeceğinden, bu değerler doğrudan normalleştirilmiş değerler olarak kullanılabilir [5, 7].

3. BİRDEN ÇOK SAYIDA KARAR VERİCİ DURUMUNDA ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Gruptaki karar vericilerin değerlendirmelerinin birleştirilerek tek bir yargı elde edilmesi karar analizinin önemli konulardan biridir. Analitik hiyerarşi yönteminde karar vericilerin yargılarının birleştirilmesinde, ikili karşılaştırma matrisinde köşegene göre simetrik olan değerlerin birbirinin tersi olma koşulunu sağladığından geometrik ortalama yöntemi kullanılır. Sonuç değer karar vericilerin değerlendirmelerinin önem derecelerine göre kuvveti alınarak elde edilir [8, 13, 17].

$$\underbrace{A(1) = \begin{bmatrix} 1 & a_{12}(1) & \dots & a_{1n}(1) \\ a_{21}(1) & 1 & \dots & a_{2n}(1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}(1) & a_{n2}(1) & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdots A(n) = \begin{bmatrix} 1 & a_{12}(n) & \dots & a_{1n}(n) \\ a_{21}(n) & 1 & \dots & a_{2n}(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}(n) & a_{n2}(n) & \dots & 1 \end{bmatrix}}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{12}(n)^{w_n} & \dots & a_{1n}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{1n}(n)^{w_n} \\ a_{21}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{21}(n)^{w_n} & 1 & \dots & a_{2n}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{2n}(n)^{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{n1}(n)^{w_n} & a_{n2}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{n2}(n)^{w_n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Sonuç matris incelendiğinde köşegene göre simetrik olan değerlerin birbirinin tersi olma koşulunu sağladığı görülmektedir. Örneğin;

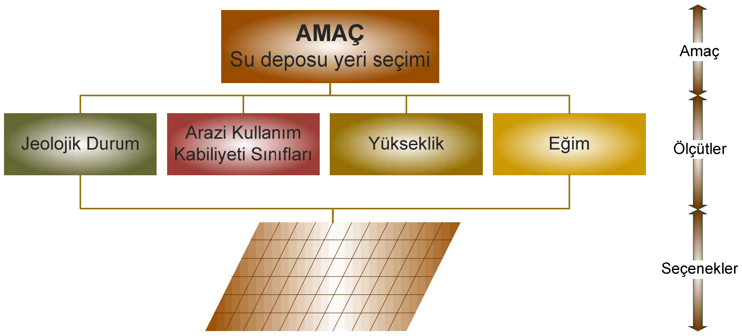
$$a_{21}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{21}(n)^{w_n} = \frac{1}{a_{12}(1)^{w_1} \times \ldots \times a_{12}(n)^{w_n}}$$

Ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemi ise bu koşulu sağlamadığından karar vericilerin ikili karşılaştırma değerlendirmelerinin birleştirilmesinde kullanılmamalıdır [8, 13, 17].

$$a_{21}(1) \times w_1 + \ldots + a_{21}(n) \times w_n \neq \frac{1}{a_{12}(1) \times w_1 + \ldots + a_{12}(n) \times w_n}$$

4. KONUMSAL KARAR PROBLEMİNDE ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Analitik hiyerarşi yönteminin konumsal karar analizlerinde kullanımını incelemek amacıyla örnek bir inceleme alanında kentin su gereksinimini karşılayacak bir su deposu yerinin seçimi ele alınmıştır. Örnek problem için 3 karar verici jeolojik durum, arazi kullanım kabiliyeti sınıfları, yükseklik ve eğim ölçütlerini Çizelge 3'teki gibi değerlendirmiştir. Karar vericilerin değerlendirmelerinin ağırlıkları (w_{K1}=0.40, w_{K2}=0.30 ve w_{K3}=0.30) dikkate alınarak ikili karşılaştırmaların geometrik ortalamaları alınmış ve ölçüt ağırlıkları bu değerlere göre hesaplanmıştır (Çizelge 4). İkili karşılaştırmaların tutarlılık oranı 0.10 sınır değerini aşmamıştır (Çizelge 5).



Şekil 5. Bir su deposu yeri seçimi örneği için analitik hiyerarşi modeli

Çizelge 3. Ölçütlerin ikili karşılaştırmaları

	Ölçüt	Jeolojik Durum	Yükseklik	Arazi Kul. Kab.	Eğim
Karar Verici (1) w_{K1}=0.40	Jeolojik Durum	1	1	5	4
	Yükseklik	1	1	5	4
	Arazi Kul. Kab.	1/5	1/5	1	1/2
	Eğim	1/4	1/4	2	1
Karar Verici (2) w_{K2}=0.30		1	2	6	5
		1/2	1	5	4
		1/6	1/5	1	1/2
		1/5	1/4	2	1
Karar Verici (3) w_{K3}=0.30		1	2	5	4
		1/2	1	4	3
		1/5	1/4	1	1/2
		1/4	1/3	2	1
Geometrik Ortalama	Ölçüt	Jeolojik Durum	Yükseklik	Arazi Kul. Kab.	Eğim
	Jeolojik Durum	1	1.516	5.281	4.277
	Yükseklik	0.660	1	4.676	3.669
	Arazi Kul. Kab.	0.189	0.214	1	0.500
	Eğim	0.234	0.273	2	1

Çizelge 4. Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi

	I. Adım				II. Adım				
Ölçüt	Jeo. D.	Yüks.	Ar. K. K.	Eğim	Jeo. D.	Yüks.	Ar. K.K.	Eğim	**Ağırlık**
Jeo. D.	1	1.516	5.281	4.277	0.480	0.505	0.408	0.453	0.461
Yüks.	0.660	1	4.676	3.669	0.317	0.333	0.361	0.388	0.350
Ar. K. K.	0.189	0.214	1	0.500	0.091	0.071	0.077	0.053	0.073
Eğim	0.234	0.273	2	1	0.112	0.091	0.154	0.106	0.116
Toplam	**2.083**	**3.003**	**12.957**	**9.446**	**1.000**	**1.000**	**1.000**	**1.000**	**1.000**

Çizelge 5. Tutarlılık hesabı

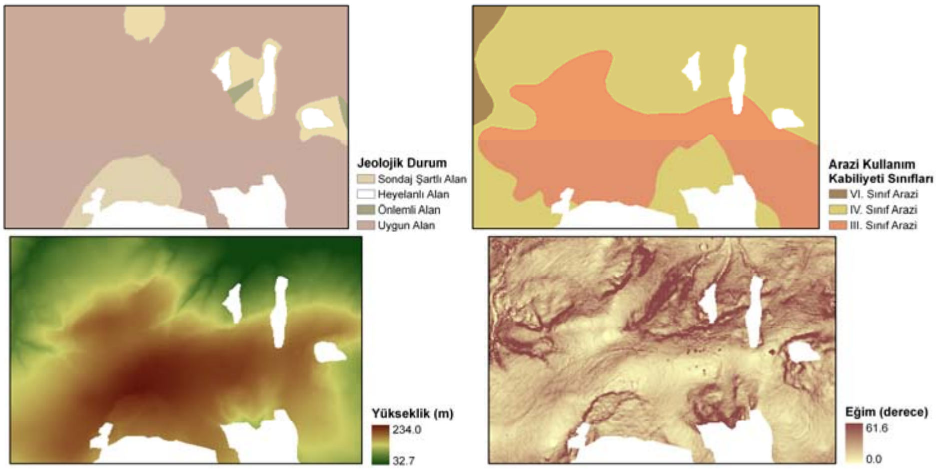
Ölçüt	Jeo. D.	Yüks.	Ar. K. K.	Eğim	Satır Toplamı	Tutarlılık Vektörü
Jeo. D.	0.461	0.531	0.386	0.496	1.874	4.065
Yüks.	0.304	0.350	0.341	0.426	1.421	4.060
Ar. K. K.	0.087	0.075	0.073	0.058	0.293	4.014
Eğim	0.108	0.096	0.146	0.116	0.466	4.017

$$\lambda = \frac{4.065 + 4.060 + 4.014 + 4.017}{4} = 4.039$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.013$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.013}{0.90} = 0.01$$

İnceleme alanındaki 10-m piksel boyutlu yükseklik ve eğim katmanları ile vektör yapıdaki jeolojik durum ve arazi kullanım kabiliyeti sınıfları katmanlarını bir arada işleme koyabilmek için vektör veriler 10-m piksel boyutlu raster verilere dönüştürülmüştür. Jeolojik durumu *heyelanlı alan* olan bölgeler bütün katmanlarda inceleme alanından çıkarılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçüt katmanları

İnceleme alanında jeolojik durum katmanında bulunan uygun alan, sondaj şartlı alan ve önlemli alanlar için karar vericilerin ikili karşılaştırma değerlendirmeleri ve karar vericilerin ağırlıklarına göre hesaplanan geometrik ortalama değerleri Çizelge 6'da, ağırlık hesabı Çizelge 7'de ve tutarlılık hesabı Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 9'da inceleme alanındaki arazi kullanım kabiliyeti sınıflarının ikili karşılaştırmaları ve karar vericilerin ağırlıklarına göre hesaplanan geometrik ortalama değerleri, Çizelge 10'da ağırlık hesabı ve Çizelge 11'de tutarlılık hesabı yer almaktadır.
Tutarlık oranları incelendiğinde 0.10'un altında kaldığı dolayısıyla ikili karşılaştırmaların yeterli bir tutarlılık gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 6. Jeolojik durum katmanındaki öğelerin ikili karşılaştırmaları

		Uygun Alan	Sondaj Şartlı Alan	Önlemli Alan
Karar Verici (1) w_{K1}=0.40	Uygun Alan	1	4	7
	Sondaj Şartlı Alan	1/4	1	5
	Önlemli Alan	1/7	1/5	1
Karar Verici (2) w_{K2}=0.30		1	3	7
		1/3	1	4
		1/7	1/4	1
Karar Verici (3) w_{K3}=0.30		1	4	8
		1/4	1	5
		1/8	1/5	1
Geometrik Ortalama		Uygun Alan	Sondaj Şartlı Alan	Önlemli Alan
	Uygun Alan	1	3.669	7.286
	Sondaj Şartlı Alan	0.273	1	4.676
	Önlemli Alan	0.137	0.214	1

Çizelge 7. Jeolojik durum katmanındaki öğelerin ağırlık hesabı

	I. Adım			II. Adım			
	Uygun A.	Sondaj Ş. A	Önlemli A.	Uygun A.	Sondaj Ş. A	Önlemli A.	Ağırlık
Uygun A.	1	3.669	7.286	0.709	0.751	0.562	0.674
Sondaj Ş. A	0.273	1	4.676	0.194	0.205	0.361	0.253
Önlemli A.	0.137	0.214	1	0.097	0.044	0.077	0.073
Toplam	**1.410**	**4.883**	**12.962**	**1.000**	**1.000**	**1.000**	**1.000**

Çizelge 8. Tutarlılık hesabı

	Uygun A.	Sondaj Ş. A.	Önlemli A.	Satır Toplamı	Tutarlılık Vektörü
Uygun A.	0.674	0.928	0.532	2.134	3.166
Sondaj Ş. A.	0.184	0.253	0.341	0.778	3.075
Önlemli A.	0.092	0.054	0.073	0.219	3.000

$$\lambda = \frac{3.166 + 3.075 + 3.000}{3} = 3.080$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.040$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.040}{0.58} = 0.07$$

Çizelge 9. Arazi kullanım kabiliyeti sınıfları katmanındaki öğelerin ikili karşılaştırmaları

		VI. Sınıf Arazi	IV. Sınıf Arazi	III. Sınıf Arazi
Karar Verici (1) w_{K1}=0.40	VI. Sınıf Arazi	1	3	5
	IV. Sınıf Arazi	1/3	1	3
	III. Sınıf Arazi	1/5	1/3	1
Karar Verici (2) w_{K2}=0.30		1	2	4
		1/2	1	3
		1/4	1/3	1
Karar Verici (3) w_{K3}=0.30		1	3	6
		1/3	1	4
		1/6	1/4	1
Geometrik Ortalama		VI. Sınıf Arazi	IV. Sınıf Arazi	III. Sınıf Arazi
	VI. Sınıf Arazi	1	2.656	4.939
	IV. Sınıf Arazi	0.376	1	3.270
	III. Sınıf Arazi	0.202	0.306	1

Çizelge 10. Arazi kullanım kabiliyeti sınıfları katmanındaki öğelerin ağırlık hesabı

	I. Adım			II. Adım			
	VI. S. A.	IV. S. A.	III. S. A.	VI. S. A.	IV. S. A.	III. S. A.	Ağırlık
VI. S. A.	1	2.656	4.939	0.634	0.670	0.536	0.613
IV. S. A.	0.376	1	3.270	0.238	0.252	0.355	0.282
III. S. A.	0.202	0.306	1	0.128	0.077	0.109	0.105
Toplam	**1.578**	**3.962**	**9.209**	**1.000**	**0.999**	**1.000**	**1.000**

Çizelge 11. Tutarlılık hesabı

	VI. S. A.	IV. S. A.	III. S. A.	Satır Toplamı	Tutarlılık Vektörü
VI. S. A.	0.613	0.749	0.519	1.881	3.069
IV. S. A.	0.230	0.282	0.343	0.855	3.032
III. S. A.	0.124	0.086	0.105	0.315	3.000

$$\lambda = \frac{3.069 + 3.032 + 3.000}{3} = 3.034$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = 0.017$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.017}{0.58} = 0.03$$

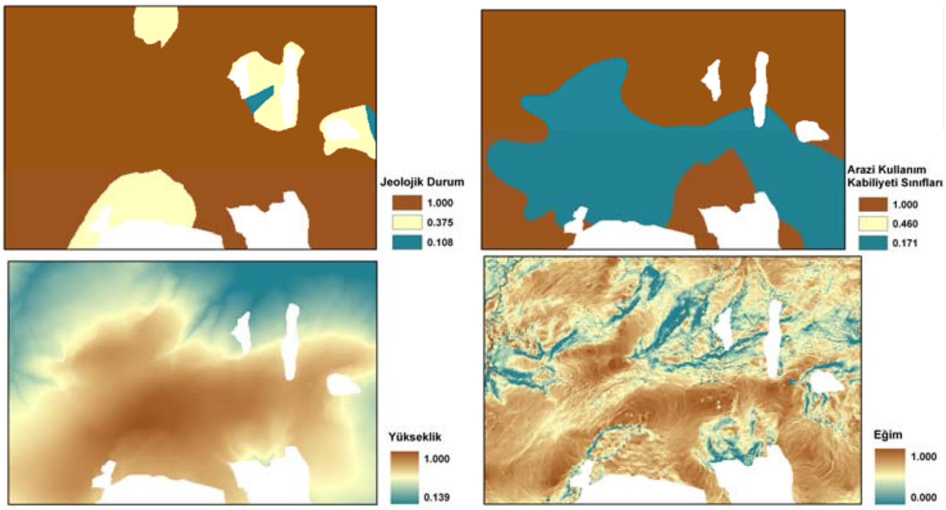
Jeolojik durum ve arazi kullanım kabiliyeti sınıfı katmanlarının ikili karşılaştırmalar sonucunda hesaplanan değerleri (5) eşitliğine göre normalleştirilmiştir (Çizelge 12 ve 13) ve katmanlara normalleştirilmiş değerler atanmıştır. Su deposu yeri seçimi için yüksekliğin fazla eğimin ise düşük olması tercih edildiğinden yükseklik katmanı (5), eğim katmanı (6) eşitliğine göre normalleştirilmiştir (Şekil 7).

Çizelge 12. Jeolojik durum katmanının normalleştirilmesi

	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
Uygun A.	0.674	1.000
Sondaj Ş. A.	0.253	0.375
Önlemli A.	0.073	0.108

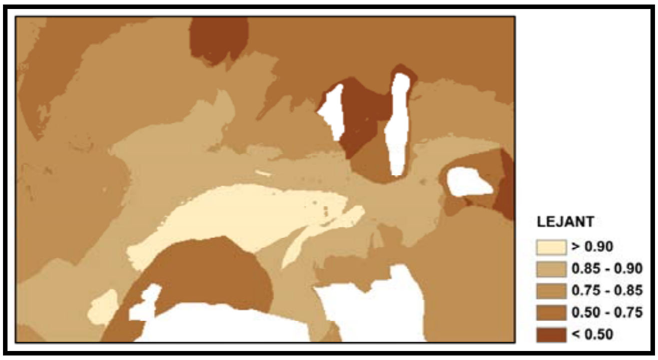
Çizelge 13. Arazi kullanım kabiliyeti sınıfları katmanının normalleştirilmesi

	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
VI. S. A.	0.613	1.000
IV. S. A.	0.282	0.460
III. S. A.	0.105	0.171



Şekil 7. Normalleştirilmiş ölçüt katmanları

Normalleştirilmiş katmanlar ve ölçüt ağırlıkları (2) eşitliğinde işleme konularak sonuç analiz katmanı elde edilmiştir. Analitik hiyerarşi yöntemine göre elde edilen analiz katmanı 0.93–0.34 aralığında değerler almıştır. Yüksek değerlerler o alanın karar amacına daha uygun olduğu anlamındadır. Analiz katmanının daha anlaşılır olması için sayısal değerler 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada karar amacı için ilk sırada değerlendirilecek olan alanlar (>0.90) olarak belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Analiz katmanı

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ÇÖKA yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi yöntemiyle konumsal karar analizi konusunda yapılacak çalışmalara katkı sağlamak amacıyla yöntemin teorik yapısı ayrıntılı olarak açıklanmış, konumsal olmayan karar problemlerine göre farklı yanları, önemli ve uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar vurgulanmıştır. Analitik hiyerarşi yönteminin en önemli adımları olan ölçüt-alt ölçüt hiyerarşik yapılandırması, ağırlık belirleme ve farklı karar vericilere ait değerlendirilmelerin birleştirilmesi konuları üzerinde detaylı olarak durulmuştur. Yöntemin ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde ve seçenek sayısı çok fazla olmadığında seçeneklerin ölçütlere göre ağırlıklandırılmasında etkin olarak kullanılabildiği ancak, özellikle raster verilere dayalı analizlerde ve seçenek sayısı fazla olduğunda seçeneklerin ağırlıklandırılmasında çok kullanışlı olmadığı değerlendirilmiştir.

Yöntemin daha kolay anlaşılabilmesi için bir konumsal karar problemi örneği ele alınarak sayısal hesaplamalar ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Örnek olarak incelenen kentsel su gereksinimini karşılayacak bir su deposu yeri seçimi probleminde jeolojik durum, arazi kullanım kabiliyeti sınıfları, yükseklik ve eğim ölçütleri değerlendirmeye alınmıştır. Kullanılan ölçütler karar verici/vericilere göre farklılık gösterebilir. Dolayısıyla aynı karar problemi için bu ölçütler genişletilebilir ya da daraltılabilir. Ele alınan örnek problemde olduğu gibi belirli bir amaç için yer seçimi, kentsel ve kırsal planlama, afet riskinin belirlenmesi gibi çok sayıda faktörün değerlendirilmesini gerektiren konumsal karar problemleri için de analitik hiyerarşi yöntemi kolaylıkla kullanılabilir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

[1] Marinoni, O., Implementation of the Analytical Hierarchy Process with VBA in ArcGIS, Comput. Geosci., 30, 6, 637–646, 2004.

[2] Triantaphyllou, E., Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000, pp.130–131.

[3] Massam, B. H., Spatial Search: Applications to Planning Problems in the Public Sector, Pergamon Pres, Oxford, 1980, pp.224–226.

[4] Rajabifard, A., Feeney, M. E. F. and Williamson, I., "*Spatial Data Infrastructures: Concepts, Nature and SDI Hierarchy*", In Developing Spatial Data Infrastructures: From Concept to Reality, Williamson, I., Rajabifard, A., Feeney, M. E. F. Eds., Taylor & Francis Group, New York, 2003, pp.17–40.

[5] Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, New York, 1999, pp.

[6] Jankowski, P., Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision Making Methods, Int. J. Geogr. Inf. Syst., 9, 3, 251–273, 1995.
[7] Malczewski, J., Integrating Multicriteria Analysis and Geographic Information Systems: The Ordered Weighted Averaging (OWA) Approach, Int. J. Environ. Sci. Technol., 6, 1–2, 7–19, 2006.
[8] Saaty, T. L. and Vargas, L. G., Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process, Volume 34/International series in operations research & management science, 2000, pp. 43–47.
[9] Topçu, İ., Analitik Hiyerarşi Süreci, http://www.isl.itu.edu.tr/ya/AHS.doc, [Erişim Tarihi: 12.09.2008].
[10] Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill Comp., New York, 1980, pp.54–55.
[11] Saaty, T. L., Mathematical Methods of Operations Research, Dover Publications, Mineola, 2004, pp.415–447.
[12] de Montis, A., de Toro, P., Droste-Franke, B., et al., "*Assessing the Quality of Different MCDA Methods*", In Alternatives for Environmental Valuation, Getzner, M., Spash, C. L., Stagl, S. Eds., New York, 2005, pp.99–184.
[13] Saaty, T. L., Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, Int. J. Services Sciences, 1, 1, 83–98, 2008.
[14] Malczewski, J., GIS-based Land-use Suitability Analysis: A Critical Overview, Prog. Plann., 62, 1, 3–65, 2004.
[15] Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A. K., et al., GIS and Decision Making, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Geneva, 1993, Vol. 4.
[16] Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A. K., 1995, Raster Procedures for Multicriteria/Multi-objective Decisions, Photogramm. Eng. Remote Sensing, 61, 5, 539–547, 1995.
[17] Saaty, T. L. and Vargas, L. G., "*Dispersion of Group Judgments-The Geometric Expected Value Operator*", In The Next Wave in Computing, Optimization and Decision Technologies, Golden, B. L., Raghavan, S., Wasil, E. A. Eds., Springer, Newyork, 2000, pp. 385–396.