



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE JEOTEKNİK YERLEŞİM ALANI UYGUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

DETERMINING SETTLEMENT SUITABILITY BY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

Erdal AKYOL^{1*}, Mutlu ALKAN², Hasibe AKGÜNDÜZ¹

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
eakyol@pau.edu.tr, hasibe@pau.edu.tr

²İl Özel İdaresi Genel Sekreterliği, Denizli, Türkiye.
mutlualkan@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 06.01.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 05.02.2014
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.40412
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bilginin ve tecrübenin çözüme dâhil edildiği çok kriterli karar verme tekniği (ÇKKVT) çok sayıda belirsizlik ve parametre içeren problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu problemler konumsal bilgiler içerdiğinde coğrafi bilgi sistemi (CBS) destekli çözümler karar sürecinin doğruluğunu ve hızını arttırmaktadır. ÇKKV tekniklerinden birisi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) jeoteknik problemlerin çözümünde de kullanılabilir. Bu çalışmada yaygın ve etkin olarak kullanılan jeoteknik parametreler olarak zemin türü, SPT darbe sayısı, kesme dalgası hızı ve yeraltı su seviyesi kriterleri dikkate alınarak ve CBS ile Denizli Belediyesi yerleşim alanı inceleme alanının jeoteknik açıdan yerleşime uygunluğu analiz edilmiştir. ÇKKVT sonuçları yazarların jeoteknik gözlem ve deneyim ile elde edilen sonuçlara uyumlu çıkmıştır. Kriterler doğru değerlendirildiğinde, yöntem jeoteknik amaçlı mikro bölgelendirme çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: CBS, Konumsal analiz, Çok kriterli karar verme teknikleri, AHP, Mikro bölgelendirme, Jeoteknik, Denizli

Abstract

Multi criteria decision analysis (MCDA) covers both data and experience. It is very common to solve the problems with many parameters and uncertainties. Geographic information systems (GIS) supported solutions improve and speed up the decision process. Analytical Hierarchy Process (AHP) as a MCDA method is employed for solving the geotechnical problems. In this study, geotechnical parameters namely soil type, SPT (N) blow number, shear wave velocity (Vs) and depth of underground water level (DUWL) have been engaged in MCDA and GIS. In terms of geotechnical aspects, the settlement suitability of the municipal area was analyzed by the method. MCDA results were compatible with the geotechnical observations and experience. The method can be employed in geotechnical oriented microzoning studies if the criteria are well evaluated.

Keywords: GIS, Spatial analysis, Multi criteria decision analysis, AHP, Micro-zoning, Geotechnics, Denizli

1 Giriş

Küreselleşme sürecinde hızla gelişen iş ve yönetim alanlarında belirsizliklerin artması, karar verme süreçlerini güçleştirmektedir. Bu süreçler sezgisel ve analitik olabilir [1]. Karar vermede karşılaşılan zorluklar hem sosyal hem de teknik alanları kapsamakla birlikte doğası gereği çok sayıda kriter ve belirsizlik içermektedir. Konusu, yöntemleri ve sonuçları açısından birbirinden çok farklı disiplinlerdeki problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKVT) oldukça etkin olarak kullanılabilir. Tekniğin kullanılabilmesi için en az iki kriter ve iki alternatifin bulunması gerekmektedir. Bunlara göreli önem değerleri verildiği için, yöntemde bilginin olduğu kadar tecrübenin de büyük önemi vardır. Kullanılan kriterler nitel ve nicel olabilmektedir [2]-[5].

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi nesnelerin ve bunlara ait öznelik bilgilerinin derlenmesi, değerlendirilmesi ve gösterilmesi açısından oldukça etkin ve yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Yukarıda bahsedilen problemler konumsal bilgiler içerdiğinde CBS kullanmak, probleme ilişkin konumsal bilgiler ile konumsal olmayan bilgileri efektif olarak ilişkilendirerek gerekli ölçekte-çözünürlükte inceleme imkânı sağlanmasından dolayı verilecek kararların doğruluğunu ve

hızını arttıracaktır. Bu nedenle konumsal çok kriterli karar verme tekniği (ÇKKVT) konumsal planlama ve yönetimde çok yaygın hale gelmiştir [6]-[10].

ÇKKVT, çeşitli jeoteknik problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bunlar arasında katı atık yer seçimi [11],[12], arazi kullanımı ve kentsel planlama [13],[14] ile mikro bölgelendirme ve heyelan [15]-[17] gibi sorunların çözümü bulunmaktadır.

ÇKKVT, bu çalışmada birbirini takip eden (eş zamanlı olmayan) üç aşama halinde uygulanmıştır. İlk aşamada ÇKKVT (karar verme kriterlerinin belirlenmesi, karşılaştırma ve normalizasyon matrislerinin üretilmesi, öncelik vektörünün elde edilmesi ve gerçekleştirilen ÇKKVT'nin sağlamlasının yapılması) uygulanmıştır. İkinci aşamada da ÇKKVT'den elde edilen sonuçların CBS verisine entegrasyonu ve konumsal analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise ikinci aşamada gerçekleştirilen konumsal analiz sonuçları birlikte yorumlanarak Denizli Belediyesi yerleşim alanı jeoteknik yerleşime uygunluk açısından risk/uygunluk bölgelerine ayrılmıştır. Bu haritalar kent planlaması ve imar çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Kullanılan jeoteknik parametreler ve yöntemler dikkate alındığında çalışma ön plana çıkmaktadır.

2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, coğrafi konum olarak daha önce uygulanmış olan sondaj çalışmalarının konum bilgilerini içeren optimum genişlikteki çokgen ile gösterilebilecek alanı kapsamaktadır. Ayrıca yerleşim alanı olarak da söz konusu sondaj noktalarının, Denizli Belediyesi imar planı ile çakıştığı-örtüştüğü yerleşim alanını kapsamaktadır. Denizli kent merkezi güney batı Anadolu'daki horst-graben sistemi içerisinde yer almaktadır (Şekil 1A). Şekil 1B'de görüldüğü gibi, bu yapı içerisinde Neojen ve Kuvaterner çökelleri oldukça geniş yayılıma sahiptir [18].

İmara esas jeolojik-jeoteknik etüt raporlarının hazırlanmasında çeşitli jeoteknik parametreler kullanılmaktadır. Bu çalışmada PAU/JEO (2000)'den yararlanılarak jeolojik-jeoteknik problemlere yönelik çalışmalarda sıklıkla dikkate alınan jeoteknik parametreler kullanılmıştır. İnceleme alanında farklı uzunluklarda toplam 155 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır (Şekil 2). Yapılaşmada temel derinliği iki metre olarak kabul edilmiş ve kullanılan jeoteknik parametreler bu derinlik esas alınarak belirlenmiştir. Çalışmada jeoteknik parametre olarak zemin cinsi, SPT (standart penetrasyon testi) N darbe sayısı, kesme dalgası hızı (Vs) ve yeraltı su seviyesi verileri çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme tekniğinin karar verme kriteri olarak ele alınmıştır.

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden birisi olan ağırlıklandırılmış puanlama kullanılmıştır. Karar sonucunu belirleyen kriterler zemin sınıfı, yer altı su seviyesi, SPT (standart penetrasyon testi) N darbe sayısı ve kesme dalga hızı olarak belirlendikten sonra kendi aralarında önem derecelerine göre karşılaştırılmıştır. Bunun için her bir kriterin diğer kriterlerin her biri ile ayrı ayrı kıyaslandığı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Karşılaştırma matrisi normalizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra her bir kriterin verilecek karardaki

ağırlığını gösteren özdeğer vektörü elde edilmiştir. Hesaplanan değerlerin konumsal özelliklerinin gösterimi ve analizinde CBS kullanılmıştır. CBS uygulaması MapInfo® ile yapılmıştır.

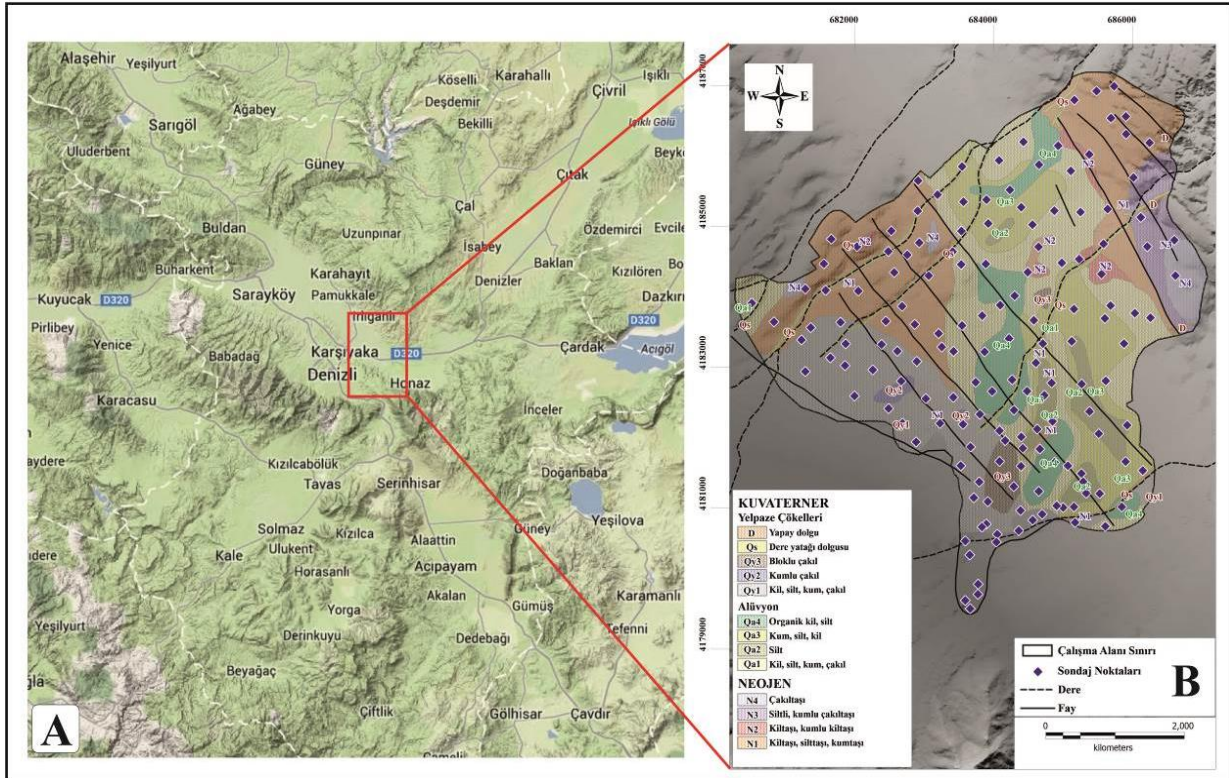
3 Yerleşim Uygunluk Analizi

3.1 Jeoteknik Parametreler

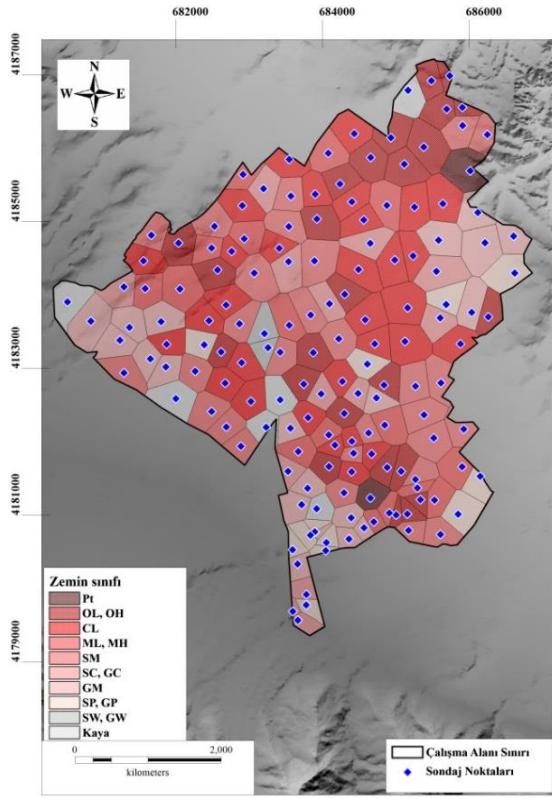
Bu çalışmada jeoteknik açıdan yerleşime uygunluğu etkileyecek laboratuvar ve arazide ölçülmüş etkili dört parametre karar verme kriteri olarak kullanılmıştır. Bu parametreler şunlardır:

- Zemin cinsi (Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre),
- SPT (N) darbe sayısı,
- Kesme dalgası hızı (Vs-m/sn),
- Yeraltı su seviyesi (YASS-metre).

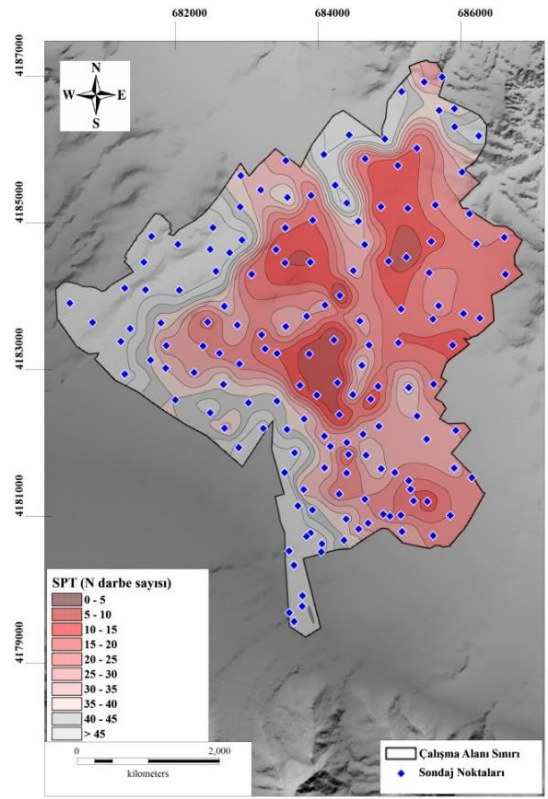
Belirlenen parametreler, verilerin standartlaştırılması amacıyla on ayrı gruba ayrılmış ve buna uygun puanlar verilmiştir. Zemin türü, SPT darbe sayısı, kesme dalgası hızı ve yeraltı su seviyesi için belirlenen aralıklar ve puanları sırasıyla Tablo 1, 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Zemin türleri, Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (BZS) göre gruplandırılmıştır. Puanlama zeminin mekanik özelliklerini yansıtmakta ve yüksek değerler daha iyi değerleri göstermektedir. SPT değerleri 5 eşit aralıkla artmaktadır. Ülkemizde N=50 değeri referans değeri olarak kabul edildiğinden en yüksek puanlama bu değerler için atanmıştır. Vs hızları 200 m/sn aralıklarla değişmekte olup inceleme alanında 0-200 m/sn aralığında değer ölçülmemiştir. Yeraltı su seviyesi (YASS) bir metre aralıklarla değerlendirilmiştir. Özellikle pratik uygulamalarda yapıyı etkileme ve sınıflama riski açısından 10 metre yeraltı su seviyesi eşik değeri olarak kabul edilmiştir. Tablo 2, 3, 4'te verilen değer aralıklarında incelenen değerlerin minimum değerinden büyük ya da eşit olması ve maksimum değerinden küçük olması durumunu ifade etmektedir.



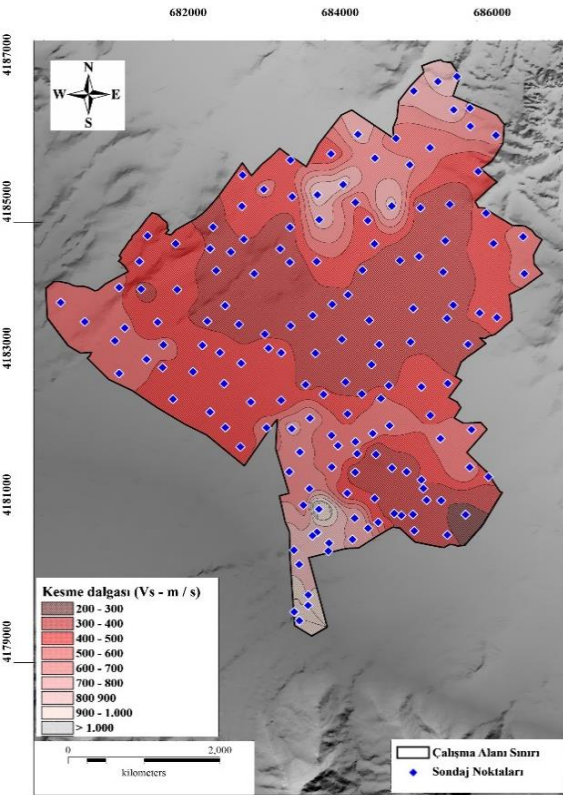
Şekil 1: İnceleme alanının konumu (A: Google Maps) ve jeolojisi (B: PAU-JEO, 2002'den sayısal yükseklik modeline adapte edilerek).



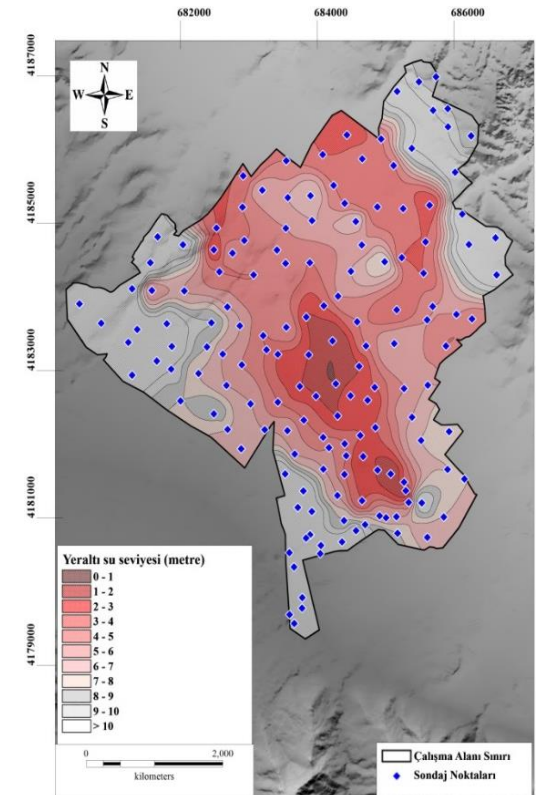
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2: Jeoteknik parametrelerin dağılımı; (a): Zemin sınıfı, (b): SPT, (c): Vs, (d): Yeraltı su seviyesi.

Tablo 1: Zemin türleri ve puanları.

BZS	Puan
Pt (turba)	1
OL-OH	2
CL	3
ML-MH	4
SM	5
SC-GC	6
GM	7
SP-GP	8
SW-GW	9
Kaya	10

Tablo 2: SPT ve puanları.

SPT	Puan
1-5	1
5-10	2
10-15	3
15-20	4
20-25	5
25-30	6
30-35	7
35-40	8
40-45	9
>45	10

Tablo 3: Kesme dalgası hızı ve puanları.

Vs	Puan
0-200	1
200-300	2
300-400	3
400-500	4
500-600	5
600-700	6
700-800	7
800-900	8
900-1000	9
>1000	10

Tablo 4: Yeraltı su seviyesi ve puanları.

YASS	Puan
0-1	1
1-2	2
2-3	3
3-4	4
4-5	5
5-6	6
6-7	7
7-8	8
8-9	9
>9	10

Örneğin incelenen noktanın YASS değerinin 3'e eşit olması durumunda nokta, 1-5 aralığında değerlendirilecektir. Fakat incelenen noktanın YASS değeri 5'e eşit olması durumunda nokta, 5-10 aralığında değerlendirilecektir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde grafik olmayan (non-graphic) bilgilerin tutulduğu veritabanı tablo unsuru bulunmaktadır. Bu çalışmada çalışma alanına ait referans bilgileri barındıran sondaj noktaları katmanının veritabanı tablosunda Tablo 1, 2, 3 ve 4'ün ilk sütunlarındaki bilgiler daha önce girilmişti. Tablo 1, 2, 3 ve 4'ün ikinci sütunlarındaki değerler sondaj

noktalarının ilgili bilgilerine göre katmanın veritabanı tablosuna girilmiştir.

Daha sonra sondaj noktaları katmanının veritabanı tablosundaki verilere (SPT, Vs ve YASS) göre interpolasyon uygulanmıştır. Doğal komşuluk interpolasyon yöntemi ile elde edilen dağılımları Şekil 2'de (b: SPT (standart penetrasyon testi) N darbe sayısı, c: kesme dalgası hızı ve d: yeraltı su seviyesi) görülmektedir.

Sondaj noktalarının eş uzaklık diyagramı (Voronoi) oluşturulmuştur. Eş uzaklık diyagramından, sondaj noktaları katmanının veritabanı tablosundaki zemin türü bilgisine göre tematik katman üretilmiştir. Elde edilen tematik harita Şekil 2'de (a: zemin türü) görülmektedir. Zemin türü bilgisi dışındaki diğer bilgiler (SPT, Vs ve YASS) için interpolasyon uygulanmasının nedeni bu bilgilerin doğrudan sayısal veri olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat zemin türü bilgisi doğrudan sayısal bilgi içermediğinden dolayı zemin türü dağılımı eş uzaklık diyagramı ile gösterilmiştir.

Verilerin alan içerisindeki dağılımı için üçgenleme, uzaklıkla ters orantı ağırlıklı, doğal komşuluk ve kriging interpolasyon yöntemleri denenmiştir. Elde edilen interpolasyon sonuçlarında sondaj noktalarına tekabül eden noktalardan okunan bilgiler ile tekabül ettikleri sondaj noktalarının ilgili verilerinin matematiksel yakınlığına göre doğal komşuluk interpolasyon yönteminde karar kılınmıştır. Bu çalışmanın konumsal bilgileri Universal Transverse Mercator projeksiyon sisteminin 35. bölgesinde (dilim orta meridyeni 27) ve ED50 datumunda kullanılmıştır.

3.2 Parametrelerin Kullanımı

Kriterlerin önem karşılaştırmaları, jeoteknik problemlerde şimdiye kadar elde edilen deneyim çerçevesinde ve [19] tarafından önerilen kriter karşılaştırma ölçeğine (Tablo 5) göre yapılmıştır.

Tablo 5: [19] tarafından önerilen kriter karşılaştırma ölçeği.

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	1. kriterin 2. kriterden daha önemli olması durumu
5	1. kriterin 2. kriterden çok önemli olması durumu
7	1. kriterin 2. kriterden nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. kriterin 2. kriterden nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Böylece her bir kriterin, diğer kriterlerin her biri ile önem karşılaştırması yapılarak karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6). Kriterlerin önceliklerini belirtecek vektörün oluşturulabilmesi için önce karşılaştırma matrisinin sütun toplam değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6).

Karşılaştırma matrisinin her bir hücrendeki değer, hücrenin ait olduğu sütundaki değerler toplamına bölünmesi sureti ile normalizasyon matrisi oluşturulmuştur (Tablo 7).

Normalizasyon matrisinin her bir satırındaki değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak kriterlerin probleme ilişkin kararı etkilemedeki öncelikleri sayısal değer olarak

belirlenmiştir (Tablo 7). Buna göre söz konusu problemin çözümüne ilişkin kararın %60 oran ile en çok SPT N darbe sayısı etkilemektedir. Daha sonra sırası ile kesme dalga hızı, yeraltı su seviyesi ve zemin cinsi etkilemektedir.

Tablo 6: Kriterlerin kendi aralarındaki ikili karşılaştırma matrisi.

Zemin Cinsi	YASS	SPT	Vs	
Zemin Cinsi	1	0.33	0.11	0.20
Y.A.S.S	3	1	0.14	0.33
SPT	9	7	1	3
VS	5	3	0.33	1
Sütun Top.	18.00	11.33	1.59	4.53

Tablo 7: Normalizasyon matrisi ve öncelik vektörü değerlerinin hesaplanması.

Zemin Cinsi	Y.A.S.S.	SPT	Vs	Öncelik Vektör Değeri	
Zemin Cinsi	0.06	0.03	0.07	0.04	0.05
Y.A.S.S.	0.17	0.09	0.09	0.07	0.10
SPT	0.50	0.62	0.63	0.66	0.60
VS	0.28	0.26	0.21	0.22	0.24
Sütun Top.	1	1	1	1	1

Karar verme sürecinde dikkate alınan kriterlere ilişkin elde edilen öncelik vektörü sonucunun kabul edilebilirliği "Tutarlılık Oranı" (TO) hesaplanarak kontrol edilmiştir. Hesaplanan bu değer için belirlenen üst limit 0.10'dur. TO 0.10'un üzerinde olması durumunda verilen kararın tutarsızlığı söz konusudur ve sonucun tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. TO'nun hesaplanması için öncelikle karşılaştırma matrisi öncelik vektörü ile çarpılarak yeni bir vektör elde edilmiştir (Şekil 3).

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/9 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/7 & 1/3 \\ 9 & 7 & 1 & 3 \\ 5 & 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.10 \\ 0.60 \\ 0.24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1*0.05 + \frac{1}{3}*0.10 + \frac{1}{9}*0.60 + \frac{1}{5}*0.24 \\ 3*0.05 + 1*0.10 + \frac{1}{7}*0.60 + \frac{1}{3}*0.24 \\ 9*0.05 + 7*0.10 + 1*0.60 + 3*0.24 \\ 5*0.05 + 3*0.10 + \frac{1}{3}*0.60 + 1*0.24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.20 \\ 0.42 \\ 2.51 \\ 1.01 \end{bmatrix}$$

Şekil 3: Karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörünün çarpımı.

Sonrasında elde edilen yeni vektör öncelik vektörüne bölünerek karar kriterlerinin temel değer vektörü olarak da isimlendirebileceğimiz özvektör elde edilmiştir (Şekil 4).

$$\begin{bmatrix} 0.20 \\ 0.42 \\ 2.51 \\ 1.01 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.10 \\ 0.60 \\ 0.24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.02 \\ 4.03 \\ 4.17 \\ 4.14 \end{bmatrix}$$

Şekil 4: Özvektörün elde edilmesi.

(1) eşitliği ile özvektör değerlerinin aritmetik ortalaması (Λ_{ort}) hesaplanmıştır.

$$\Lambda_{ort} = (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 + \Lambda_4)/n \quad (1)$$

(2) eşitliği ile Tutarlılık İndeksi hesaplanmıştır.

$$T\bar{I} = (\Lambda_{ort} - n) / (n - 1) = (4.09 - 4) / (4 - 1) = 0.0298 \quad (2)$$

Burada,

$T\bar{I}$: Tutarlılık indeksi

Λ_{ort} : Ortalama özdeğer

n : Karşılaştırılan kriter sayısı

Karar verme sürecinin tutarlılığını ifade edecek olan TO (3) formülü ile hesaplanmıştır.

$$TO = T\bar{I}/R\bar{I} = 0.0298/0.9 = 0.033 \quad (3)$$

(3) eşitliğinde yer alan Rassallık İndeksi ($R\bar{I}$). karar verme sürecinde kullandığımız kriter sayısının (n) Tablo 8'deki karşılığı olan 0.9 değerine eşittir. Rassallık İndeksi değeri, karar verme sürecinde dikkate alınan kriter sayısına göre Tablo 8'den elde edilmektedir.

Tablo 8: Rassal indeks değerleri [20].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R\bar{I}$	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

TO, tutarlılık indeksinin rassal indekse oranıdır (Eşitlik (4)) ve 0.033 olarak hesaplanmıştır. TO'nun, kabul edilebilir değerler arasında (0-0.10) kaldığı görülmektedir.

Sondaj noktaları katmanının veritabanı tablosundaki puan sütunlarındaki değerler ayrı ayrı ilgili oldukları kriterin özvektör değeri ile çarpma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir sondaj noktası için elde edilen bu değerler toplanarak o noktanın nihai puanı hesaplanmıştır. Bu nihai puanlar kullanılarak yerleşime uygunluk haritası üretilmiştir.

3.3 Yerleşime Uygunluk

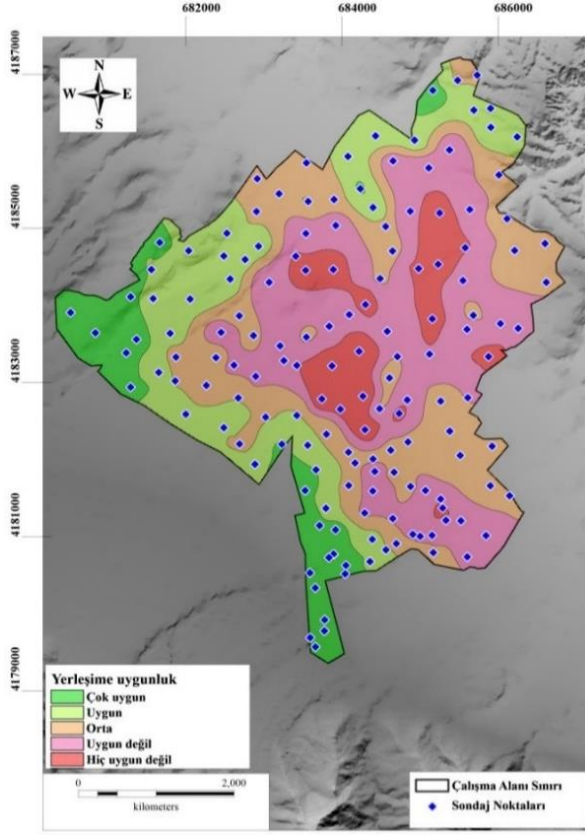
Sondaj noktalarının nihai puan değerleri, yerleşime uygunluk açısından "en uygun" ile "hiç uygun değil" aralığında değişen beş gruba ayrılmıştır. Bu değerlerin inceleme alanındaki dağılımları Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu harita incelendiğinde, yerleşime "çok uygun" ve "uygun" alanların inceleme sahasının güney-güney batısı ile kuzeyinde yer aldığı görülmektedir. Jeoteknik açıdan değerlendirildiğinde bu alanların yüksek taşıma gücüne sahip, sıkı Neojen birimler ile kayaçlaşmış yamaç molozu/konglomera tipi birimlerden oluştuğu ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu görülmektedir.

Bu birimlerin jeomekanik açıdan yerleşime ve yapılaşmaya uygun olduğu dikkate alınacak olursa, elde edilen sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Bunun aksine topoğrafya da uygun olarak kotların düşük olduğu yerleşim alanlarının orta kesimlerinde yüksek yeraltı su seviyesi ve ince taneli gevşek malzemelerin yoğun olarak bulunduğu gözlenmektedir. Buna paralel olarak bu alanlar yerleşime "uygun değil" veya "hiç uygun değil" olarak tanımlanmış olan nihai puan değerlerine sahiptir. Dolayısıyla KÇKKVT ile elde edilen yerleşim yeri uygunluğu sonuçları ve yazarların jeoteknik gözlem ve deneyim ile varılan sonuçların birbirine paralel ve uyumlu oldukları görülmektedir.

4 Sonuçlar

KÇKKVT problemleri konumsal bilgiler içerdiğinde CBS kullanılarak sonuçları açısından yüksek kazanımlı ve hızlı kararların alınmasını sağlamaktadır. KÇKKVT ile inceleme alanının jeoteknik açıdan yerleşime uygunluğu analiz edilmiş

ve saha "en uygun" ile hiç uygun değil" aralığında değişen beş bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 5: Yerleşime uygunluk haritası.

Bölgelerin dağılımı göz önüne alındığında, yerleşime "çok uygun" ve "uygun" alanların güney-güney batı ile kuzeyde olduğu görülmektedir. Bu alanlar aynı zamanda jeoteknik açıdan yüksek taşıma gücüne sahip, sıkı birimlerden oluşmakta ve düşük yeraltı su seviyesine sahiptir. Bunun aksine düşük kotlara sahip yerleşim alanlarının orta kesimlerinde yüksek yeraltı su seviyesi ve ince taneli gevşek malzemelerin yoğun olduğu gözlenmektedir. Buna paralel olarak da bu alanlar KÇKKVT tarafından yerleşime "uygun değil" veya "hiç uygun değil" olarak tanımlanmıştır. KÇKKVT ile elde edilen sonuçlar ile jeoteknik gözlem ve deneyim ile varılan sonuçların birbirine uyumlu oldukları görülmüştür. Kriterler doğru değerlendirildiğinde, yöntem jeoteknik amaçlı mikro bölgelendirme çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılabilir.

5 Teşekkür

Yazarlar çoklu karar verme tekniği ile ilgili katkılarından dolayı Prof. Dr. Aşkın Güngör ile editör ve hakemlere teşekkür ederler.

6 Kaynaklar

- [1] Saaty TL. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*. 1st ed. Pittsburgh, USA, RWS Publications, 2000.
- [2] Triantaphyllou E, Sanchez A. "A Sensitivity Analysis Approach for some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods". *Decision Sciences*, 28(1), 151-194, 1997.
- [3] Malczewski J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Toronto, USA, John Wiley & Sons, 1999.

- [4] Kahraman C. *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*. Springer, New York, USA, 2008.
- [5] Ho W, Xu X, Dey PK. "Multi-Criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review". *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24, 2010.
- [6] Joerin F, Theriault M, Musy A. "Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Land-Use Suitability Assessment". *International Journal of Geographical Information Science*, 15(2), 153-174, 2001.
- [7] Mendoza GA, Martins H. "Multi-Criteria Decision Analysis in Natural Resource Management: A Critical Review of Methods and New Modelling Paradigms". *Forest Ecology and Management*, 230(1-3), 1-22, 2006.
- [8] Makropoulos CK, Butler D. "Spatial Ordered Weighted Averaging: Incorporating Spatially Variable Attitude towards Risk in Spatial Multi-Criteria Decision-Making". *Environmental Modelling & Software*, 21(1), 69-84, 2006.
- [9] Karnatak HC, Saran S, Bhatia K, Roy PS. "Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment". *Geoinformatica*, 11, 407-429, 2007.
- [10] Greene R, Devillers R, Luther JE, Eddy BG. "GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis". *Geography Compass* 5(6), 412-432, 2011.
- [11] Moeinaddini M, Khorasani N, Danehkar A, Darvishsefat AA, Zienalyan M. "Siting MSW Landfill Using Weighted Linear Combination and Analytical Hierarchy Process (AHP) Methodology in GIS Environment (case study: Karaj)". *Waste Management*, 30(5), 912-920, 2010.
- [12] Sener S, Sener E, Karagüzel R. "Solid Waste Disposal Site Selection with GIS and AHP Methodology: A Case Study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey". *Environ Monit Assess*, 173, 533-554, 2011.
- [13] Store R, Kangas K. "Integrating Spatial Multi-Criteria Evaluation and Expert Knowledge for GIS-Based Habitat Suitability Modelling". *Landscape and Urban Planning*, 55(2), 79-93, 2001.
- [14] Dai FC, Lee CF, Zhang XH. "GIS-Based Geo-Environmental Evaluation for Urban Land-Use Planning: A Case Study". *Engineering Geology*, 61(4), 257-271, 2001.
- [15] Kolat Ç, Doyuran V, Ayday C, Süzen ML. "Preparation of a Geotechnical Microzonation Model Using Geographical Information Systems Based on Multicriteria Decision Analysis". *Engineering Geology*, 87(3-4), 241-255, 2006.
- [16] Akgün A, Bulut F. "GIS-Based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region". *Environ Geol*, 51, 1377-1387, 2007.
- [17] Yalcin A. "GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations". *Catena*, 72(1), 1-12, 2008.
- [18] PAU-JEO. "Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri Raporu". Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2002.
- [19] Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process*. 1st ed. New York, USA, McGraw-Hill, 1980.
- [20] Saaty T. "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281, 1977.