

CUMAOVASI (İZMİR) YERALTI SULARININ KİRLENEBİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Nesrin BARIŞ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova/İzmir

Celalettin ŞİMŞEK

Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Torbalı/İzmir

Burhan ERDOĞAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET: Akifer kirlenebilirliği çalışmaları, insan aktiviteleri sonucu oluşabilecek kirlenmeye karşı hangi alanların daha duyarlı olduğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Kirlenmeye duyarlı alanların bilinmesi, arazi kullanımının planlanması, su havzalarının koruma kullanma dengelerinin sağlanması ve işletilmeleri aşamalarında karar vericiler için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Cumaovası Havzasının (İzmir) yeraltı sularının kirlenebilirlik haritası DRASTIC metodu modifiye edilerek havzaya uyarlanmış ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile entegre edilmesi ile oluşturulan AHS-DRASTIC indis değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri ile haritalanmıştır. Çalışmada DRASTIC yöntemin gerektirdiği yedi tematik harita olan, yeraltı su derinliği (D), beslenme (R), akifer ortam (A), toprak bünyesi (S), topografya (T), vadoz zon etkisi (I) ve hidrolik iletkenlik (C) haritaları oluşturulmuştur. Yeraltı suyu derinlikleri havzada saptanan kontrol kuyularının yağışlı ve kurak dönemdeki ölçümleri ile, beslenme değerleri Cl beslenme yöntemi ile, akifer ortama ait harita, bölge jeolojisinin ve Devlet Su İşlerinden sağlanan kuyu loglarının değerlendirilmesi ile, toprak katmanı arazi kullanım haritası ve toprak haritasının yorumlanması ile elde edilmiştir. Bölgeye ait eğim haritası MapInfo programında 20 m aralıklarla sayısallaştırılan topografik haritadan, vadoz zon katmanı ve hidrolik iletkenlik katmanının oluşturulmasında kuyu logları ile jeolojik haritadan yararlanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), modifiye edilmiş DRASTIC yönteme ait yedi parametrenin kriter ve alt kriterlerinin ağırlık ve görelî önceliklerinin tutarlılık içinde bulunması amacıyla kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Cumaovası havzasının yeraltı suyu kirlenebilirliği belirlenmiş, yeraltı sularında yapılan NO₃ analizlerine ait harita ile arazi kullanım haritaları karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonucunda insan faaliyetlerinin kirlenme riski yüksek olan alanlarda yoğunlaştığı ve buna bağlı olarak, yeraltı sularında NO₃ kirliliği belirlenmiştir.

ASSESSMENT OF CUMAOVASI GROUNDWATER VULNERABILITY USING AHP-DRASTIC METHOD

ABSTRACT: The aim of this study is to perform a regional groundwater vulnerability assessment on the Cumaovası (Izmir) plain using GIS along with a modified DRASTIC approach. Drastic is an acronym of Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone and Conductivity of the

aquifer that control the groundwater pollution potential. Based upon data from variables such as depth to water, net recharge, soil permeability, aquifer media, impact of vadose zone subjective numerical values have been assigned to each variable according to its relative importance to affect groundwater vulnerability. It was decided to use AHP process as the model parameter ranges have been modified and for derivation of ratings and weights of parameter, because of simple hierarchical structure, widespread usage and ability to measure consistency in judgment. These values are assigned based upon the DRASTIC criteria and Analytic Hierarchy Process (AHP). Firstly the values assign for each variable, the data for that variable comprise a GIS map layer. Then layer have been combined or overlain using the GIS system to formulate the final groundwater pollution potential map. The obtained database is processed within a Geographic Information System (GIS) for producing thematic maps of seven DRASTIC parameters and AHP-DRASTIC potential vulnerability map. Finally, the NO₃ map and land use map have presented to determine the human effects on groundwater vulnerability. According to the land use and groundwater NO₃ concentration demonstrate that the human activities are intensified on vulnerable zone.

1. GİRİŞ

Akifer sistemlerinin kirlenebilirliği doğal ve insan aktiviteleri kaynaklı kirleticilerden etkilenme derecesi olarak tanımlanabilir. Doğal kirlenebilirlik kayaç-su ilişkisi içerisindeki dolaşım döngüsü sırasında yeraltı sularının kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinin farklılaşması esasına dayanır ve önlenmesi genellikle mümkün değildir. İnsan aktiviteleri kaynaklı kirlenebilirlik ise bilinçli veya bilinçsiz olarak ortaya çıkabilmekte, gerekli önlemler sonucu ortadan kaldırılabilmektedir. Bu önlemlerin en başında, yeraltı suyu bulduran akiferlerin yüzeysel beslenme alanlarının belirlenmesi ve bu alanların kirleticilerinden korunması gelmektedir. Önlemlerin alınmadığı durumlarda yeraltı sularının beslenme alanlarından kirleticiler hızla yeraltı suyuna ulaşmakta

ve önemli oranda yeraltı suyu kirliliğine yol açmaktadır. Akifer kirlenebilirliği üzerinde son yıllarda önemli çalışmalar yapılmakta ve bu haritalar arazi kullanımı ve diğer insan kaynaklı faaliyetlerden kaynaklanan kirleticilerin depolama alanlarının yer seçiminde bir ön çalışma olarak kullanılabilir (Kim ve Hamm, 1998; Dai vd, 2001; Al-Zabet, 2002; Lee, 2003; Şimşek vd, 2006).

Sürekli artan nüfusu, gelişmeye devam eden endüstriyel ve tarımsal etkinlikleri ile İzmir su gereksinimi giderek artan bir ildir. Bu nedenle var olan kaynakların korunması yanında, yeni su kaynaklarının bulunması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, İzmir'e farklı kesimlerden içme ve kullanma suyu temin edilmektedir. Bunların başında ise İzmir çevresine yapılmış olan barajlar gelmektedir. En önemli su havzalarından biri olan Cumaovası, İzmir iline önemli

oranda içme suyu sağlamaktadır. Havza içerisinde yer alan ve sularını bu havzadan toplayan Tahtalı Barajı'nın İzmir'in su gereksiniminin % 34'ünü karşılayan en önemli içme ve kullanma suyu kaynağı olduğu düşünülürse bölgenin kirliliğe karşı duyarlılığının belirlenmesi, sanayi, yerleşim ve arazi kullanım alanlarının planlamasının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Havzada önemli oranda koruma tedbirleri alınmasına karşın yerleşim ve tarım alanlarında faaliyetlerin sürmesi nedeniyle bu alanların etkilerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, İzmir'in en önemli havzalarından biri olan ve farklı litolojilere sahip Cumaovası havzasının yeraltı suyu kirlenebilirliğinin DRASTIC yöntem ile belirlenmesi, güncel yeraltı suyu nitrat konsantrasyonu ve arazi kullanım haritası ile karşılaştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. DRASTIC yöntemde ele alınan hidrojeolojik parametrelerin ağırlık ve oran katsayıları ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak yeniden belirlenmiş ve bu çalışmada DRASTIC yöntem modifiye edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

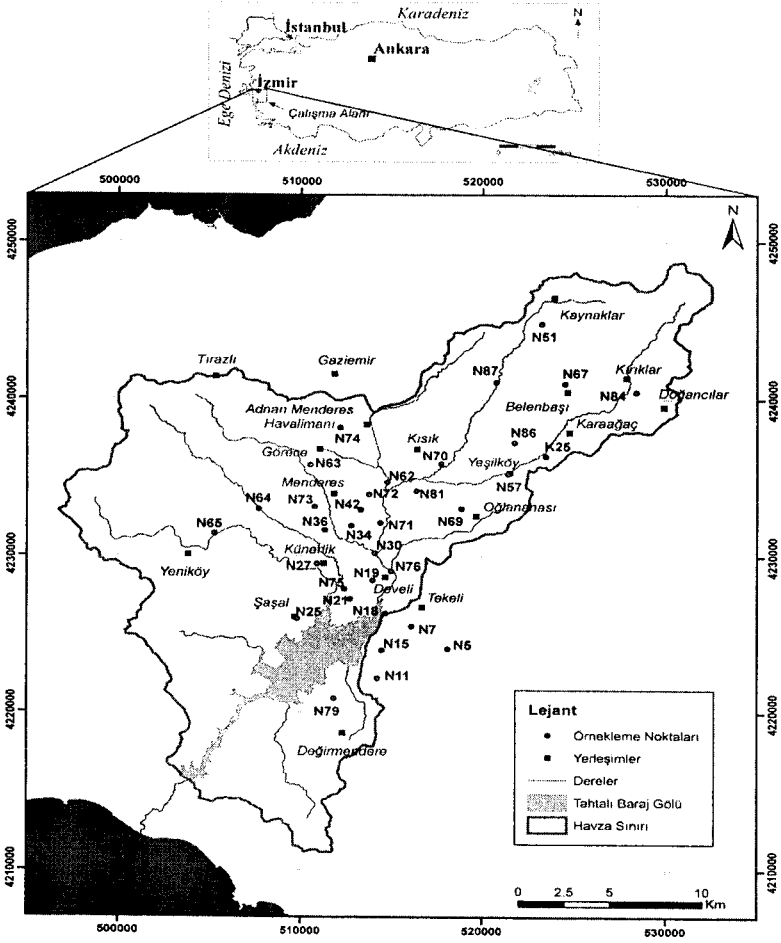
Çalışma alanı, İzmir'in 40 kilometre güneyinde, Gümüldür Beldesi'nin 5 kilometre doğusundaki Tahtalı Barajı'nın koruma alanlarını içine alan 550 km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Bu alanın yaklaşık olarak % 60'ı ormanlık, %18'i ise tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Yerleşim alanları ise çalışma alanının

yaklaşık olarak % 2'sini oluşturur (Boyacıoğlu 2007). Havza yüzeysel hidrolik akaçlama sınırlarına göre belirlenmiş ve havza içerisinde İzmir iline %34 oranında içme suyu sağlayan Tahtalı Barajı bulunmaktadır. Çalışma alanı L18-a3, L18-a4, L18-d1, L18-d2, L18-d3, L18-d4 paftalarının içinde kalmakta ve çalışma alanı içerisinde 38 yerleşim yeri bulunmaktadır. Yerleşim yerlerinde 2000 yılı nüfus sayımına göre 60.000 kişi yaşamaktadır. Çalışma alanında temel kayasını Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturmakta ve temel üzerine tektonik uyumsuzlukla Mesozoyik yaşlı Bornova Karmaşığı gelmektedir. Bu iki seriyi açısız uyumsuzlukla Neojen yaşlı seriler örtmektedir. En üst kesimde ise Kuvaterner yaşlı alüvyon yer almaktadır. Yeraltı suyu potansiyeli açısından, Neojen yaşlı seriler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon büyük önem taşımaktadır. İçme ve sulama suyunun büyük çoğunluğu bu iki birime açılan kuyulardan sağlanmaktadır. Yüzeysel drenajı KD-GB ve KB-GD doğrultulu dereler sağlamakta ve bu dereler sonunda Tahtalı Barajı'na ulaşmaktadır (Şekil 1).

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Verilerin Derlenmesi

Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli 11 adet jeoloji haritası MTA'dan sağlanmış ve arazi gözlemlerinden de yararlanılarak sayısal formata dönüştürülmüştür. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisinden yararlanılarak Cumaovası havzasına ait 20 m aralıklı topografik harita MapInfo programında



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası ve ölçüm noktaları

sayısallaştırılarak Cumaovası havzasına ait eğim haritası oluşturulmuş ve metodun gerektirdiği topografik eğim aralıklarına göre düzenlenmiştir. Arazi kullanım bilgileri İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresinden, toprak bünyesi bilgileri Köy Hizmetleri Müdürlüğünden elde edilmiştir. Sayısallaştırılmış toprak ve arazi kullanım haritası AHS- DRASTIC yöntemin gerektirdiği sınırlılıklar içinde modifiye

edilmiştir. Havzaya ait yeraltı suyu seviyeleri arazi ölçümleri ile elde edilmiştir. Vadoz ortam ve akifer ortam tematik haritalarının elde edilmesi için DSİ ve özel şahıslara ait kuyu loglarından yararlanılmıştır. Yeraltı suyu beslenme haritası, Güzelyalı meteoroloji istasyonu verileri, yağmur suyu ve yeraltı sularının klorür konsantrasyonları kullanılarak bulunan Cl beslenme değerleri ile

gerçekleştirilmiştir.

3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Başarılı bir karar, hedef ve amaçlara ulaşılabilmesi için alternatif seçenekler arasından, en uygun olanı seçme sürecine dayanır. Bilginin toplanması ve analizinin yapılması zaman alan ve yoğun çaba gerektiren bir işlemdir. Bu nedenle, karar verme sürecinin etkin kullanımı önem taşımaktadır. En yaygın olarak kullanılan karar verme mekanizması, Saaty (1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemidir. AHS’de ele alınan karşılaştırma matrislerinde her parametre için 1–9 arasında değişen karşılaştırma kriterleri kullanılarak hiyerarşi oluşturulur (Çizelge 1).

ikili karşılaştırma yapılıır. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra sentezlemeye yani karşılaştırılan her elemanın önceliğinin hesaplanması işlemine geçilir. Bu işlem en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanması ve normalize edilmesini içermektedir. Yaygın olarak kullanılan normalizasyon yönteminde her sütunun elemanları o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınıp, bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür (Saaty, 1980). Kararın kalitesi açısından önemli olan ikili karşılaştırma süreci sırasında karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarlılığıdır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için

Çizelge 1. AHS Değerlendirme Ölçeği (Saaty, 1980)

Sayısal Değer	Tanım
1	Öğeler eşit önemde (veya aralarında kayıtsız kalınıyor)
3	1.öğe 2.ye göre biraz daha önemli (veya biraz daha tercih ediliyor)
5	1.öğe 2.ye göre fazla önemli (veya fazla tercih ediliyor)
7	1.öğe 2.ye göre çok fazla önemli (veya çok fazla tercih ediliyor)
9	1.öğe 2.ye göre aşırı derecede önemli (veya aşırı derecede tercih ediliyor)
2,4,6,8	Ara değerler

Bu rakamlara göre yapılan ikili karşılaştırmada 3 ile ifade edilen parametre, karşılaştırıldığı parametreye göre daha az önem taşıdığını, 9 ile ifade elden parametre ise aşırı önem taşıdığını 1 ise karşılaştırılan parametrelerin eşit önemde olduklarını göstermektedir.

Hiyerarşinin belirlenen düzeyi n sayıda eleman içeriyorsa toplam $n(n-1)/2$ adet

Saaty’nin önerdiği bir tutarsızlık oranı kullanılmaktadır (Saaty, 1980). Saaty bu oran için en üst limit olarak 0,10’u önermektedir (Saaty, 1980). Tutarsızlık oranı 0,10’un altında ise seçimlerin yeterli bir tutarlılık gösterdiği, tutarsızlık oranı 0,10’un üstünde ise yargıların tutarsız olduğu kabul edilir. Bu çalışmada, ikili karşılaştırmaların yapılmasında son

yıllarda yaygın olarak kullanılan Expert Choice (Expert Choice Tutorials, 2000) programından yararlanılmıştır.

3.3 AHS-DRASTIC Yöntem ve Parametreleri

DRASTIC yöntem, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) adına Aller et al. (1987) tarafından geliştirilmiştir. Parametrik sistem yöntemlerinden biri olan DRASTIC, PSCM yaklaşımları içinde değerlendirilmektedir. Herhangi bir faaliyet esnasında akiferin potansiyel olarak kirlenmeye karşı bağıl duyarlılığını ortaya koyan bir yöntemdir. Yöntem kullanım amacına göre pek çok defa modifiye edilerek kullanılmıştır. DRASTIC model dört ana temel üzerine kuruludur. Bunlar sırası ile i) Kirletici toprak üzerinde tanımlanmıştır, ii) Kirletici yeraltı suyuna yağmur aracılığı ile ulaşır, iii) Kirletici suyun hareketi ile ilerler, iv) Çalışma alanı 0,4 km²'den büyüktür (Demirkıran, 2002). DRASTIC kısaltması haritalanabilir yedi hidrojeolojik parametrenin kısaltılmış şeklidir. Bu parametreler sırasıyla; yeraltı suyuna uzaklık (Depth of groundwater-D), beslenme (Recharge-R), akifer ortam (Aquifer media-A), toprak bünyesi (Soil media-S), topografik eğim (Topography-T), vadoz zon (Impact of vadose zone-I), ve akiferin hidrolik iletkenliği (hydraulic Conductivity-C) parametreleri oluşturur. DRASTIC metot, yeraltı suyu olası kirlenme zonlarının belirlenmesinde kullanılır ve kirlilik veya alan kullanım aktiviteleri durumunu yansıtmaz.

DRASTIC yöntemde ele alınan hidrojeolojik parametreler ağırlık, puanlandırma ve sıralama değerlerine göre aşağıdaki I bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Aller et al., 1987).

$$DRASTIC = D_{ri} \cdot D_{wi} + R_{ri} \cdot R_{wi} + A_{ri} \cdot A_{wi} + S_{ri} \cdot S_{wi} + T_{ri} \cdot T_{wi} + I_{ri} \cdot I_{wi} + C_{ri} \cdot C_{wi} \dots \dots \dots (I)$$

Burada; ri: her parametrenin oran katsayısını, wi ise ağırlık katsayısını ifade etmektedir. DRASTIC modelde her parametre için 1'den 10'a kadar sayılar tahsis edilmiş olup, en önemli parametre 10 ile ifade edilmektedir. Literatürde DRASTIC yöntem genellikle modifiye edilerek çalışılmıştır. AHS entegre edilerek modifiye edilmiş uygulamalardan biri de Thirumalaivasan vd. (2003) 'ne aittir. Buna benzer şekilde uygulanan DRASTIC ağırlık ve oran sayıları, AHS'ye göre hesaplanmış ve her parametre için ağırlık ve oran değerleri Çizelge 2 ve 3'de sunulmuştur. Geliştirilen AHS-DRASTIC entegrasyonunda ağırlık sayıları ikili karşılaştırma ile bulunmuş olup daha bilimsel bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen yeni oran ve ağırlık oranlarına göre AHS-DRASTIC indeks değerlerine göre kirlenebilirlik sınıfları yukarıdaki I bağıntısı kullanılarak oluşturulmuştur (Çizelge 4).

Yeraltı suyu derinliği (D):Yüzeyden yeraltı su tablasına kadar olan uzaklığı ifade etmektedir. Yeraltı suyunun yüzeye yakın olan kesimleri daha derin olan kesimlerine göre kirlenme olasılığı daha yüksektir. Bu bağlamda yeraltı suyu

Çizelge 2. DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik parametrelerinin AHS ile ağırlıklandırılması

Parametreler	D	R	A	S	T	I	C	Görelî öncelik
D	1	2	3	4	5	4	2	0,324
R		1	2	3	4	2	2	0,208
A			1	2	3	1	1	0,120
S				1	2	1/2	1/2	0,070
T					1	1/2	1/2	0,050
I						1	1	0,109
C							1	0,120
Tutarlılık Oranı=0,01								

derinliği akifer kirlenebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanında yeraltı suyu derinliği ölçümü için 35 adet kuyu belirlenmiş ve yeraltı suyunun en yüksek seviyede olduğu Nisan ayında ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde su tablası derinliği yağışlı mevsimde 0.0 ile 55.05 m arasında değişen bir dağılım göstermektedir. Çalışma alanına ait veriler göz önünde bulundurularak sınır değerler 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 ve >25 m olarak alınmış ve AHS ile yeni yeraltı suyu derinliklerine bağlı olarak ağırlıklar oluşturulmuştur (Çizelge 3).

Beslenme (R): Yağmur suları akiferlerin beslenme alanlarına düştüğü zaman, düşen yağmur sularının bir kısmı yüzeysel akışla derelere taşınır ve dere vasıtasıyla alandan uzaklaşır. Önemli bir kısmı ise buharlaşır. Geri kalan sular ise zemine sızarak, zemin boşluklarında tutulur. Sızma, akifer içerisinde gözenekli ortamdaki doymuş bölge olan yeraltı suyu seviyesine kadar devam eder. Bu süreç akiferin beslenmesi olayı olarak tanımlanır. Yeraltı sularının yağıştan beslenmesini bulmak için pek çok yöntem

geliştirilmiştir. Klorür (Cl) ve diğer çevresel izleyicilere dayanan izleyici teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Klorür metodu genellikle yeraltı su tablasının yüzeye yakın olduğu alanlarda uygulanır. Klorür kütle dengesi ile hesaplanan beslenme uzun dönem ortalamasını temsil etmektedir (Scanlon, 2000). Beslenme parametresini değerlendirmede yeraltı suyu denge metodlarından olan Cl kütle dengesi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması için gereken ortalama yıllık yağış (P) Güzelyalı Meteoroloji İstasyonu verilerinden, yağıştaki klorür konsantrasyonu (cp) Adalı, 2006'dan, sığ yeraltı suyunda klorür konsantrasyonu çalışma alanındaki örnekleme noktalarından alınan yeraltı sularının kimyasal analizinden bulunmuştur. Çalışmada kullanılan Cl ve NO₃ analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde, IC yöntemi ile yapılmıştır. Sabit koşullarda Klorür metodu ile beslenme oranı (Gieske, 1992) aşağıda belirtilen II. bağıntı ile ifade edilmektedir.

Çizelge 3. AHS-DRASTIC yöntemi kriter ve alt kriterleri

DRASTIC	Ağırlık değeri (ri)	Seçili parametre	Sınır değerler	Göreceli öncelik (wi)
D	0.326	DERİNLİK (m)	0-5	0.443
			5-10	0.240
			10-15	0.144
			15-20	0.086
			20-25	0.055
			>25	0.033
R	0.208	BESLENİM (m/yıl)	0-50	0.046
			50-100	0.076
			100-150	0.135
			150-200	0.270
			>200	0.473
A	0.12	AKİFER	Alüvyon	0.423
			Çakıl, kum	0.250
			Kmt, klt	0.151
			Filiş	0.091
			Volkanik	0.053
			Şeyl	0.032
S	0.07	TOPRAK BÜNYESİ	A	0.300
			C	0.208
			E	0.130
			K	0.143
			M	0.084
			N	0.055
			R	0.035
			T	0.024
U	0.022			
T	0.05	EĞİM	0-2	0.481
			2-6	0.266
			6-12	0.145
			12-18	0.070
			>18	0.038
I	0.109	VADOZ ZON ETKİSİ	Kireçtaşı, Mermer	0.444
			Çakıllı kum	0.242
			Konglmera	0.139
			Killi çakıl	0.087
			Çakıllı kil	0.050
			Kil,silt	0.039
C	0.12	HİDROLİK İLETKENLİK (m/gün)	0-4.1	0.425
			4.1-12.2	0.259
			12.2-28.5	0.147
			28.5-40.7	0.089
			40.7-81.5	0.049
			>81.5	0.031

Çizelge 4. AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik sınıfları

AHS-DRASTIC İndeks Aralıkları	AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Sınıfı
>0,150	Çok düşük
0,150-0,200	Düşük
0,200-0,250	Orta
0,250-0,300	Yüksek
>0,300	Çok yüksek

$$R=P_{cp}+D/c_{gw} \dots\dots\dots(II)$$

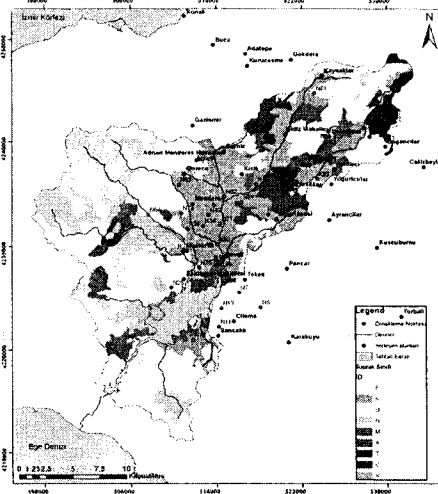
Burada, R: ortalama yıllık beslenme oranı (m/yıl), P: ortalama yıllık yağış (m/yıl), D: kuru dönem klorür birikimi ($g/m^2/yıl$), cp: yağıştaki klorür konsantrasyonu (g/m^3), cgw: sığ yeraltı suyunda klorür konsantrasyonu (g/m^3). Çalışma alanında kuru dönem klorür birikimi sıfır olarak ele alınmıştır. DRASTIC yöntem beslenme parametresine ait sınır değerler 0–50, 50–100, 100–150, 150–200 ve >200 mm olarak modifiye edilmiş ve AHS ile ağırlıkları bulunmuştur (Çizelge 3). Elde edilen tematik harita Şekil 3’de verilmiştir.

Akifer ortam (A): İri taneli, daha kırıklı bir akifer daha yüksek gözenekliliği dolayısıyla daha yüksek kirlenebilirliği gösterir. Konsolide olmayan akiferlerde, derecelendirme akiferdeki ince malzemenin miktarına ve türüne bağlıdır. Konsolide akiferlerde derecelendirme, birincil poroziteye, kırıklar ve tabaka yüzeyleri ile ilgili ikincil poroziteye bağlıdır. Alüvyon çalışma alanına ait en önemli akiferdir. Alüvyonun üst seviyelerindeki pekişmemiş kum, kumlu ve killi çakıl malzeme düşük verimli serbest akifer, kıltaşı ve kumtaşı düzeyleri içeren çakıltaşı-bloktaşı istifli yarı basınçlı akifer karakterindedir. Neojene ait konglomera ve killi kireçtaşları çatlak sistemlerinin geliştiği bölümlerde kısıtlı da olsa yeraltı suyu bulundurmaktadır (DSİ, 1984). DSİ tarafından yapılan jeofizik etütlere göre bu

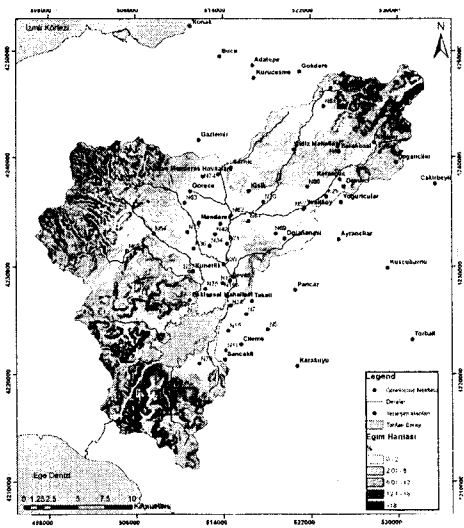
birimlerin Yeniköy doğusuna doğru 100 m kalınlığa ulaştığı belirtilmiştir. Neojen karbonatları ince-orta katmanlı killi kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Bu birim uygun kumlarda, uygun kalınlığa eriştiği bölümlerde su depolamaya elverişli olup çalışmamızda kısmen basınçlı akifer olarak değerlendirilmektedir. Neojene ait kırıntılı istif ince katmanlı kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve çakıltaşı kumtaşı aralanmaları sunmaktadır. İnce laminalı şeyl, silttaşı ve çamurtaşı da su depolama, beslenme açısından kırık ve çatlak sistemlerinin geliştiği bölümlerde elverişlidir. Neojen volkanikler çatlaklı akifer niteliğindedir. Paleozoyik yaşlı mermerler kırık ve çatlak sistemleri, karstik özellikleri ile havzada akifer özelliğindedir.

MTA’nın hazırladığı jeoloji haritaları ve saha gözlemlerinden yararlanılarak poligon olarak ArcGIS 9.1 programında jeoloji haritası hazırlanmış ve 50x50m grid formatına dönüştürülmüştür. Cumaovası Havzası içinde en yüksek değerlik Kuvaterner alüvyona ve karstik kireçtaşlarına aittir. Volkanikler ve Neojen öncesi kayaçlar içinde gösterilen Bornova Karmaşığı en düşük değerliğe sahiptir. Kumtaşı, çakıltaşı, kıltaşı aralanmaları birimlerin kalınlıklarına ve dokusal özelliklerine göre orta değerlerle derecelendirilmişlerdir (Çizelge 3).

DRASTIC yönteme ait sınıflama çalışma alanına ait birimlere göre yeniden yapılandırılmış ve AHS ile ağırlık değerleri saptanmıştır.



Şekil 5. Cumaovası havzası toprak bünyesi haritası



Şekil 6. Cumaovası havzası eğim haritası

%5, kırmızı Akdeniz topraklar (T) %3,3, redzinalar (R) %2,9'luk alanda yayılım gösterir.

Topografik eğim (T): Topografya kirleticilerin yüzeyden derinlere sızmasında kontrol gücüne sahiptir. Eğim az ise kirleticilerin yüzey akışı yavaş olacak ve yeraltına sızma potansiyeli yüksek olacaktır. Eğim fazla ise sızma kapasitesi azalacağından yeraltı su kirliliği düşecektir. Eğim aralıklarına ait ağırlık katsayıları AHS ile elde edilmiştir (Çizelge 1). AHS-DRASTIC indeks değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Eğim parametresine ait sayısal arazi modeli Şekil 6'da verilmiştir.

Vadoz zon etkisi (I): Vadoz zon su tablasının üzerindeki doymayan bölümdür. Vadoz zona ait bölgede birimlere ait değerleri belirlemede kayaların lito-mineralojik özellikleri, porozite ve permeabilite gibi hidrojeolojik

özellikleri gözetilerek DRASTIC modelin bu parametre için sunduğu değişebilir ağırlık oranlarına objektif yaklaşılarak uygun ağırlıklandırmaların elde edilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla alüvyon birim ve kristalin kayalar üzerinde açılmış 46 sondaj kuyusuna ait veri yorumlanarak DRASTIC yöntemine ait ağırlıklar bulunmuştur. Verilerin yorumlanmasında su tablasının derinliği ve toprak kalınlığı da dikkate alınmıştır. Daha sonra AHS de bu aralıklara ait karşılıklar elde edilmiştir. Kum, kumlu çakıl gibi malzemelerin ağırlıkta olduğu alüvyona 0,423 değerliği, siltli kum malzemelerin geçildiği bölgelere 0,250 değerliği, şist, masif kireçtaşı geçilen bölümlere ise 0,032 gibi düşük bir değer atanarak kontrol kuyularına ait AHS-DRASTIC İndeks değerleri bulunmuş olup değerler Çizelge 4'de ve tematik harita Şekil 7'de sunulmuştur.

Çizelge 5. Örnekleme noktalarına ait AHS- DRASTIC indeks değerleri

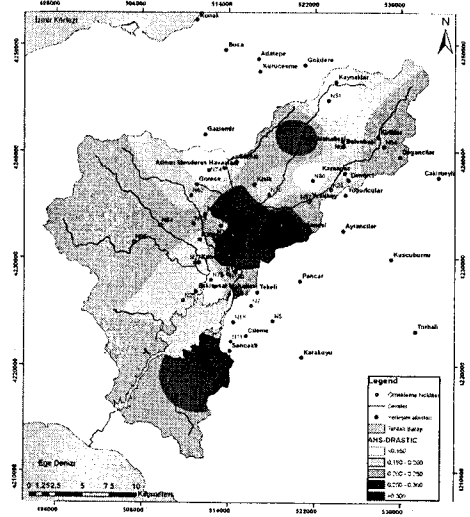
DRASTIC				0.326	0.208	0.120	0.070	0.050	0.109	0.120	AHS-
Parametre Ağırlık Değerleri (ri)											DRASTIC
Örnek											İndeks
no	x	y	z	Dwi	Rwi	Awı	Swı	Twı	Iwı	Cwı	
N05	518110	4224127	50	0.443	0.046	0.053	0.300	0.481	0.05	0.049	0.217
N07	516097	4225548	58	0.033	0.076	0.250	0.300	0.481	0.05	0.049	0.113
N11	514234	4222207	70	0.443	0.076	0.151	0.300	0.481	0.242	0.049	0.256
N15	514467	4224023	55	0.240	0.046	0.151	0.300	0.481	0.139	0.049	0.172
N18	514666	4226385	66	0.443	0.076	0.423	0.300	0.481	0.05	0.049	0.267
N19	513962	4228481	71	0.240	0.076	0.250	0.300	0.481	0.139	0.425	0.235
N20	513962	4228481	71	0.443	0.076	0.053	0.300	0.481	0.087	0.425	0.272
N21	512716	4227294	78	0.144	0.046	0.053	0.300	0.481	0.087	0.089	0.128
N25	509807	4226045	93	0.443	0.076	0.053	0.032	0.266	0.087	0.031	0.195
N27	510902	4229536	92	0.144	0.046	0.250	0.143	0.481	0.039	0.259	0.156
N30	514089	4230198	84	0.443	0.046	0.250	0.143	0.481	0.444	0.425	0.317
N34	512792	4231945	91	0.240	0.046	0.250	0.143	0.481	0.444	0.425	0.251
N36	511326	4231667	99	0.144	0.076	0.423	0.143	0.481	0.039	0.259	0.183
N42	513289	4232957	100	0.240	0.076	0.032	0.143	0.481	0.444	0.425	0.231
N51	523234	4244791	265	0.240	0.076	0.032	0.130	0.145	0.05	0.147	0.137
N57	521407	4235258	171	0.144	0.076	0.151	0.130	0.481	0.444	0.425	0.213
N62	514755	4234711	100	0.443	0.076	0.032	0.143	0.481	0.444	0.259	0.278
N63	510522	4235833	142	0.144	0.135	0.032	0.143	0.481	0.444	0.089	0.172
N64	507675	4233002	147	0.443	0.135	0.053	0.022	0.481	0.039	0.259	0.240
N65	505242	4231435	176	0.443	0.046	0.053	0.143	0.266	0.05	0.259	0.220
N67	524514	4240998	362	0.240	0.135	0.053	0.130	0.145	0.242	0.089	0.166
N69	518859	4233037	129	0.443	0.270	0.423	0.143	0.481	0.444	0.049	0.340
N70	517731	4235913	130	0.240	0.076	0.032	0.143	0.481	0.444	0.031	0.184
N71	514386	4232121	91	0.443	0.076	0.151	0.143	0.481	0.444	0.425	0.312
N72	513757	4233929	105	0.240	0.076	0.423	0.143	0.481	0.444	0.425	0.278
N73	510753	4233153	109	0.443	0.046	0.053	0.143	0.481	0.039	0.259	0.230
N74	512179	4238200	125	0.033	0.046	0.032	0.143	0.481	0.444	0.147	0.124
N75	512391	4227942	83	0.086	0.135	0.053	0.143	0.481	0.087	0.259	0.137
N76	514985	4229060	71	0.240	0.046	0.423	0.143	0.481	0.242	0.425	0.250
N79	511832	4220924	79	0.443	0.076	0.250	0.143	0.481	0.444	0.089	0.283
N81	516368	4234174	107	0.443	0.135	0.053	0.143	0.481	0.444	0.259	0.292
N84	528392	4240473	336	0.443	0.135	0.032	0.130	0.145	0.444	0.049	0.247
N86	521756	4237257	199	0.033	0.076	0.053	0.143	0.145	0.444	0.089	0.109
N87	520763	4241086	183	0.443	0.270	0.053	0.130	0.145	0.242	0.147	0.267
K25	523465	4236389	149	0.033	0.135	0.250	0.143	0.481	0.242	0.425	0.180

edilen kirlenebilirlik haritasında potansiyel kirlenebilirliği en yüksek yerlerin eğimi düşük ve gözenekli birimlerin yer aldığı sığ yeraltı sularının bulunduğu kesimleri oluşturmakta ve yüksek indeks değerleri olan 0.200-0.300 ve >0.300 değerlerine karşılık gelmektedir (Şekil 9). En düşük kirlenebilirliğe sahip alanlar ise eğimi yüksek, su derinliği fazla olan Görece, Kaynaklar, Karaağaç ve Eski Şaşal mahallesinin bulunduğu bölümde olup, indeks değeri olarak <0.150 ve 0.150-0,200 aralığına düşmektedir. Bu bağlamda yeraltı suyunun kirlenme alanları diğer taraftan en yüksek beslenme alanlarını da oluşturur. Bu nedenle bu alanların korunması gerekir. Özellikle, içme ve sulama suyu sağlayan havzalarda koruma ve kirlenebilir alanların belirlenmesi, sürdürülebilir yeraltı suyu kaynakları açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanında kuyu ve veri azlığı nedeniyle kuzeybatı kesimlerde enterpolasyon güvenirliliği düşük olarak değerlendirilmiştir. Bu bölgelerin ormanlık alanlar olması kirlenme açısından riski azaltmaktadır (Şekil 9).

4.1. Kirlenebilirlik Modelinin Kontrolü

DRASTIC yöntem kirlenme su ile aynı akışkanlığa sahip olduğunu kabul etmektedir. Suda neredeyse tamamen çözünmeyen nitrat bu kabulü hemen hemen sağlaması ve çalışma alanında tarımsal aktiviteler nedeniyle nitratlı gübrelerin kullanılması yöntemin nitratla kontrol edilebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda çalışma alanındaki yeraltı suyu nitrat seviyesi kullanılarak nitrat haritası



Şekil 9. Cumaovası havzası AHP-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası

yaşlanmış ve kirlenebilirlik haritası ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca arazi kullanımının nitrat seviyesi ve kirlenebilirlik üzerine etkisinin ortaya konması için arazi kullanım haritası yapılmıştır (Şekil 10). Arazi kullanım açısından Cumaovası havzası yüksek oranda ormanlık alanlar bulunmaktadır.

Tahtalı Barajı koruma alanlarını içine alan Cumaovası havzasında ormanlık alanlar ve makilik alanlar havzanın % 61,5'ini kaplamaktadır. Seraların da içinde olduğu ve tarım yapılan alanlar ise havzanın % 32'lik kısmını oluşturmaktadır ve havzadaki yeraltı sularının işletilmesi, korunması sürekliliğinin sağlanması açısından kontrol altında tutulması gereken bölgelerden birini oluşturmaktadır. Havzanın korunması açısından tarım alanlarının baraj havzası

Çizelge 6. Yeraltı sularına ait Cl^- , NO_3^- konsantrasyonları (mg/L) ve beslenme değerleri

Örnek No	K25	N05	N07	N11	N15	N18	N19	N20	N21	N25	N27	N30
Cl^-	23.37	202.57	39.18	49.28	326.44	38.06	46.59	46.88	52.36	29.08	66.97	54.07
Beslenme (mm/y)	110.66	12.77	66.00	52.48	7.92	67.95	55.50	55.16	49.39	88.93	38.61	47.83
NO_3^-	33.71	24.74	42.06	111.03	58.88	65.05	123.32	122.39	33.98	1.54	8.90	58.68
Örnek no	N34	N36	N42	N51	N57	N62	N63	N64	N65	N67	N69	N70
Cl^-	68.65	30.23	46.33	40.01	30.92	49.95	15.52	19.65	85.30	24.09	10.93	32.50
Beslenme (mm/y)	37.67	85.55	55.82	64.63	83.64	51.77	166.63	131.60	30.32	107.33	236.66	79.58
NO_3^-	102.0	27.79	130.72	0.17	66.02	76.82	19.38	8.24	11.30	43.98	13.30	
Örnek no	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N79	N81	N84	N86	N87	
Cl^-	44.77	45.24	95.46	90.73	21.84	278.02	34.91	21.07	16.41	35.37	13.94	
Beslenme (mm/y)	57.76	57.16	27.09	28.50	118.40	9.30	74.08	122.74	157.58	73.11	185.46	
NO_3^-	174.95	109.74	58.61	0.16	19.75	0.53	142.88	34.14	29.40	39.40	4.98	

koruma alanları içinde sınırlı tutulması ve organik tarımın yaygınlaştırılması gerekmektedir. Kirlilik kontrolü açısından önem taşıyan endüstri bölgeleri, havzanın % 0,2'lik bölümünü kapsamakta havzanın kuzeyinde yoğunlaşmaktadır.

Yapılan nitrat ve arazi kullanım haritası arasında büyük bir benzerlik bulunmaktadır (Şekil 10 ve 11). Tarım ve yerleşim alanı olarak kullanılan düz kesimler de nitrat konsantrasyonu da yükselmekte ve 150 mg/L değerlerine kadar ulaşmaktadır. Çalışma alanındaki yüksek seviyedeki nitratın tarımsal ve hayvansal gübrelerden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Çünkü yerleşim alanlarına ait kanalizasyonlar havza koruma açısından arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Oğlananası'nın yer aldığı bölgede ve Yıldız mahallesinde kirlenme belirlenmemiştir. Bu durum, Oğlananası ve çevresinde devlet desteği ile yoğun olarak zeytin yetiştiriciliğine geçilmesi nedeniyle kuru tarım yapılması şeklinde açıklanabilir.

Yıldız mahallesinde tarımsal aktivite suyun çok kısıtlı olması nedeniyle çok azdır. Nitrat konsantrasyonunun ulusal ve uluslararası standartları aştığı (TSE 266 2005, EPA 2003, WHO 2004) N11, N15,

denenmiş NO₃' ın standartları aştığı yerlerin AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritasında kirlenebilirliği yüksek yerlere karşılık geldiği gözlenmiştir. Örnek noktalarının bütün havzayı tam olarak temsil edecek şekilde sıklaştırılması daha ayrıntılı bir haritanın elde edilmesini sağlayacaktır. Benzer çalışmalar için de örnek olabilecek bu çalışma havza planlaması ve havza yönetimi için yol gösterecek niteliktedir. İzmir İlinin en önemli havzalarından biri olan Cumaovası havzasından yapılan çalışmada, en önemli akifer sistemi olan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile Neojen yaşlı kireçtaşlarının kirlenebilirliğinin yüksek olduğu, özellikle düz kesimlerde yer alan alüvyonların ise kirlenebilirliğinin yüksek olmasına bağlı olarak kirlendiği saptanmıştır. Bu durumda, içme ve sulama suyu sağlayan havzalarda kirlenebilirlik haritalarının önceden yapılması ile kirlenme potansiyeli yüksek alanların belirlenmesine yardımcı olacak, kirlenme riskini azaltıcı tedbirler ile daha sağlıklı yeraltı suyunun sağlanmasına katkı vereceği düşünülmektedir.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma 2006.KB.FEN.035 numaralı proje adı altında Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Fonu kapsamında desteklenmiştir. Değerli katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Orhan Gündüz ve Yrd. Doç. Dr. Alper Elçi'ye teşekkürü bir borç biliriz.

7. KAYNAKLAR

Adalı, M., 2006. *Determination of*

chemical composition of precipitation in İzmir, Dokuz Eylül Ün. Msc. Thesis

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H. And Petty, R., R. J., 1987. *A Standartized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, U.S.EPA Report 600/2-85/018*

Al Zabet T. 2002. *Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method; Environmental Geology, 43:203-208.*

Boyacıoğlu H 2007. *Assessment of water quality by total maximum daily load (TMDL) analysis. PhD thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey.*

Dai F.C, Lee C.F, Zhang X.H. 2001. *GIS-Based geo-environmental evaluation for urban land use planning; a case study. Engineering Geology, 61;257-271.*

Demirkıran, O., 2002; *Ovaçayı Havzası akiferlerinin kirliliğe duyarlık haritalama çalışması, Hacettepe Üniversitesi; yüksek lisans tezi.*

DSİ (1984). *Menderes-Oğlananası Köyü Sulama Kooperatifi Yeraltısu İşletme Tesisleri, Fizibilite Raporu, İzmir.*

EPA (2003). *Environmental Protection Agency Office of Water National Primary Drinking Water Standards.*

Expert Choice Software Tutorials (2000), Expert Choice Inc., Pittsburgh.

Gieske, A. S. M., 1992. *Dynamics of groundwater recharge. A case study in semi-arid-eastern Botswana. PhD Thesis, Free University of Amsterdam, The Netherlands.*

Kim Y.J ve Hamm S.Y. 1998. *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.

Satty, L. T. 1980 *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Comp., U.S.A.

Scanlon, R. B., 2000. Uncertainties in estimating water fluxes and residence times using environmental tracers in an arid unsaturated zone. *Water Resources Research* 36 (2), 395-409.

Simsek C, Kincal. C. ve Gunduz, O. 2006. A Solid Waste Disposal Site Selection Procedure Based on Groundwater Vulnerability Mapping., *Environmental Geology*, 49:620-633.

Thirumalaivasan D, Karmegam M, Venuopal K, 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Env. Modelling and Software*, 18: 645-656

TSE266 (1997). Türk Standartları Enstitüsü İçme Suyu Standartları TSE266, Ankara.

Yazıcıgil H, Doyuran V, Karahanoglu N, Camur Z, Toprak V, Rojay B, Yılmaz K.K, Sakiyan J, Süzen M.L, Yesilnacar E, 2000. Revize Hidrojeolojik Etüdler Kapsamında Küçük Menderes Havzası Yeraltısularının İncelenmesi ve Yönetimi Projesi, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı.

WHO (2004). *World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality Third Edition, Vol. 1.*, Geneva.