

## DRASTIC ve Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemlerinin Entegrasyonu ile Akifer Duyarlılık Haritalarının Hazırlanması: Senirkent – Uluborlu Havzası (Isparta) Örneği

Şehnaz ŞENER\*, Erhan ŞENER, Ayşen DAVRAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

Alınış Tarihi:13.01.2009, Kabul Tarihi:23.03.2009

**Özet:** Senirkent – Uluborlu Havzası Eğirdir Gölü su toplama havzası sınırları içerisinde bulunmaktadır. Eğirdir Gölü 4 milyar m<sup>3</sup>'lük su potansiyeli ile ülkemizin ikinci büyük tatlı su gölüdür. Göl suları sulama, turizm ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi amaçlarla kullanımının yanı sıra özellikle Isparta ilinin içme suyu ihtiyacının yaklaşık % 90'lık bir kısmını karşılaması nedeniyle büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, Eğirdir Gölü Havzası içerisinde yapılacak olan her türlü faaliyette gölün korunmasına yönelik araştırmaların yapılması zorunludur. Bu çalışma kapsamında, havza içerisinde bulunan kirleticilerin yeraltısularını etkileme dereceleri dolayısıyla akifer birimlerin kirleticilere karşı duyarlılıkları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı olarak DRASTIC yöntem kullanılarak belirlenmiştir. DRASTIC yöntemde kullanılan parametre haritaları Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Bu haritaların CBS ortamında örtüştürülmesi ile havzanın bölgesel ölçekli akifer duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışmaların sonucunda elde edilen hassasiyet haritasına göre havza içerisinde yüksek, orta ve düşük hassasiyete sahip ortamlar belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanının % 17,71'i yüksek, % 50,81'i orta ve % 31,48'i düşük hassasiyete sahiptir. Bu yöntemle tespit edilen bu alanlar arazi kullanımı verileri ile uyum sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** DRASTIC, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Akifer Duyarlılık, Senirkent – Uluborlu Havzası

## Preparation of Aquifer Vulnerability Maps by Integration of DRASTIC and Analytical Hierarchy Process Methods: A Case Study of Senirkent – Uluborlu Basin (Isparta)

**Abstract:** Senirkent – Uluborlu Basin is located within the Egirdir Lake catchment. The Egirdir Lake is the second largest fresh water lake with its 4 billion m<sup>3</sup> water potential in Turkey. The Egirdir Lake has great importance with different usages such as, irrigation, tourism, fishing and moreover 90 % of Isparta city drinking water is obtained from Egirdir Lake. Therefore, the investigations related to protection of lake should be done for every kind of activity in the Egirdir Lake basin. In this study, effect of contaminant to groundwater in basin that is aquifer vulnerability for contaminants was determined by using DRASTIC model based on GIS. Parameter maps used in DRASTIC model were weighed by Analytical Hierarchy Process (AHP). Regional scale aquifer vulnerability map of the basin was formed with overlay analysis of these maps using GIS. According to vulnerability map obtained at the end of studies, high (17,71%), moderate (50,81%) and low (31,48%) vulnerable aquifer mediums were determined in the basin. Defined areas with this method are compatible with land use data.

**Keywords:** DRASTIC, Analytical Hierarchy Process (AHP), Aquifer vulnerability, Senirkent – Uluborlu Basin

### Giriş

Su hayatın varlığı ve devamlılığı için vazgeçilmez bir kaynaktır. Ancak toplumun ekonomik gelişme modelini etkileyen su, doğal ve sınırlı bir kaynaktır. Kullanılabilir suyun dünya su varlığı içinde %1 düzeyinde olduğu bilinmektedir. Ülkemizde de hızla artan nüfusa paralel olarak su ihtiyacı giderek artmaktadır. Ülkemizde kişi başına su tüketimi halen 1400 m<sup>3</sup>/yıl ile dünya ortalamasının (7600 m<sup>3</sup>/yıl) çok gerisinde olmakla birlikte yapılan çalışmalarda 2030 yılında ülkemizde su kıtlığı olacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla mevcut su kaynaklarımızın su kalitelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunarak en iyi şekilde yönetilmeleri gerekmektedir. Yeraltısularını tehdit eden çok sayıda noktasal ve yayılı kirleticiler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları ağır metaller, organik kimyasallar, pestisit ve gübrelerdir. Birçok atık deşarjları ve bunlara bağlı olarak oluşan kimyasal reaksiyonlar doymamış bölge içerisinde süzülerek yeraltısuyu kalitesini etkilemekte ve ciddi boyutta kirliliğe sebep olmaktadır (Baalousha, 2006).

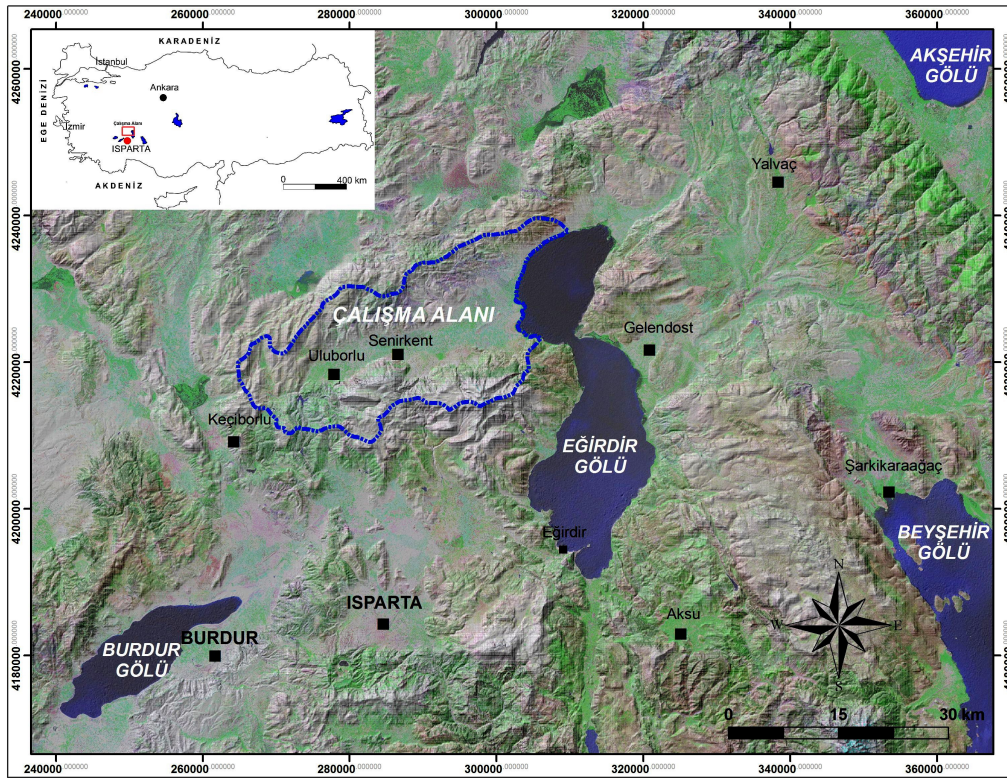
Yeraltısuyu kirlenebilirliği (vulnerability) kavramı ilk olarak Margat (1968) tarafından ortaya atılmıştır ve genel olarak fiziksel çevrenin özellikle yeraltısularını tehdit eden kirleticilere karşı yeraltısuyu korunmasına yönelik farklı derecelere ayrılabilmesi olarak ifade edilebilir. Bunun sonucunda bazı bölgeler yeraltısuyu kirliliğine karşı diğer alanlara göre daha hassas olarak belirlenir. Seçilen bir bölgede hazırlanan yeraltısuyu kirlenebilirlik haritası hidrojeolojik ve antropojenik faktörlerin temeline dayanarak en büyük yeraltısuyu kirlilik potansiyeline sahip alanları göstermektedir (Al- Zabet, 2002). Yeraltısuyu kirlenebilirlik haritalarının oluşturulmasında 1970 yılından bu yana, farklı araştırmacılar tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir (Secunda vd., 1998; Mendoza ve Barmen, 2006; Wang vd., 2007; Kim ve Hamm 1999; Lee, 2003). Bunlardan özellikle gözenekli akiferlerde en yaygın olarak kullanılan yöntem Aller vd., (1987) tarafından geliştirilmiş olan DRASTIC yöntemidir. Bu çalışmanın amacı, Eğirdir Gölü'nün korunması

kapsamında pilot bölge olarak seçilen Senirkent-Uluborlu havzası içerisindeki akifer birimlerin kirleticilere karşı duyarlılıklarını CBS tabanlı olarak DRASTIC ve AHS yöntemlerini kullanarak belirlemektir.

## Materyal ve Metod

Çalışma alanı olarak seçilen Senirkent – Uluborlu Havzası, Eğirdir Gölü su toplama sınırları içerisinde yer almakta olup yaklaşık 685 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir (Şekil 1). Yarı kapalı havza özelliğine sahip çalışma alanı, doğusunda Eğirdir Gölü ile sınırlanmaktadır. Havzada yeraltı ve yüzey suyu akım yönü Eğirdir Gölü'ne

doğrudur, dolayısıyla gölün besleniminde bölgedeki yüzey ve yeraltı suyu önemli rol oynamaktadır [Tay (Şener), 2005; Seyman, 2005]. Senirkent –Uluborlu havzasında en yaygın geçim kaynağının tarım olması sebebiyle tarımsal mücadele ilaçları ve gübrelemeler sonucunda nitrat ve pestisitlerin yeraltı suyuyla karışması kaçınılmazdır. Ayrıca, havza içerisinde evsel atıkların geçirimli birimler üzerine düzensiz depolanması, sıvı atıkların kontrolsüz deşarjları ve madencilik faaliyetleri yeraltı suyu kalitesini tehdit etmektedir. Bu nedenle çalışma alanında gölün korunmasına yönelik akifer duyarlılıklarının saptanması gerekmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bu çalışmada, bölgedeki ana kirletici kaynağının tarımsal kirlilik olması ve kirliliğin özellikle alüvyonda yayılım göstermesi sebebiyle kirlenmelere karşı akifer duyarlılığın belirlenmesinde DRASTIC Yöntem kullanılmıştır. Ayrıca, DRASTIC Yöntem içerisinde hazırlanan her bir parametrenin reyting katsayılarının belirlenmesinde *Çok Kriterli Karar Verme Analizlerinden* biri olan *Analitik Hiyerarşi Süreci* yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2).

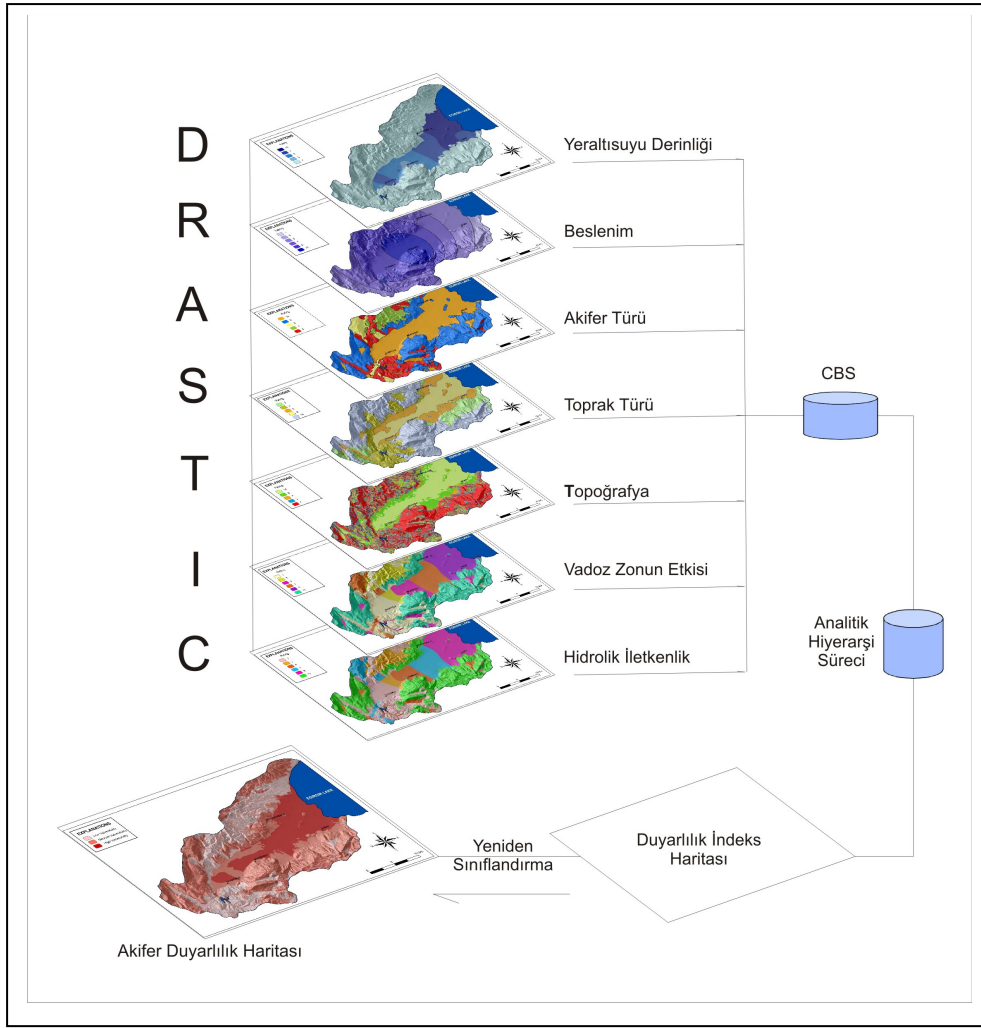
### Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS Yöntemi Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar analizlerinden biridir. Çok karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir metottur. Kullanılan her bir kriterin tanımlanması ve ikili karşılaştırmalar ile ağırlık katsayılarının belirlenmesi

temeline dayanır. AHS Yöntemi kullanıldığı karar analizlerinde daha hızlı ve güvenilir bir şekilde sonuca ulaşmaya olanak sağlayan bir yöntemdir.

AHS yönteminde iki veri birbiri ile sözel olarak kıyaslanarak sonuçlar sayısal olarak ifade edilir (Çizelge 1). Bu kıyaslamalar ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturularak yapılır ve her bir kriterin birbirlerine kıyasla göreceli önem dereceleri belirlenir.

Yöntemin uygulamasında ikinci adım her bir özelliğin önem derecesini gösteren, öncelik vektörlerinin bulunmasıdır. AHS metodolojisine uygun olmak şartıyla uygulamada kolaylık olması açısından geliştirilmiş pek çok durumda çok iyi sonuçlar veren bir algoritma geliştirilmiştir:



Şekil 2. Çalışmada kullanılan yöntemlerin akış diyagramı

Çizelge 1. AHS tekniğinde tercihler için kullanılan ikili karşılaştırmalar ölçeği (Saaty, 1980)

Sözel Tercih Hükümü	Açıklama	Sayısal Değer
Eşit Tercih Edilme	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur	1
Kısmen Tercih Edilme	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre kısmen tercih ettiriyor	3
Oldukça Tercih Edilme	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre oldukça tercih ettiriyor	5
Kuvvetle Tercih Edilme	Bir faaliyet değerine göre kuvvetle tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görünüyor	7
Kesinlikle Tercih Edilme	Bir faaliyetin değerine göre tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip	9
Orta Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasında düşen değerler	2, 4, 6, 8

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları, o sütunun toplamına bölünür. Böylece  $A_w$  olarak adlandırılan ve her sütundaki değerler toplamı 1'e eşit

olan bir 'Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi' elde edilir.

$$a_{w11} = \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^m a_{i1}}$$

Elde edilen  $A_w$  matrisinde, her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınır. Bu aritmetik ortalama (1 x m) boyutlu matrisin ilgili satırını oluşturacaktır. Bunun sonucu olarak, m boyutlu  $\omega$  öncelik vektörü elde edilir:

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$$

AHS yönteminin üçüncü aşamasında yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesi hesaplanmalıdır. Saaty (1980)'e göre "Tutarlılık Oranı" değerinin 0,1 den küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmada tutarlılık oranı  $TO = 0,04$  olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık Oranı aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

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

Burada; Tİ: Tutarlılık İndeksi, Rİ: Rastgelelik İndeksi ifade eder. Tutarlılık İndeksi aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$T\dot{I} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Burada  $\lambda_{max}$ , karar matrisinin en büyük özvektörü olup matristen hesaplanabilmektedir. 'n' değeri ise matrisin derecesini ifade etmektedir. Formüle yer alan Rastgelelik İndeks değeri ise aşağıda verilen çizelgeden okunmaktadır. Bu çalışmada DRASTIC yöntem içerisinde 7 adet parametre incelendiğinden matrisin Rİ değeri 1,32'dir.

**Çizelge 2. AHS Tekniğindeki Tutarlılık Oranının Hesaplanmasında Kullanılan ve Matris Boyutlarına Göre Değişen Rastgelelik İndeks Değerleri (Saaty, 1980).**

Matris Boyutu (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rastgele İndeks (Rİ)	0	0	0,6	0,9	1,12	1,2	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tutarlılık kontrolleri yapıldıktan sonra karar seçeneklerinin öncelik sıralamasını geliştirmek için ölçüt öncelikleri ve karar seçeneklerinin her bir ölçüte göre göreceli önceliklerinin birleştirilmesi ile öncelik matrisi oluşturulur. Her bir karar seçeneği için öncelik, bu ölçütlere göre karar seçeneğinin önceliğinin ölçütün önceliğiyle çarpılması ve çarpım sonuçlarının toplanması ile elde edilir.

Bu çalışmada kullanılan DRASTIC Yöntem içerisindeki 7 ayrı parametre için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi

hazırlanarak her bir parametrenin reyting katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 3). Daha sonra, her bir parametre kendi içerisinde tekrar değerlendirilerek ikinci bir reyting değerleri bulunmuştur (Çizelge 4,5,6,7,8,9,10). DRASTIC Yöntem içerisinde ve haritaların hazırlanmasında kullanılan reyting katsayıları her bir parametrenin kendisine ait reyting değeri ile yine kendi içerisinde yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen reyting değerlerinin çarpımı sonucunda elde edilmiştir (Çizelge 11).

**Çizelge 3. Kullanılan parametrelere ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları**

	A	B	C	D	E	F	G	R.K
A	1	0,500	0,333	0,333	0,200	0,167	0,143	0,033
B	2	1	0,500	0,333	0,333	0,200	0,167	0,049
C	3	2	1	0,500	0,333	0,333	0,200	0,741
D	3	3	2	1	0,500	0,333	0,333	0,108
E	5	3	3	2	1	0,500	0,333	0,157
F	6	5	3	3	2	1	0,500	0,235
G	7	6	5	3	3	2	1	0,344

A-Topografya, B-Toprak Türü, C- Hidrolik İletkenlik, D-Akifer Türü, E-Beslenme, F-Vadoz Zonun Etkisi, G-Yeraltısuyu Derinliği, R.K-Reyting Katsayısı

**Çizelge 4.** Yeraltı suyu derinliği parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A- 40<, B- 30-40 m, C- 20-30 m, D- 10-20 m, E- 0-10 m,  
R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 8.** Eğim parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A-18< , B- 12-18, C- 6-12, D- 2-6 , E- 0-2  
R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 5.** Beslenme parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A-495-530 mm, B- 530-565 mm, C- 565-600 mm, D-600-695 mm,  
E- 695< R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 9.** Vaduz zonun etkisi parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A-Kil , B- Tüf, C- 6-12 Kumlu Kil, C- Çakıl, D- Çakıl-Kum  
E- Çıplak Kayalık R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 6.** Akiferin materyali parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A-Fıllış, B-Volkanikler, C-Konglomera, D-Kireçtaşı, E-Alüvyon  
R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 10.** Hidrolik iletkenlik (m/s) parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A- $10^{-3}$  -  $10^{-4}$ , B-  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ , C-  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$ , D-  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$ ,  
E-  $10^{-7}$  < R.K. Reyting Katsayısı

**Çizelge 7.** Toprak örtüsünün tipi parametresine ait ikili karşılaştırmalar matrisi ve Reyting Katsayıları

	A	B	C	D	E	R.K.
A	1	0,500	0,333	0,250	0,200	0,062
B	2	1	0,500	0,333	0,250	0,099
C	3	2	1	0,500	0,333	0,161
D	4	3	2	1	0,500	0,262
E	5	4	3	2	1	0,413

A- Kil, B-Kumlu Kil, C- Çakıl, D- Çakıl-Kum E- Çıplak Kayalık  
R.K. Reyting Katsayısı

## DRASTIC Yöntem

DRASTIC yöntem 7 adet hidrojeolojik parametreyi simgeler. Bunlar: 1. Yeraltı suyu derinliği (Depth to groundwater) 2. Beslenme (Recharge) 3. Akifer ortam (Aquifer media) 4. Toprak örtüsü (Soil media) 5. Topoğrafya (Topography) 6. Vaduz Zonun Etkisi (Influence of the vadose zone) 7. Akiferin hidrolik iletkenliği (Conductivity). Bu parametreler yeraltı suyu kirlenme potansiyelini kontrol eden en önemli haritalanabilen faktörlerdir. Bu parametrelerin her biri kendi arasında çeşitli hidrojeolojik ortamlara ayrılır ve bu ortamlarda kirliliğin geçişi ve yayılımı için AHS yöntemi ile belirlenen reyting değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, bölgedeki kirlenmeye göre 1 – 5 arasında ağırlık değerleri atanmıştır (Çizelge 11). Bu değerler aşağıdaki formüle yerleştirilerek “DRASTIC İndeksi (DI)” hesaplanır (Navulur ve Engel, 1997). DRASTIC indeksin yüksekliği kirlenme riskinin fazla olduğunu göstermektedir.

Çizelge 11. Çalışmada kullanılan parametre sınıflarına ait toplam reyting değerleri ile bu sınıfların alanları

Drastic Parametreleri	Sınıf	Reyting Katsayısı	Ağırlık Katsayıları	Alan	
				(%)	km <sup>2</sup>
Yeraltısuyu Derinliği (m)	0-10	0,14307	DRASTIC: 5 Pestisit: 5	8,860	60,62898
	10-20	0,08999		8,570	58,64451
	20-30	0,05536		7,320	50,09076
	30-40	0,03388		0,770	5,26911
	>40	0,02144		74,480	509,6666
Beslenme (mm)	495-530	0,00981	DRASTIC: 4 Pestisit:4	3,736	25,56545
	530-565	0,01551		11,336	77,57225
	565-600	0,02533		26,576	181,8596
	600-635	0,04118		27,076	185,2811
	>635	0,06547		31,276	214,0217
Akifer Ortam	Alüvyon	0,04499	DRASTIC:3 Pestisit:3	29,850	204,2636
	Kireçtaşı	0,0283		38,730	265,0294
	Konglomera	0,01741		4,400	30,1092
	Volkanik	0,01065		9,890	67,67727
	Filiş	0,00674		17,130	117,2206
Toprak Türü	Boş	0,02027	DRASTIC:2 Pestisit:5	43,430	297,1915
	Çakıl-Kum	0,01275		13,900	95,1177
	Çakıl	0,00785		12,130	83,00559
	Kumlu kil	0,0048		17,340	118,6576
	Kil	0,00304		13,200	90,3276
Eğim (%)	0-2	0,01391	DRASTIC:1 Pestisit:3	33,640	230,1985
	2-6	0,00875		16,950	115,9889
	6-12	0,00538		13,320	91,14876
	12-18	0,00329		7,490	51,25407
	>18	0,00208		28,600	195,7098
Vadoz Zon	Kireçtaşı	0,9765	DRASTIC:5 Pestisit:3	40,568	277,6068
	Kum-çakıl	0,06142		14,268	97,63592
	Kumlu kil	0,03779		7,814	53,4712
	Tüf	0,06142		13,678	93,59855
	Kil	0,01463		23,672	161,9875
Hidrolik İletkenlik (m <sup>2</sup> /sn)	<10 <sup>-7</sup>	0,30846	DRASTIC:3 Pestisit:2	15,772	107,9278
	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-6</sup>	0,19401		9,902	67,75939
	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>	0,11936		15,322	104,8484
	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup>	0,07305		16,352	111,8967
	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup>	0,04623		42,652	291,8676

**DRASTIC İndeks (DI) = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw**

Burada;

**Dr:**Yeraltısuyu derinliği reyting değeri **Dw:**Yeraltısuyu derinliği ağırlık değeri

**Rr:** Beslenme miktarı için atanmış reyting değeri **Rw:** Beslenme miktarı için verilmiş ağırlık değeri

**Ar:** Akifer ortam için atanmış reyting değeri **Aw:** Akifer ortam için verilmiş ağırlık değeri

**Sr:** Toprak örtüsü için atanmış reyting değeri **Sw:** Toprak örtüsü için verilmiş ağırlık değeri

**Tr:** Eğim için atanmış reyting değeri **Tw:** Eğim için verilmiş ağırlık değeri

**Ir:** Vadoz zonun etkisi için atanmış reyting değeri **Iw:** Vadoz zonun etkisi için verilmiş ağırlık değeri

**Cr:** Hidrolik iletkenlik için atanmış reyting değeri  
**Cw:**Hidrolik iletkenlik için verilmiş ağırlık değeri.

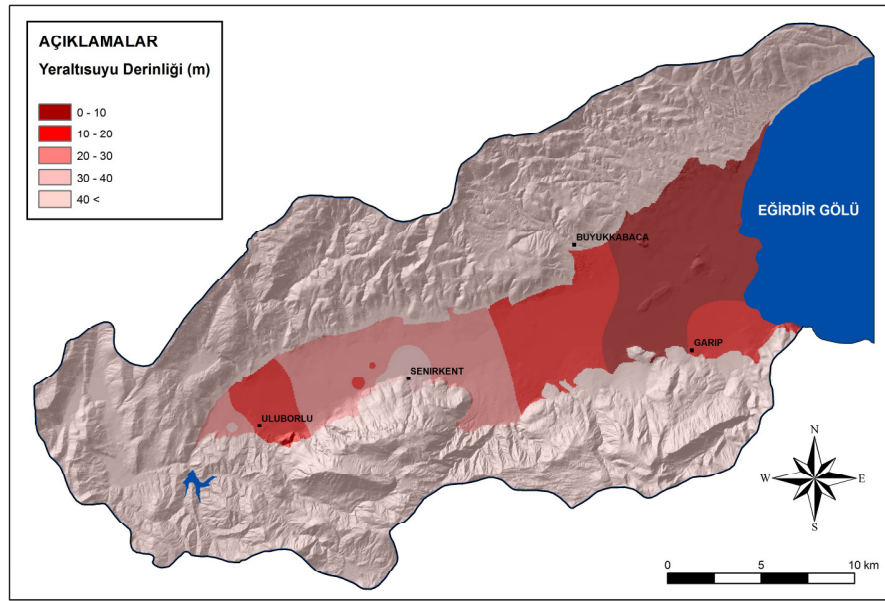
Kullanılan parametre haritaları ArcGIS yazılımı ile hazırlanarak, harita alt birimlerinin AHS ile belirlenen ağırlık katsayıları veritabanlarına işlenmiştir. Bu haritalar veritabanlarında yer alan ağırlık katsayılarına göre 10mx10m'lik gridlerden oluşan raster veriye dönüştürülmüşlerdir. Hazırlanan haritalar ArcGIS yazılımı ile örtüştürülerek DRASTIC İndeks haritası oluşturulmuştur. DRASTIC İndeks haritası aritmetik ortalamalar göz önüne alınarak düşük, orta ve yüksek hassasiyet olmak üzere 3 farklı sınıfa ayrılarak havzamanın yeraltısuyu kirlenebilirlik haritası oluşturulmuştur.

## Bulgular

Çalışma alanının yeraltısuu kirlenebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan veriler önceki çalışmalar, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Tarım ve Köy İşleri Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır. DRASTIC Yöntemi içerisinde kullanılan 7 hidrojeolojik parametre haritası CBS tabanlı AHS yöntemi kullanılarak hazırlanmış ve sonuç olarak yeraltısuu kirlenebilirlik haritası elde edilmiştir. Bölgenin yeraltısuu kirlenebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan 7 parametre aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

### Yeraltısuu Derinliği (D)

Kirleticilerin akifere ulaşana kadar katettikleri mesafenin bilinebilmesi açısından yeraltısuu kirlenebilirlik çalışmalarında yeraltısuu derinliğinin bilinmesi ve değerlendirilmeye alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, havzada yer alan 17 adet sondaj kuyusunda yeraltısuu seviye ölçümleri yapılmıştır ve ölçüm yapılan kuyuların koordinatları GPS alıcısı ile belirlenmiştir. Bu veriler bilgisayar ortamına aktararak havzanın yeraltısuyunun yüzeyden derinlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). Havza içerisinde alüvyon ortamda yeraltısuu derinliği yaklaşık olarak 3-36 m arasında değişmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanının yeraltısuu yüzeyden derinlik haritası

### Beslenme (R)

Yeraltısularının kalitesini tehdit eden kirleticiler ortamdaki su miktarına bağlı olarak doymamış bölge içerisinde kolaylıkla hareket edebilmektedirler. Bir havzada hesaplanacak olan beslenme miktarı doymamış bölge içerisinden akifere süzülen su miktarı olarak ifade edilebilir (Al-Zabet, 2002). Bir havzaya düşen yıllık yağışın yaklaşık % 30-40 oranındaki miktarının akifere süzülmesi kabul edilmektedir (Baalousha, 2006). Çalışma alanında en önemli beslenme kaynağı bölgeye düşen yağıştır. Ayrıca, havzaya Eğinir Gölü'nden sulama suyu alındığı bilinmektedir. Ancak, alınan sulama suyunun mevsimlik olması sebebiyle yıllık ortalama yağış değerleri yeraltısuu beslenme miktarı olarak dikkate alınmıştır. Senirkent-Uluborlu Havzasına ait yıllık yağış verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir ve havzanın yıllık ortalama yağış haritası ArcGIS yazılımı kullanılarak mesafe ile ters ağırlıklı (IDW- Inverse Distance Weighted) interpolasyon metodu ile hazırlanmıştır (Şekil 4).

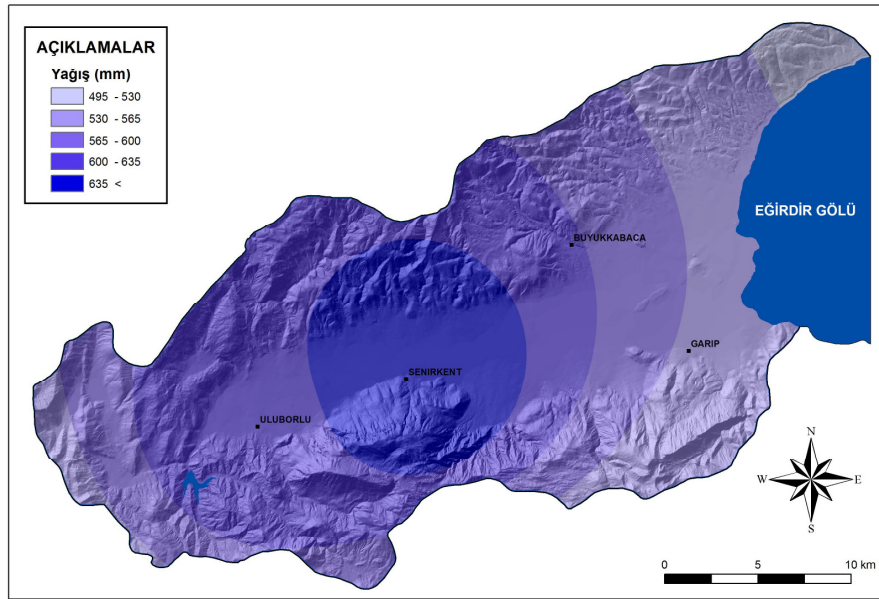
### Akifer Ortam

Havzanın genel jeoloji haritası önceki çalışmalar ışığında yapılan arazi çalışmaları ile hazırlanmıştır. Belirlenen litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate

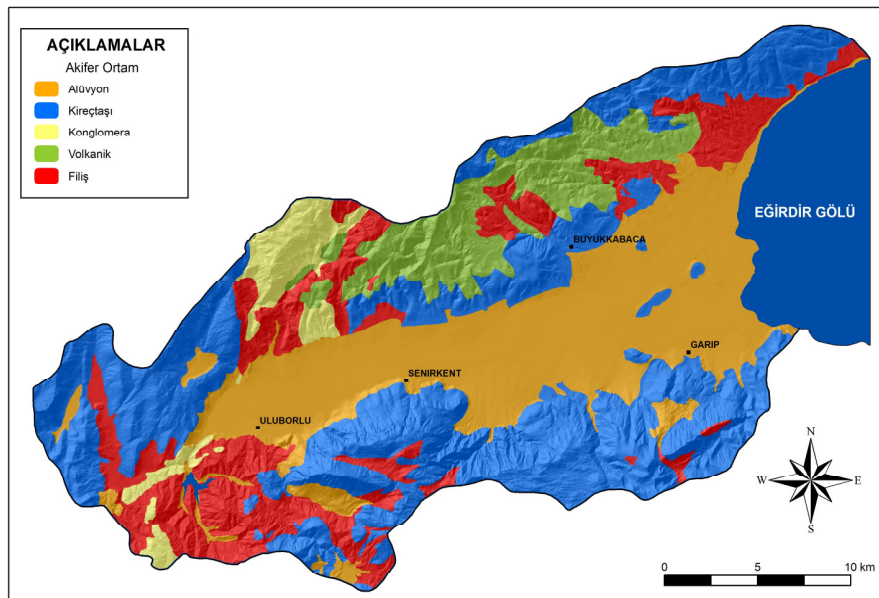
alınarak bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 5). Havzada gözenekli akifer olarak sınıflandırılan alüvyon birim en yüksek kirlenme potansiyeline sahip bölgedir. Ayrıca, karstik akifer ve konglomeraların yüzeyletiği bölgeler yüksek permeabiliteye sahiptir. Bölgede volkanik birimler yarı geçirirli, filiş ise geçirimsiz birim olarak sınıflandırılmışlardır. AHS yöntemine göre yapılan ağırlıklandırılmada birimlerin geçirirlilik özellikleri dikkate alınmıştır.

### Toprak Örtüsü Tipi

Toprak örtüsü tipinin ortamın beslenme miktarını üzerinde önemli bir etkisi söz konusudur. Özellikle, kirleticilerin vadoz zon içerisinde hareketini kontrol etmesi bakımından yeraltısuu hassasiyetinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken bir parametredir (Lee, 2003). Çalışmada, havzanın toprak haritası Tarım ve Köy İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. DRASTIC yöntem içerisinde kullanılan toprak haritası ArcGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 4. Çalışma alanının yağış haritası



Şekil 5. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası

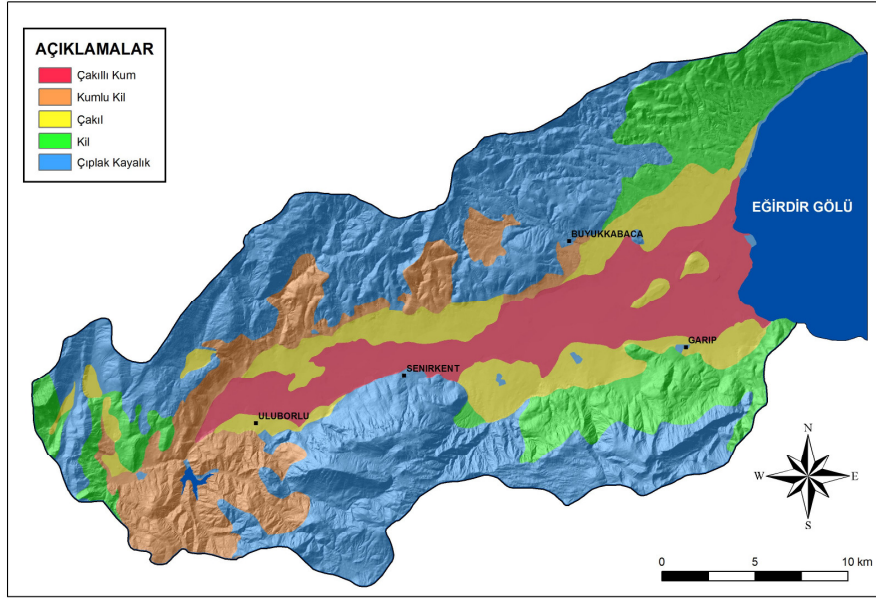
### Eğim

Yeraltı suyu hassasiyetinin belirlenmesinde ortamın eğimi arazi yüzeyinde suyun akış oranı ve dolayısıyla kirleticilerin taşınma derecesi açısından önem taşımaktadır. Havzanın eğim özelliğini değerlendirmek için 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritaları ArcGIS yazılımı ile sayısallaştırılmıştır. Sayısal eş yükseklik eğrileri kullanılarak havzanın sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modeli kullanılarak 10x10 m'lik hücrelerden oluşan havzanın eğim haritası hazırlanmıştır (Şekil 7).

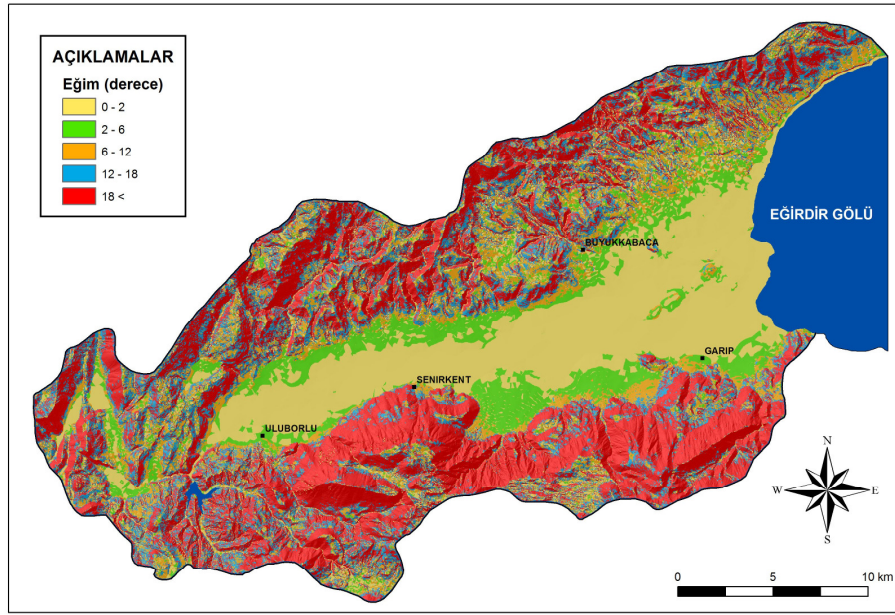
### Vadoz Zonun Etkisi

Vadoz zon yeraltı suyu tablasının üzerinde bulunan ve genellikle doymamış ya da kısmen doymuş bölgelerden oluşan ortamlardır. Bölgeye düşen yağışın ve yüzeysel akışın süzülmesi açısından vadoz zon büyük öneme sahiptir. Havzada yeraltı suyu hassasiyetine yönelik vadoz zonun etkisi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen sondaj kuyu loglarından ve bölgenin jeoloji haritasından yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanının batısında çakıl, killi, kumlu çakıl ve kireçtaşı birimleri, doğusunda ise siltli kum, kil, kum ve çakıl birimleri gözlenmiştir. Havzanın vadoz zon haritası Şekil 8'de verilmiştir.





Şekil 6. Çalışma alanının toprak örtüsü türü haritası

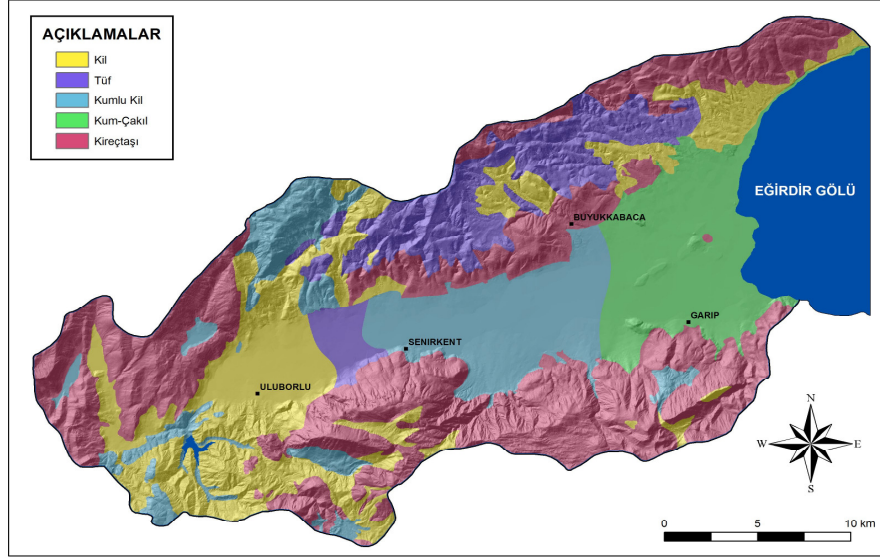


Şekil 7. Çalışma alanının eğim haritası

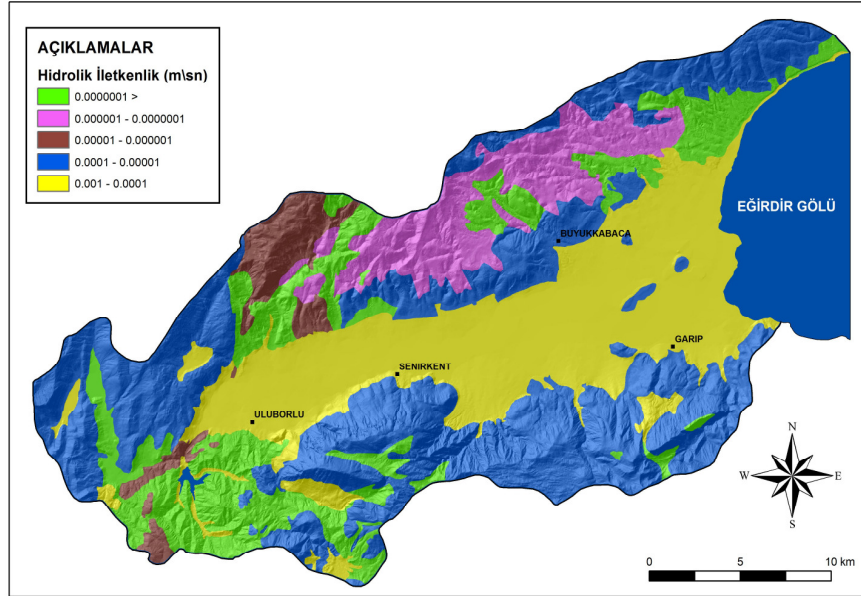
### Hidrolik İletkenlik

Hidrolik iletkenlik doymuş bölge içerisinde yeraltısuyu hareketini kontrol etmektedir. Bu nedenle, kirletici taşınımı ortamın hidrolik iletkenliğine bağlı olarak sınırlanabilir. Çalışmada kullanılan hidrolik iletkenlik değerleri kuyularda yapılan pompaj testlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Seyman, 2005). Ayrıca, sondaj kuyusu bulunmayan bölgeler için literatürde

verilmiş iletkenlik değerleri kullanılmıştır (Höltling, 1984; Erguvanlı ve Yüzer, 1987) Havzada alüvyon birimler içerisinde belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri  $8.72 \times 10^{-6}$  (m/sn) ile  $2.24 \times 10^{-4}$  (m/sn) arasında değişmektedir. Hidrolik iletkenlik değerleri yüksek geçirimsizliğe sahip olan kireçtaşlarında  $10^{-3}$  (m/sn), killi birimlerde ise  $10^{-9}$  ile  $10^{-10}$  (m/sn) arasında değişmektedir (Şekil 9).



Şekil 8. Çalışma alanının vadoz zon haritası



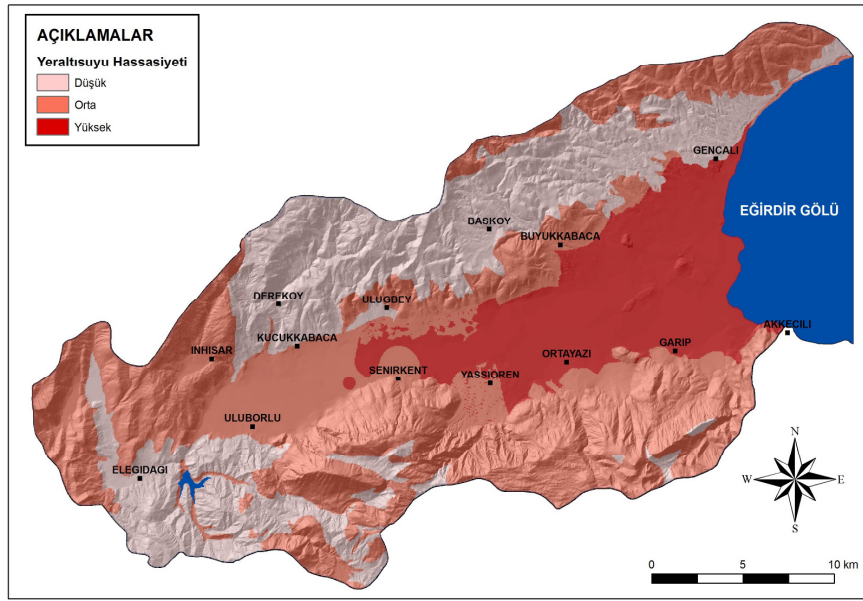
Şekil 9. Çalışma alanının hidrolik iletkenlik haritası

### Havzanın Yeraltı suyu Hassasiyetinin Belirlenmesi

Havzanın yeraltı suyu hassasiyet haritası, yukarıda açıklanan 7 hidrojeolojik verinin değerlendirilmesi sonucu hazırlanan haritaların CBS ortamında örtüştürülmesi sonucunda hazırlanmıştır (Şekil 10). Ayrıca, çalışma alanında hesaplanan DRASTIC hassasiyet indeksi 0,004-0,020 arasında değişmektedir. Bu verilere bağlı olarak havza düşük (0,004-0,009), orta (0,009-0,014) ve yüksek (0,014-0,020) hassasiyetli bölgeler olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Alüvyon birimlerin yüzeylendiği alanlar ve özellikle göle sınır olan alanlar yüksek hassasiyete sahip bölgeler olarak belirlenmiştir. Buna karşın havzanın kuzeyinde, güneyinde ve batısında bulunan oldukça geniş alanların düşük hassasiyete sahip oldukları görülmektedir.

### Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, Senirkent – Uluborlu Havzası'nın kirliliğe karşı hassasiyet değerlendirmesine yönelik olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı olarak DRASTIC Yöntem kullanılmıştır. DRASTIC Yöntem kapsamında yer alan 7 parametre haritası Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak önem derecelerine göre ağırlıklandırılmış ve her bir parametre haritası CBS ortamında hazırlanarak hassasiyet sınıflaması yapılmıştır.



Şekil 10. Çalışma alanının yeraltısuyu hassasiyet haritası

Uygulanan klasik DRASTIC yöntemde reyting değerleri 1-10 arasında değişmektedir. Her araştırmacı üzerinde çalıştığı bölgenin özelliklerine göre hidrojeolojik parametreleri 1 ile 10 arasında değerlendirmektedir. Ancak, bu şekilde yapılan değerlendirmelerde aynı parametreler farklı araştırmacılara göre farklı rakamsal değerler alabilmektedir. Bu belirsizliği önlemek için bu çalışmada kullanılan reyting değerleri AHS yöntemi ile belirlenmiştir. Böylelikle, oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisleri ile yeraltı suyunun hassasiyetini belirlemeye yönelik parametrelerin birbirlerine göre önem dereceleri buna bağlı olarak da reyting değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan reyting ve kirlenici tipine bağlı olarak verilen ağırlık katsayıları yardımıyla söz konusu 7 hidrojeolojik parametre haritası oluşturulmuş ve havzanın DRASTIC Hassasiyet İndeksi hesaplanmıştır. Havzanın DRASTIC Hassasiyet İndeksi 0,004-0,020 arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerler tekrar sınıflandırılarak havzanın yeraltısuyu hassasiyet haritası hazırlanmıştır. Buna göre çalışma alanının % 17,71'i yüksek, % 50,81'i orta ve % 31,48'i düşük hassasiyete sahip bölgeler olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Havzada alüvyon akiferin özellikle göle yakın olan kısımları en yüksek hassasiyete sahip bölgeler olarak belirlenmiştir. Buna karşın, havzanın kuzeyi ve güney batısı yeraltısuyu kirliliğine karşı düşük hassasiyete sahiptir.

Senirkent-Uluborlu Havzası hassasiyet değerlendirmesine göre, göle yakın olan alanlar başta olmak üzere bölgedeki yeraltı suyunun hemen hemen tamamı risk altındadır. Havzadaki yeraltı suyunun içme suyu kaynağı olarak kullanılan Eğirdir Gölü'nün beslenimindeki önemi göz önüne alındığında yeraltı suyu korunmasına yönelik ayrıntılı planların yapılması gerekmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlardan bölgede geleceğe yönelik kirlilik risk değerlendirmelerinin yapılması zorunlu görülmektedir.

## Kaynaklar

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H., Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardised System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. USEPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma.
- Al-Zabet, T. 2002. Evaluation of Aquifer Vulnerability to Contamination Potential Using the DRASTIC method. Environmental Geology, 43, 203–208.
- Baalousha, H. 2006. Vulnerability Assessment for the Gaza Strip, Palestine Using DRASTIC. Environmental Geology, 50, 405–414.
- Erguvanlı, K., ve Yüzer, E. 1987. Yeraltısuları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi, Yayın no:23, İstanbul, 339s.
- Hölting, B. 1984. Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 104 Abbildungen, 27 Tabellen 2., erweiterte Auflage, Enke, Verlag, Stuttgart.
- Kim, Y., Hamm, S. 1999. Assessment of the Potential for Groundwater Contamination Using the DRASTIC/EGIS Technique, Cheongju area, South Korea. Hydrogeology Journal, 7, 227–235.
- Lee, S. 2003. Evaluation of Waste Disposal Site Using the DRASTIC system in Southern Korea. Environmental Geology, 44, 654–664.

- Margat, J. 1968. Groundwater Vulnerability to Contamination (in French). Bases de al Cartographie, (Doc.) BRGM, 68 SGC 198 HYD, Orleans, France
- Mendoza, J.A., Barmen, G. 2006. Assessment of Groundwater Vulnerability in the Río Artiguas Basin, Nicaragua. *Environmental Geology*, 50, 569–580.
- Navulur, K.C.S., Engel, B.A. 1997. Predicting Spatial Distribution of Vulnerability of Indiana State Aquifer System to Nitrate Leaching Using a GIS. [http://ncgia.ucsb.edu/cconf/SANTA\\_FE\\_CD-ROM/sf\\_papers/navurul-kumar/my\\_paper.html](http://ncgia.ucsb.edu/cconf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/navurul-kumar/my_paper.html) (Erişim tarihi:10.09.2008)
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process - Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York, U.S.A.
- Secunda, S., Collin, M., Melloul, A.J. 1998. Groundwater Vulnerability Assessment Using a Composite Model Combining DRASTIC with Extensive Land-use in Israel's Sharon Region. *Journal of Environmental Management*, 54, 39–57.
- Seyman, F. 2005. *Senirkent-Uluborlu (Isparta) Havzasının Hidrojeolojik İncelemesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 96s.
- Tay (Şener), Ş. 2005. *Senirkent – Uluborlu (Isparta) Havzasının Katı Atık Düzenli Depolama Yeri Seçimine Yönelik Jeolojik – Jeoteknik İncelemesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 89s.
- Wang, Y., Merkel, B.J., Li, Y., Ye, H., Fu, S., Ihm, D. 2007. Vulnerability of Groundwater in Quaternary Aquifers to Organic Contaminants: A Case Study in Wuhan City, China, *Environmental Geology*, 53, 479–484.