

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAHTALI BARAJ HAVZASININ
HİDROJEOLojİK İNCELENMESİ VE YERALTI
SUYU KİRLENEbİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC
YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Nesrin BARIŞ

Ağustos, 2008
İZMİR

**TAHTALI BARAJ HAVZASININ
HİDROJEOLojİK İNCELENMESİ VE YERALTI
SUYU KİRLENEbİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC
YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dokuz Eylöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

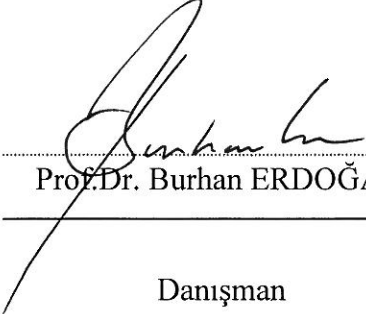
Nesrin BARIŞ

Ağustos, 2008

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

NESRİN BARIŞ, tarafından PROF.DR.BURHAN ERDOĞAN yönetiminde hazırlanan “TAHTALI BARAJ HAVZASININ HİDROJEOLJİK İNCELENMESİ VE YERALTI SUYU KİRLENE BİRLİĞİNİN AHS-DRASTİK YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof.Dr. Burhan ERDOĞAN

Danışman


Prof.Dr. Ayşe FİLİBELİ

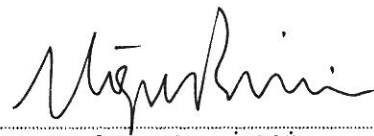
Tez İzleme Komitesi Üyesi


Doç.Dr. Ünsal GEMİCİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL

Jüri Üyesi


Prof.Dr. Uğur İNCİ

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Doktora tezi kapsamında hazırlanmıştır. Bu çalışma 2006.KB.FEN.035 numaralı proje adı altında Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Fonu kapsamında desteklenmiştir. Prof. Dr. Burhan Erdoğan çalışma evreleri boyunca yönlendirmeleri ile katkıda bulunmuşlardır. Tez izleme komitesi hocaları Prof. Dr. Ayşe Filibeli, Doç. Dr. Ünsal Gemici değerli görüş ve düşünceleri ile, yönlendirmede çok yardımcı olmuşlardır. Prof. Dr. Şevki Filiz'e ders aşamasında danışman olarak katkıda bulunmuşlardır.

Yrd. Doç. Dr. Celalettin Şimşek (Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu, Sondaj Bölümü) arazi verilerinin toplanması, yöntemin değerlendirilmesi ve uygulanmasında yol gösterici olmuştur. Yrd. Doç. Dr. Orhan Gündüz ve Yrd. Dr. Alper Elçi (Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü) arazi çalışmalarında yardımcı olmuş, yeraltı suyu örnekleri analizlerinde ve sayısallaştırılmış haritaların sağlanmasında yardımcı olmuşlardır. Dr. Cem Kıncal sayısal haritaların oluşturulmasında yardımını esirgememiştir. Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans öğrencisi Deniz Karadaş ve 18 Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü araştırma görevlisi Burcu İleri çalışmanın arazi ve laboratuvar bölümünde büyük katkı sağlamışlardır. DSİ İzmir 2. Bölge Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Daire başkanı Ömer Çağırın ve Mühendis Adem Somer kuyu loglarının ve faaliyet raporlarının derlenmesinde yardımcı olmuşlardır. İZSU'dan bölgeye ait arazi kullanım ve yüzey sularının analiz bilgileri alınmıştır. Bölgenin toprak haritası Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğünden sağlanmıştır. Çalıştığım Emir Sultan İlköğretim müdürü Süleyman Kösmene çalışmama destek sağlamıştır.

Yukarıda adı geçen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederim. Maddi, manevi destekleri için eşim D. Engin'e, canım kızlarım Pelin ve Burcu'ya gönülden teşekkürler.

Nesrin BARIŞ

Ağustos, 2008- İzmir

TAHTALI BARAJ HAVZASININ HİDROJEOLJİK İNCELENMESİ VE YERALTI SUYU KİRLENEBİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Tahtalı Baraj Havzası, İzmir İlinin güneybatısında yer alan ve içme su gereksiniminin % 34'ünü karşılaması açısından önemli bir sahadır. Çalışma alanında temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturur. Birim üzerine bindirme fayı ile Mesozoik yaşlı Bornova Karmaşığı gelir. Neojen yaşlı birimler açısız uyumsuzlukla bu birimleri üstlemektedir. Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimler alandaki tüm birimleri örtmektedir. Hidrojeolojik çalışmalara göre, çalışma alanında iki akifer sistemi belirlenmiştir. Birincisi, serbest akifer özelliğindeki alüvyon ve killi kireçtaşları, diğeri ise yarı basınçlı akifer özelliğindeki konglomeralardır. Alüvyon ve Neojen yaşlı killi kireçtaşları, havzasının orta kesimlerinde önemli oranda içme ve sulama suyu sağlamaktadır. Bölge yeraltı suları baskın olarak Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃ fasiyesindedir. Çalışma alanında yapılan yeraltı suyu bütçe hesaplamalarında beslenmeden yaklaşık olarak 35 milyon m³ fazla çekim yapıldığı hesaplanmıştır. Suların kökeni ve dolaşım mekanizmasının belirlenmesi için yapılan izotop analizlerine göre yeraltı suları kısa dolaşım ve meteorik kökenli sulardır. Havzanın etkin beslenme yüksekliği $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri kullanılarak 176 – 376 m olarak bulunmuştur. Tahtalı Baraj Havzası (İzmir)'na ait potansiyel kirlenebilirliği değerlendirmek için DRASTIC yöntem uygulanmış ve CBS teknikleri kullanılarak haritalanmıştır. Modeldeki ağırlık ve oranlar AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılarak bulunmuştur. DRASTIC model ile yeraltı suyu arasındaki ilişkinin ortaya konulması için bütünleşik su kalitesi oluşturulmuştur. Su kalitesi parametreleri ulusal ve uluslararası içme suyu kalite değerleri baz alınarak AHS ile elde edilmiştir. Yapılan DRASTIC model ile yeraltı suyu kalitesi arasında doğrusal ilişki bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Süreci, AHS-DRASTIC Yöntem, Tahtalı Barajı, Su Kalitesi

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF TAHTALI DAM BASIN AND ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY BY USING AHP-DRASTIC METHOD

ABSTRACT

Investigation was carried out in an area of about 550 km² located on the Tahtalı Dam Lake's protection areas within the Tahtalı Dam's catchment area. Tahtalı Basin is an important water resource for İzmir because of 34% of İzmir's water supplied by Tahtalı Dam. As a result of geological investigation, the foundation of basin is formed by Paleozoic aged Menderes Massif Metamorphics. The Mesozoic aged Bornova Melange that lies with unconformity via a thrust fault. The Neogene aged formations lie with non-uniformity over the Bornova Melange. The Quaternary aged alluvial layers overlie all the formation in the region. According to the hydrogeological studies, Quaternary alluvium and Neogene aged clayey limestones are unconfined aquifer, Neogene aged conglomerates is semi confined aquifer. Alluvium and clayey limestones units are proven to provide significant amount of water especially at the middle part of the study area. Chemical composition of groundwater are Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃ and Na-Ca-HCO₃ type groundwater in the study area. Water budget of area reveals that 35 million m³ groundwater overexploitation. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ environmental isotopes show that effectual recharge elevation of basin ranged between 176m-376m and groundwaters originated from meteoric water and have short circulation time. meteoric water origin. Regional groundwater potential vulnerability assessment on the Tahtalı (İzmir) Basin performed by using GIS based modified DRASTIC method. 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. Recharge estimates were obtained using groundwater data and the mass balance of chloride in groundwater. AHP process used for derivation of ratings and weights of parameters and classification of AHP-DRASTIC potential vulnerability map. For seen relation between DRASTIC model and groundwater quality, AHP based, entegrated groundwater quality index performed. As a result of comparation linear relationship has been found.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, AHP-DRASTIC Method, Tahtalı Dam, Water Quality

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Amaç	2
1.2 Çalışma Alanının Yeri.....	2
1.3 Coğrafya.....	2
1.3.1 Jeomorfoloji	2
1.3.2 İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.3.3 Tahtalı Baraj Havzası.....	5
1.4 Çalışma Metodu	8
1.4.1 Arazi Çalışmaları	8
1.4.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	9
1.4.3 Büro Çalışmaları	9
1.4.4 Önceki Çalışmalar	10

BÖLÜM İKİ- CUMAOVASI (İZMİR) HAVZASI JEOLJİSİ..... 14

2.1 Giriş.....	14
2.2 Kaya Birimleri.....	15
2.2.1 Menderes Masifi.....	15
2.2.2 Bornova Karmaşığı	15
2.2.3 Neojen İstifi.....	17
2.2.3.1 Çatalca Formasyonu.....	17
2.2.3.2 Ürkmez Formasyonu	17
2.2.3.3 Yeniköy Formasyonu	21
2.2.3.4 Cumaovası Volkanikleri.....	22

2.3 Alüvyon.....	23
2.4 Yapısal Jeoloji.....	24
BÖLÜM ÜÇ-HİDROJEOLOJİ.....	26
3.1 Giriş.....	26
3.2. Tahtalı Baraj Havzası.....	26
3.3. İklim	29
3.3.1. Yağışlar ve Sıcaklık	29
3.4 Su Kaynakları.....	32
3.4.1 Yüzey suları	32
3.4.2 Sığ Kuyular	34
3.4.3 Derin Kuyular.....	34
3.5 Su Bütçesi	35
3.6 Yeraltı Suyu Akımı	43
3.6.1 Yeraltı Su Seviyesi.....	43
3.6.2 Hidrolik Eğim ve Akım Hızı.....	43
3.7 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	48
3.7.1 Alüvyon.....	48
3.7.2 Neojen Karbonatları ve Kırıntılıları	49
3.7.3 Neojen Volkanikleri.....	51
3.7.4 Bornova Karmaşığı	51
3.7.5 Menderes Masifi Metamorfikleri	52
3.8 Suların İzotop Özellikleri.....	53
3.8.1 Oksijen 18 (^{18}O) - Döteryum (^2H).....	54
3.8.2 $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik Değişimi.....	61
3.8.3 $\delta^{18}\text{O}$ - Cl ve $\delta^{18}\text{O}$ - EC Değişimi.....	65
3.9 Cumaovası Havzası Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi.....	67
3.9.1 Suların Elektriksel İletkenliği (EC).....	68
3.9.2 Suların pH Değerleri	70
3.9.3 Sıcaklık.....	78
3.10 Yeraltı Sularının Sınıflaması ve Kimyasal Özellikleri.....	80

3.10.1 Anyon ve Katyonlar	85
3.10.1.1 Kalsiyum	85
3.10.1.2 Magnezyum	86
3.10.1.3 Sodyum ve Potasyum	87
3.10.1.4 Karbonatlar	91
3.10.1.5 Sülfat	92
3.10.1.6 Klorür	93
3.10.1.7 Nitrat	95
3.10.2 Sulardaki Ağırmetaller	95
3.10.2.1 Bakır (Cu)	97
3.10.2.2 Çinko (Zn)	98
3.10.2.3 Demir (Fe)	98
3.10.2.4 Mangan (Mn)	103
3.10.2.5 Alüminyum (Al)	105
3.10.2.6 Arsenik (As)	107
3.10.2.7 Antimon (Sb)	110
3.10.2.8 Kadmiyum (Cd)	111
3.10.2.9 Krom (Cr)	113
3.10.2.10 Kurşun (Pb)	113
3.10.2.11 Nikel (Ni)	114

BÖLÜM DÖRT - AKİFER KİRLENEBİLİRLİK YÖNTEMLERİ 116

4.1 Giriş	116
4.2 Kirlenebilirlik Yöntemleri	116
4.2.1 Özgül Duyarlılığın Belirlenmesi	116
4.2.1.1 Tek Amaçlı Değerlendirmeler	117
4.2.1.2 Çok Amaçlı Değerlendirmeler	117
4.3 Yeraltısuyu Duyarlılıklarının Belirlenmesinde Yöntem ve Teknikler	117
4.3.1 Hidrojeolojik Birim ve Yapı Yöntemleri (HCS)	117
4.3.2 Parametrik Sistem Yöntemleri	118
4.3.3 Analojik ilişkiler ve sayısal modeller	118

4.4 Akifer Duyarlılık Yöntemlerinin Karşılaştırılması	118
BÖLÜM BEŞ - TAHTALI BARAJ HAVZASI (İZMİR) YERALTI SULARININ KİRLENEBİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	122
5.1 Giriş.....	122
5.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS).....	123
5.3 AHS-DRASTIC Model ve Parametreleri	128
5.3.1 Yeraltı Suyu Derinliği (D)	132
5.3.2 Beslenme (R).....	133
5.3.3 Akifer Ortam (A).....	137
5.3.4 Toprak Bünyesi (S)	141
5.3.5 Eğim (T).....	143
5.3.6 Vadoz Zon Etkisi (I).....	144
5.3.7 Hidrolik İletkenlik (C).....	147
5.4 Cumaovası Havzası AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası	151
5.5 Kirlenebilirlik Modelinin Kontrolü.....	155
BÖLÜM ALTI - BÜTÜNLEŞİK YERALTI SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE DRASTIC MODELLE İLİŞKİSİ.....	161
6.1 Giriş.....	161
6.2 AHS Entegre Edilmiş Su Kalite Sınıflandırılması	162
6.3 Tahtalı Baraj Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi	166
BÖLÜM YEDİ-SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	180
KAYNAKLAR	184

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Amaç

Günümüzde su kaynaklarına olan gereksinim artan dünya nüfusu, gelişen endüstriyel ve tarımsal uygulamalar nedeniyle hızla artarken, iklim değişiklikleri, kullanılmış suların doğal ortamlara uygun olmayan koşullarda verilmesi, yüzey ve yer altı sularının kalitesini ve miktarını olumsuz etkilemektedir. Yeraltı sularına yönelik artan ilgi, aşırı çekim sonucu koruma kullanma dengesinin bozulmasına neden olmakta, insan faaliyetleri ve doğal kökenli kirlilik riskleri de bu kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir.

Sürekli artan nüfusu ile, 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 iline farklı kesimlerden içme ve kullanma suyu temin edilmektedir. Bunların başında ise İzmir çevresine yapılmış olan barajlar gelmektedir. En önemli baraj 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 planlaması zorunluluk haline gelmiştir.

Hidrojeolojik sistemin kontrolü açısından Tahtalı Baraj Havzası'nda yeraltı sularının kalitesinin belirlenmesi, beslenme ve boşalma ilişkilerinin saptanması, koruma-kullanma dengesinin belirlenmesi, kirlenebilirliğe karşı duyarlılığın ortaya konması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı, İzmir'in 40 kilometre güneyinde, Gümüldür Belediyesi'nin 5 kilometre doğusundaki Tahtalı Barajı'nın koruma alanlarını içine alan 550 km²'lik alana konumlandırılmıştır (Şekil 1.1). L18-a3, L18-a4, L18-d1, L18-d2, L18-d3, L18-d4 paftalarını kapsamakta ve içinde 38 yerleşim yeri bulunmaktadır. Bölgeye ulaşım İzmir- Aydın Otoyolu, İzmir-Aydın Devlet Karayolu üzerinden ve bu anayollara bağlı yol ağından yapılmaktadır (Şekil 1.2 ve Şekil 1.2).

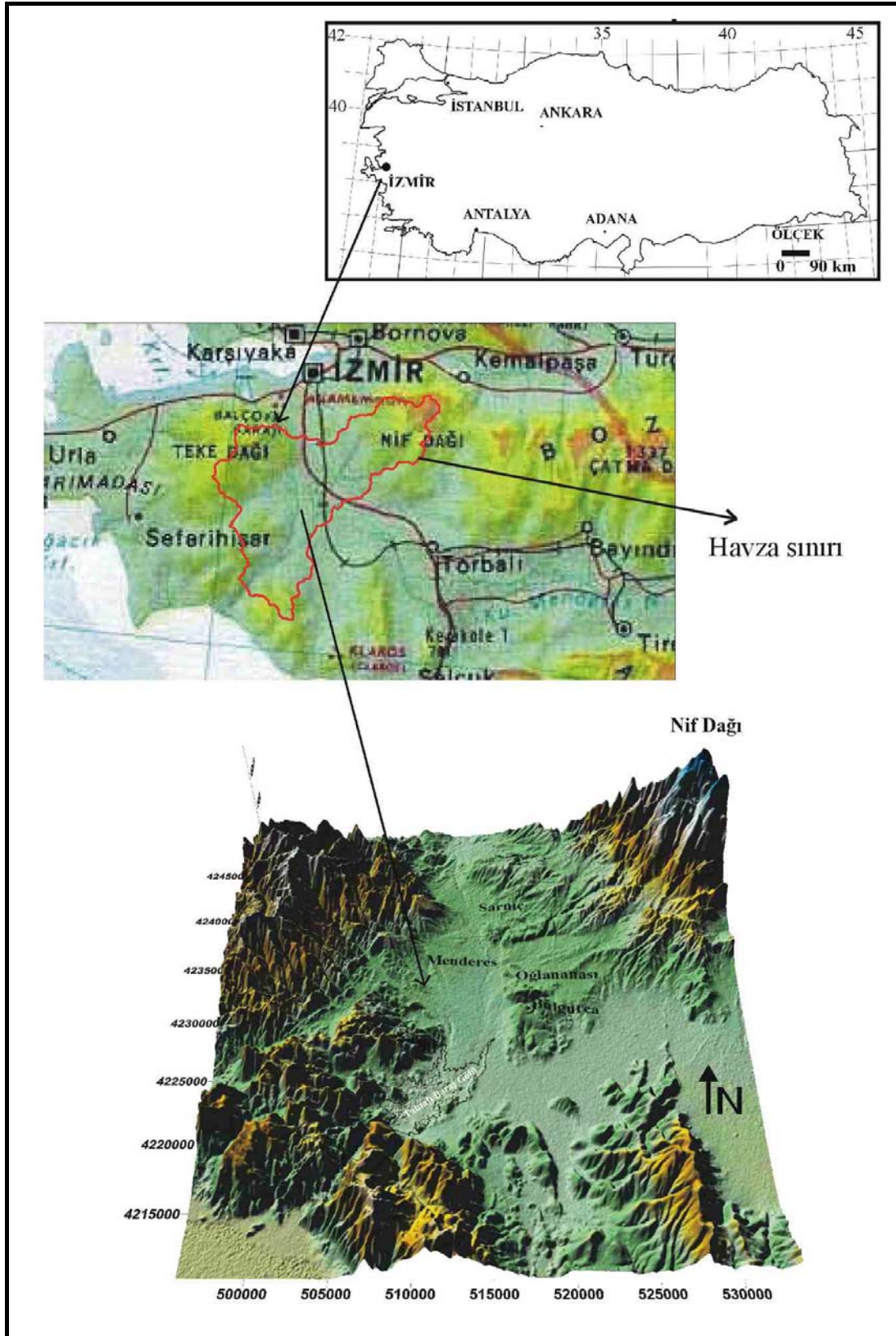
1.3 Coğrafya

1.3.1 Jeomorfoloji

Çalışma alanı, Tahtalı Barajı dolayında 0-100 m ile en düşük kota, KB'da Kemalpaşakarlığı tepe 1500 m ile en yüksek kota sahiptir. Çalışma alanında geniş yer kaplayan alüvyon genel olarak 0-250 m aralığında kalan kot içinde yayılım göstermektedir. KD'da Efemçukuru civarında 800 m yükseltiye, G'de ise 600 m yükseltiye ulaşmaktadır. Bölgede yüksek kesimleri mermer ve Neojen yaşlı kireçtaşları ile volkanitler oluşturmakta şistler ve alüvyon düşük kotlu alanları kaplamaktadır. Bölgede K-G ve KB-GD yönlü sık bir akaçlama ağı gelişmiştir ve Tahtalı Baraj Gölü'ne dökülmektedir. Çalışma alanında bulunan ve Tahtalı Baraj Gölü'nü besleyen başlıca yüzey suyu kaynakları Kona, Hırsız, Kocaçay, Sarıçay, Sandı, Deliömer, Çamurlu, Darıçay, Balaban, İzmirliboğazı ve Tahtalı dereleridir.

1.3.2 İklim ve Bitki Örtüsü

Cumaovası ve çevresi; yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan tipik Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. DMİ Güzelyalı meteoroloji istasyonu 1937- 2005 yıllarına ait verilere göre 68 yıllık yağış ortalaması 688,1 mm, yıllık sıcaklık ortalaması ise 17,7 °C'dir. Thorntwaite iklim sınıflamasına (Thorntwaite,1948) göre bölge kurak-yarı nemli, 3. dereceden mezotermal, yaz aylarında orta derecede su noksanı olan ve denizel şartlara yakın C₁ B₄' S₂ d iklim tipini yansıtmaktadır.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yerbulduru haritası



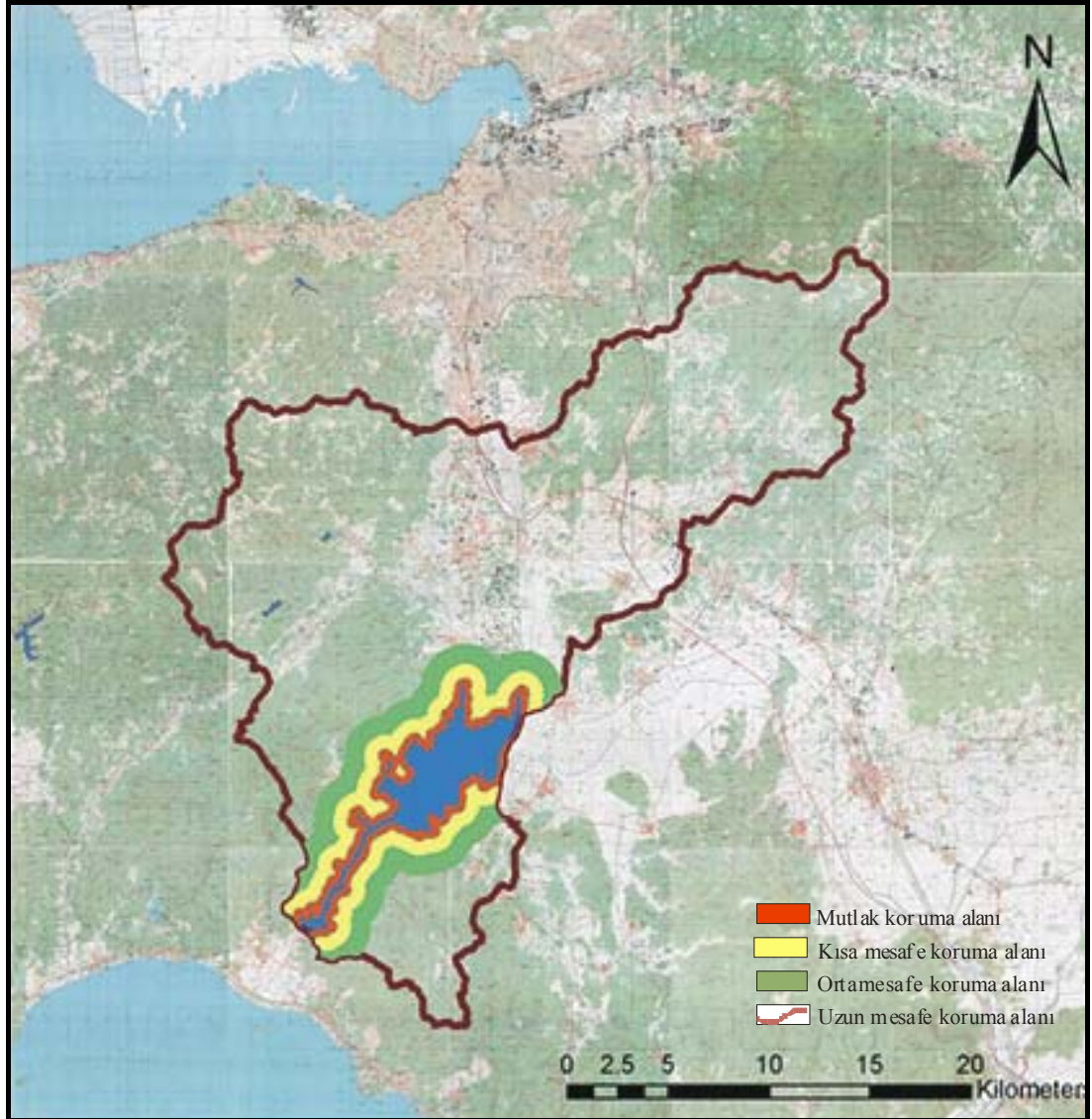
Şekil 1.2 Çalışma alanının ulaşım olanakları

Arazi için yapılan arazi kullanım haritasına göre, orman ve makilik alanlar havzanın % 60'ını, tarım alanları % 30'unu kaplamakta, seralar % 0,3, endüstriyel alanlar % 0,2, yerleşim alanları % 2'lik bir alan tutmaktadır. 2200 hektar yüzey alanına sahip Tahtalı Barajı, havzaya ait % 3 oranındaki su kütlesinin büyük bölümünü oluşturmaktadır. Havzada orman alanlarının büyük bölümü kızılçam ile kaplıdır. Bunun yanında maki ve fundalık türleri de geniş yer tutar. Genel olarak alanın orta kesimlerinde yer alan düz alanlar tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Tarım alanlarında ise kuru tarla, bağ ve meyvecilik, seralarda meyvecilik, sebzecilik ve çiçekçilik yapılmaktadır.

1.3.3 Tahtalı Baraj Havzası

Tahtalı Barajı'nın evsel, endüstriyel, tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atık sular ile kirlenmesini önlemek, toplum sağlığını korumak, su havzasının doğal potansiyelini en iyi şekilde değerlendirmek için 1/25000 ölçekli Çevre düzeni planı hazırlanmış ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na 16.01.1996 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Havzada yaşanan sorunlar ve gelişmeler nedeniyle 1998, 2002, 2003 yıllarında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na üç kez revizyon yapılmıştır. 1998 ve 2003 yılında yapılanlar mahkeme tarafından iptal edilmiştir. Şu an yürürlükte olan 2002 yılı 1/25000 ölçekli Çevre Düzeni Planı'dır.

Tahtalı Barajı Havzası'nda (Şekil 1.3) İZSU (İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi) tarafından kirlilik kaynaklarını kontrol etmeye ve azaltmaya yönelik pek çok ölçümler ve incelemeler yapılmaktadır. Bu ölçümler temel olarak noktasal kaynakları kontrol etmektedir. Bununla birlikte, kirlilik kaynaklarının büyük bölümü noktasal değildir. Noktasal olmayan kirlilik kaynakları daha çok tarımsal etkinliklerden ve yağış- akım özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak havza belirli bir kirliliğe maruz kalmaktadır. İZSU havzayı koruma amaçlı sosyal ve ulusal düzenlemeler için çaba harcamaktadır. İZSU "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" çerçevesinde, ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin her türlü kullanım amacıyla korunması, en iyi biçimde kullanımının sağlanması ve su kirlenmesinin önlenmesi ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi için, su kirliliğinin kontrolü esaslarının belirlenmesi için gerekli olan hukuki ve teknik esasları ortaya koymak amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Bilim adamlarının danışmanlığında havza koruma yönetmeliğinin revizyonunu yapmış, yönetmelik değişikliği ile ilgili İZSU yönetim kurulu kararı alınmış, genel kurul onayı ile 01.04.2002 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik hükümleri ve çevre düzeni plan kararlarına göre yasal uygulamalar Tahtalı Baraj Havzası'nda sürdürülmektedir. Söz konusu yönetmeliğin 16. ve 20. maddelerinde içme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel sularla ilgili kirliletme yasakları ve uygulanması gerekli esaslar düzenlenmiştir.



Şekil 1.3 Tahtalı Barajı koruma alanları (İZSU 2004)

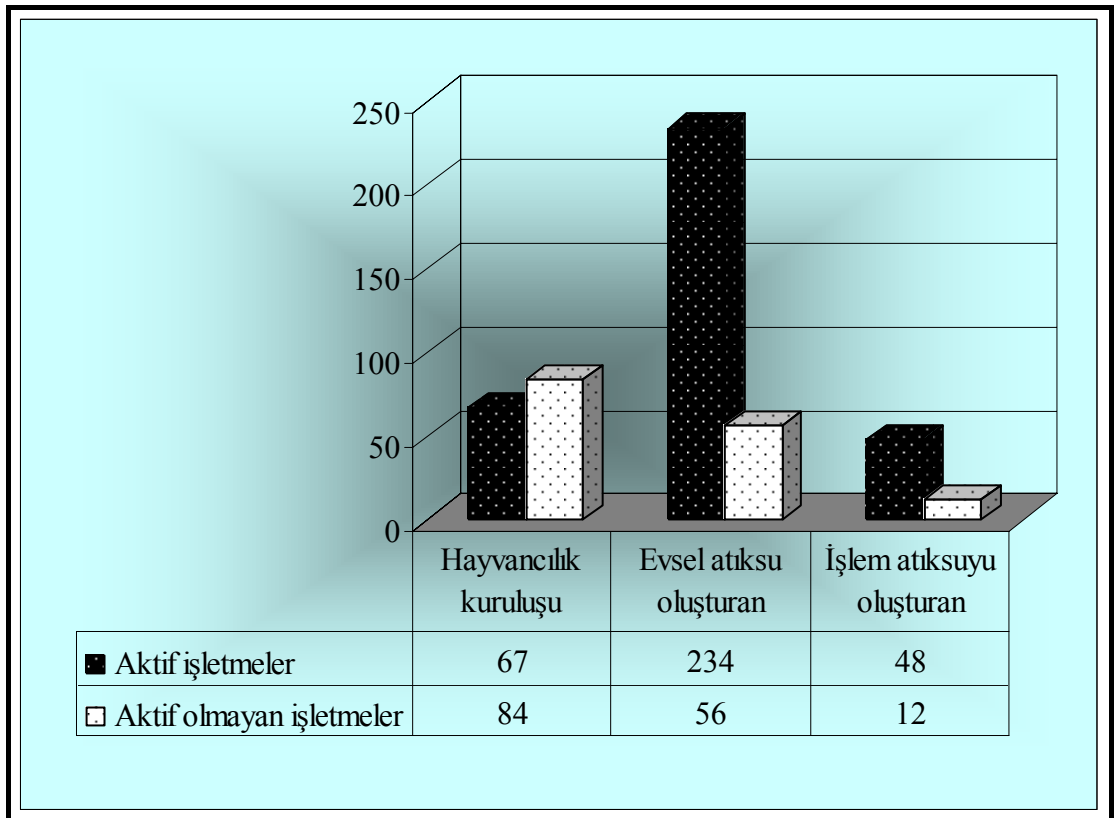
Tahtalı Baraj havzası için İZSU'nun hazırladığı yönetmeliğe göre, maksimum su seviyesinden itibaren 0-300 m mutlak koruma alanı (15 km²), 300 m – 1000 m kısa mesafeli koruma alanı (28 km²), 1000 m – 2000 m orta mesafeli koruma alanı (33,5 km²), 2000 m üstü uzun mesafeli koruma alanı (452,5 km²) olarak ayrıca dere mutlak koruma alanı 0-100 m (28 km²) olarak belirlenmiştir (Şekil 1.3).

Mutlak koruma alanı: Baraj gölünün maksimum su seviyesinden 300 m uzaklığa kadar olan bölümü kapsar, hiçbir yapıya izin verilmez. Sadece su sağlama projelerine izin verilebilir. Bu alanda havzada 48 aktif, 49 aktif olmayan endüstriyel faaliyet vardır. Aktif olan endüstri kuruluşları arasında yağ, plastik, mobilya, hayvansal ve

tarımsal ürünler, boya fabrikaları sayılabilir. Bunlar daha çok Kısıkköy, Oğlananası, Menderes, Dereköy, Akçaköy, Develiköy, Görece, Gölcükler, Yeşilköy’de yoğunlaşmıştır.

Kısa mesafeli koruma alanı: Mutlak koruma alanı sınırından itibaren başlar. Bu bölgede turizme ve endüstriyel etkinliklere izin verilmez. Çöp ve moloz birikintisine izin verilmez.

Havza içinde 10 aktif 7 aktif olmayan endüstriyel kuruluş (Şekil 1.4) bulunmaktadır. Aktif olanlar Pınar Su ve dokuz hayvan çiftliğidir. Bu çiftlikler Bulgurca, Değirmendere, Şaşal ve Küner’dir.



Şekil 1.4Tahtalı Baraj Havzası’ndaki aktif ve aktif olmayan işletmeler

Orta mesafeli koruma alanı: Kısa mesafeli koruma alanı sınırından 2000 m’ye kadar olan alanı içerir. Endüstriyel aktivitelere, yerleşime, seracılığa, hayvan çiftliklerine izin verilmez.

Havzada orta mesafeli koruma alanı içinde 12 aktif 3 aktif olmayan endüstriyel kuruluş bulunmaktadır. Aktif durumdaki endüstriyel kuruluşlar hayvan çiftlikleri, maden, su, makine endüstri dallarıdır. Bu kuruluşlar, Develiköy, Bulgurca, Değirmendere, Şaşal yerleşim yerlerinde kurulmuştur.

Uzun mesafeli koruma alanı: Yukarıda söz edilen koruma alanlarının dışında kalan su toplama havzasının tümü uzun mesafeli koruma alanıdır. Bu alan içindeki faaliyetlerden oluşan atık suların havza dışına çıkarılması gerekir. Hiçbir endüstriyel faaliyete izin verilmez.

Tahtalı Havzası uzun mesafeli koruma alanı içinde 284 aktif 224 aktif olmayan endüstri kuruluşu bulunmaktadır. Bu kuruluşlar Görece, Gölcükler, Gaziemir, Kısık, Oğlananası, Kaynaklar, Belenbaşı, Kırıklar, Sarnıç, Develiköy, Menderes, Akçaköy, Küner, Yeşilköy, Karaağaç'ta yer almaktadır. Bu kuruluşların çok az kısmı gerekli önlemleri almışlardır. Hayvan çiftliklerine bu yönetmelikle izin verilmemesine karşın, 62 tane hayvan çiftliği bulunmaktadır. Bu tesislerin bazılarının işletilmesi yasal değildir.

1.4 Çalışma Metodu

1.4.1 Arazi Çalışmaları

Tahtalı Baraj Havzasındaki yeraltı sularının özelliklerini saptamak amacıyla havza genelini temsil edebilecek kuyular arazi keşif incelemeleri ile örnekleme tarihinden önce saptanmış koordinatları GPS ile kaydedilmiştir. Yağışlı sezon örnekleri Mayıs ayında, kurak sezon örnekleri ise Ekim ayında önceden belirlenen 35 kuyudan alınmıştır. Örneklenen tüm noktalardan, portatif kitlerle, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve çözünmüş oksijen ölçümleri alınmıştır. Her noktadan temel anyon ve katyon ölçümleri için 500 ml'lik, metal analizleri için 50 ml'lik, izotop analizleri için de 50 ml'lik üç adet su örneği alınmıştır. Katyon örnekleme şişesi içerisine % 5'lik nitrik asit damlatılarak, su örneğinin pH değerinin 2'den düşük olması sağlanmıştır. Örnekleme yapılan kuyularda ayrıca yeraltı suyu derinlik ölçümü

yapılmıştır. Kuyuların genel özellikleri hakkında kuyu sahipleri ile görüşmeler yapılarak, kuyu derinliği hakkında bilgiler toplanmıştır. Bunlara ek olarak kuyu çevresindeki olası kirleticiler not edilmiştir.

1.4.2 Laboratuvar Çalışmaları

Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü su laboratuvarında iyon kromatografi cihazı (ICS 3000) ile temel anyon (Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^- , Br^-) ve temel katyon (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Li^+ , K^+ , NH_4^+) analizleri, endüktif eşleşmiş plazma cihazı (ICP) ile element (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn) analizleri, titrimetrik metod ile bikarbonat analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tahtalı Baraj Havzası yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesi amacıyla Türk Standartları Enstitüsü (İTASHY, 2005), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2003) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2004) içme ve sulama suyu kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

1.4.3 Büro Çalışmaları

Çalışma alanı ve uygulanan yöntemler ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır. Laboratuvar çalışması sonucu elde edilen yeraltı suyu analiz örnekleri tablolar halinde düzenlenmiş, bölgeye ait 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve jeoloji haritası ile akaçlama haritası sayısallaştırılmış, ArcGIS 9.1 ve ArcGIS 9.2 programında kullanılabilecek veri bankası oluşturulmuştur. Analiz sonuçları Aquachem 3.7 (Calmbach, 1997) ve PhreeqCi (Parkhurst and Appelo, 1999) programına aktarılmış, değerlendirmelerde kullanılan diyagram ve istatistikler elde edilmiştir. Çok kriterli karar analiz metodlarından Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Expert Choice (ECpro, 2000) bilgisayar programından yararlanılarak çalışma alanına ait AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritasına ait indeksler elde edilmiştir. AHS ayrıca havzanın yüzey sularının çoklu parametreler ile değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

1.5 Önceki Çalışmalar

Akartuna (1962), İzmir ve Manisa dolaylarında yaptığı çalışmada, bölgedeki Neojen tortullarını iki seri altında sınıflar: (1) kumtaşı, çakıltaşı, marn, kil, kireçtaşı, volkanit tüften oluşan “alt seri”; (2) kireçtaşı, marn, kil, volkanit tüften oluşan “üst seri”. Çalışmacı ayrıca Cumaovası çevresinde Pliyosen yaşlı kırmızı renkli kumtaşı, marn, çakıltaşı, kiltası ve güncel alüvyon çökellerinden bahseder.

Eşder ve Şimşek (1975), Çubukludağ grabeni olarak adlandırdığı ve bugün Cumalı ve Yeniköy arasında uzanan Miyosen çöküntü havzasını detaylı olarak çalışmış, bu havzaya ait birimlerin jeolojik özelliklerini ortaya koymuştur. Miyosen birimlerini alttan üste doğru; Bahçecik formasyonu, Yeniköy formasyonu ve Cumaovası volkanikleri olmak üzere üç grupta incelemiştir.

Özgenç (1978), Cumaovası çevresinde volkanizma ve jeokimya ağırlıklı yaptığı çalışmada volkanik kayaçlar, masif kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve alüvyon birimlerinden bahseder. Çalışmacı bölgedeki volkanizmanın KD uzanımlı çıkışlar boyunca gerçekleştiğini ve bunun KD uzanımlı tektonik hatlarla kontrol edildiğini söyler.

Kaya (1979), Ortadoğu Ege genelinde Neojen çökellerini epiklastik çakıltaşı, kireçtaşı ve killi oluşuklar, volkanoklastik türevler, riolit-riyodasit bileşimli tuf, bazalt-latitbazalt, riolit-riyodasit, andezit-latitandezit-riyodasit birimlerine böler. Çalışmaya göre, Ege bölgesi kendine özgü çöküntü-yükselti alanlarından oluşmuştur. Bunlar yaşlıdan gence: (1) KD ve K, (2) KB ve BKB, (3) BKB ve B arasında değişen gidişli oynak çizgilerle sınırlandırılmış olarak üç grup içerisinde toplanmıştır.

İnci (1991), Torbalı kuzeyindeki Miyosen yaşlı tortul istifini üzerinde yaptığı çalışmada, istifin fasiyesini ve çökeltme ortamına ait verileri sunmuştur. Bozdağ yükseltisinin batı bölümündeki (Torbalı kuzeyi) kuzey-kuzeydoğu gidişli graben çöküntüsünde 900 m den kalın Genç Miyosen tortul istifin yüzeylediği bu istif alttan üste başlıca çakıltaşı, kumtaşı ve algal kireçtaşı bölümlerinden oluşan çok sayıda

eksiksiz ve eksikli tortul döngülerin bileşiminden yapıları olduğu belirtilmiştir. Litofasiyes analizlerine göre normal faylar ile sınırlı bu çöküntü içindeki kıvrımlı kayalar, Nif Dağı ve Bozdağ yükseltisinden kaynaklanan çakıl ve kum ile aşırı yüklü taşkın ve/veya sel akımlarının tortul yükünün alüvyonel yelpaze ve düzlük ortamı koşullarında ani olarak çökmesi ile oluşmuştur. Bu taşkınlar sonunda, alüvyonel ortamlara bitişik ve algal kireçtaşları ile temsil edilen küçük değişken sınırlı ara sıra çalkantılı ve çevresinde bataklıkların oluşabildiği geçici tatlı su ortamları meydana gelmiştir.

DSİ (1998). İzmir içme suyu projesi Tahtalı Barajı kesin proje aşaması mühendislik jeolojisi raporunda, baraj yerinde alttan üste doğru mikaşistler, mermerler ve kireçtaşlarının yüzeyletiğini, maksimum su seviyesi altında sol yamaçta yalnızca mikaşistlerin yüzeyletiğini, sağ yamaçta mermerlerinde yüzlek verdiği belirtilmektedir. Kireçtaşlarının da sadece sağ yamaçta yüzeyletiği ve bütün bu birimlerin her iki yamaçta da yamaç içine eğimli oldukları kaydedilmektedir. Kayaçların değişik zamanlardaki tektonik olaylar nedeniyle muhtelif yönlerde kıvrımlanmış ve kırılmış oldukları, çatlakların genellikle kuvars, kil, limonit dolgulu oldukları belirtilerek, baraj yerinde eksende 256 m genişlikte ve maksimum 48 m derinlikte genel olarak orta sıkılanmalı az siltli-kil, çakıl ,kum şeklinde alüvyonun varlığına değinilmiştir. Yamaçta ve alüvyonda toplam derinliği 1465 m'ye ulaşan 31 sondaj kuyusu açılmıştır. Basınçlı su tecrübelerine göre,yamaçları oluşturan kayaçların geçirimsizlik katsayısı 1×10^{-4} , 1×10^{-5} m/s, serbest su tecrübelerine göre alüvyonun geçirimsizlik katsayısı 1×10^{-2} . 1×10^{-3} m/s olduğu bulunmuştur.

DSİ tarafından 1992-2000 yılları arasında, İzmir- Menderes Bulurca, Değirmendere, Oğlananası, Torbalı-Yeniköy Toprak Sulama Kooperatifleri için yapılan hidrojeolojik ve sondaj çalışmalarında bölgedeki kuyulara ait statik ve dinamik seviyeler belirtilmiş, akifer olabilecek kaya birimleri, Kuvaterner yaşlı alüvyon, Neojen yaşlı çakıltaşları ve kumtaşları olarak ayırtlanmıştır. Bölgedeki çeşitli sulama kooperatifleri için açılan kuyulara ait kuyu logları, su kalitesine ilişkin sınıflamalar raporlarda verilmiştir.

Şimşek (2001), Torbalı ve çevresinde yapmış olduğu jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda, temel, metamorfik şist ve mermer birimlerinin oluşturduğunu, bunların üzerine bindirme ile Kretase yaşlı İzmir Filişi biriminin geldiğini, Neojen Kıltaşı-Çakıltası ve Killi kireçtaşlarının açısal uyumsuzlukla bütün birimleri üstlediğini belirtmektedir. Torbalı Havzası 'nda güncel alüvyon kalınlığının 60-80 m olduğunu ve yeraltı suyu potansiyeli açısından oldukça verimli olduğunu söylemektedir. Torbalı havzası'nda yeraltı su seviyesinin kurak dönemde 32 m, yağışlı dönemde 26 m arasında değişim gösterdiğini, yeraltı suyu kalitesi açısından suların; içilebilir, tarımda ve sanayide kullanılabilir sular sınıfında olduğunu belirtmektedir.

Şimşek (2002), Torbalı Ovası'nda katı atık yer seçimine yönelik hidrojeolojik incelemede, Saibler kil ocakları ve çevresinin yeraltı suları açısından kısıtlı olduğu, geçirimsiz kaya özelliği gösterdiğini; diğer litolojik birimlerin geçirimli ve tamamının serbest akifer özelliğinde olduğunu. Dolayısıyla yeraltı suyu açısından verimli, atık depolama için uygun olmadığını kuzeydeki 300 m kalınlık ve 1×10^{-10} m/s permeabilite katsayısına sahip Neojen kıltaşlarının katı atık depolama için uygun olduğunu saptamıştır.

Genç ve diğer. (2001), Neojen birimlerinin yayılım sunduğu alanı Çubukludağ grabeni olarak tanımlar. Çalışmacılara göre, sol yönlü doğrultu atımlı Orhanlı Fay zonu Çubukludağ grabenini batıdan sınırlar ve paralelindeki Yeniköy ve Göllükaya fay zonları ile birlikte Neojen volkano-sedimanter istifinin oluşumunu denetler. Çalışmacılar bu istifi alttan üste; temel kayalarla tektonik dokanıklı olan, laküstrin fasiyeste çökelmiş, mikaca zengin kumtaşı, gri renkli silttaşı ve sarı renkli bitümlü şeyl bileşimli Çatalca Formasyonu; yüksek enerjili ortamda çökelmiş kırmızı renkli çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan Ürkmez Formasyonu; düşük enerjili gölsel fasiyes ürünü, alttan üste doğru kırmızıdan sarıya renk alan, gastropod ve lamelli branşça zengin, kireçtaşı, fluviyal çakıltası ve linyit mercikleri içeren marn, şeyl, kıltaşı ve silttaşından yapılmış Yeniköy Formasyonu; volkanik kayalardan oluşan Cumaovası volkanikleri olarak ayırtlamıştır.

Boyacıoğlu (2007), Tahtalı Baraj Havzasında, çok yönlü istatistiksel yöntemler ile su kirlilik kaynaklarının değerlendirilmesi konusundaki çalışmada yöntemin, su

kalitesinin karmaşık yapısını anlamak ve su kalitesi önceliklerini saptamada kullanılabileceğini belirtmektedir.

Mutlu (2004), Dokuz Eylül Üniversitesi'nde yaptığı yüksek lisans tezi kapsamında, İzmir ilinin yaklaşık 25 km güneybatısında yeralan Efemçukuru Köyü ve çevresinin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bölgeden su ve dere sediment örnekleri almıştır. Senozoyik yaşlı riyolit porfir daykları boyunca bir hornfels zonu geliştiğini ve zon boyunca hidrotermal Pb, Cu, Zn, Mn, Au, Ag ve Fe cevherleşmesi bulunduğunu belirtmektedir. Bölgedeki en genç birimi Kuvarterner yaşlı alüvyonun oluşturduğunu, bölgede bir altın madeninin bulunduğunu ve Eldorado Şirketi'nin yan kuruluşu olan Tüprag Metal Madencilik San. ve Tic. Ltd Şirketi tarafından işletildiğini bildirmektedir. Madenin rezervi yaklaşık olarak 2.700.000 ton cevher olarak belirtilmiş, ortalama tenörün 13 – 14 g/ton olduğuna değinilmiştir.

Uzel (2007), Cumaovası (Menderes) Havzasının Kuvarterner Jeolojisi ve aktif tektoniği adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, havzaya ait çökellerin birbirinden yersel uyumsuz bir dokanakla ayrılan iki farklı alüvyonal birim ile karakterize olduğunu, Görece formasyonu ve Alüvyon birimleri olarak adlandırılan bu alüvyonal çökellerin, Menderes masifine ait metamorfik kayalar ve İzmir-Ankara Zonu ile Neojen volkano-sedimanter birimlerine ait kaya topluluklarının üzerinde geliştiğini belirtmektedir.. Tahtalı Baraj Havzasının batı sınırındaki fayların normal ve/veya ters bileşenli doğrultu atımlı faylar iken havzanın kuzey ve güney sınır fayları sol doğrultu atım bileşenine sahip verev-normal atımlı fay karakterinde olduğu belirtilmektedir. Buca, Değirmendere, Orhanlı, Yeniköy ve Künerlik fayları olarak haritalanan bu ana faylar boyunca elde edilen kinematik verilerle Pliyo-Kuvarterner döneminde Cumaovası çevresinde: KKD-GGB yönlü açılma ; BKB-DGD yönlü sıkışma, KD-GB yönlü açılma ; KKB-GGD yönlü açılma ve BGB-DKD yönlü sıkışma gerilmeleri olmak üzere üç farklı gerilme tipinin varlığı belirtilmektedir.

BÖLÜM İKİ

TAHTALI BARAJ HAVZASI (İZMİR) JEOLJİSİ

2.1 Giriş

Çalışma alanı ve çevresi bölgede yaygın olarak bilinen Mesozoyik yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaçları ile Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi kuşağı üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Menderes Masifi alanın güney kesimlerinde yüzlek vermektedir ve bölgesel metamorfizma özelliklerini yansıtan gnaysik granitler, mika-şistler, kalk-şistler ve masif mermerlerden oluşmaktadır (Erdoğan ve Güngör, 1992). Temel birimler üzerine İzmir-Ankara Zonu'na ait birimler bindirme fayı ile gelmektedir (Erdoğan, 1990 a).

Üst Kretase-Paleosen yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaları tektonik melanj özelliği taşımakta, kumtaşı-şeyl, spilit, serpentinit ve çörtlerle temsil edilen tektonik dilimler ile çeşitli boylardaki kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasında kalan bölümü Erdoğan (1990 a) tarafından Bornova Karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Karaburun kuşağı İzmir-Ankara Zonu'nun batı ucunda bulunur ve Karbonifer yaşlı kireçtaşları ile çok kalın bir Mesozoyik istif ile temsil edilmektedir. Mesozoyik istif altta pelajik çökeller ve kırıntılı tortullar, üstte ise platform karbonatlardan oluşmaktadır (Erdoğan, 1990 a). Karaburun kuşağı İzmir-Ankara Zonu içine ilerlemiş büyük bir napı temsil etmektedir ve Bornova Karmaşığı içine çeşitli boylarda kireçtaşı blokları vermiştir (Erdoğan, 1990 b).

İzmir ile Seferihisar arasındaki dağlık alanlarda Bornova Karmaşığı'na ait kayalar yüzlek vermektedir ve batıda Urla Grabeni'ni doğuda Çubukludağ Grabeni'ni dolduran gölsel sedimenter kayalar ve volkanik kayalar ile sınırlanmaktadır. İzmir yöresinde Neojen yaşlı gölsel sedimenter kayalar ve volkanik kayalar Menderes Masifi metamorfiklerini, İzmir-Ankara Zonu kayalarını ve

Karaburun istifini açısal uyumsuz bir dokanak boyunca örtmektedir. Bahsedilen tüm birimler üzerine ise Kuvaterner yaşlı alüvyon gelmektedir (Şekil 2.6).

2.2 Kaya Birimleri

Cumaovası havzasının kayaları; Menderes Masifi, Bornova Karmaşığı ve Neojen istifini oluşturan Çatalca, Ürkmez, Yeniköy formasyonları ile Cumaovası volkanikleridir. Aşağıda bu kaya birimlerine ait litolojik özellikler ve dokanak özellikleri arazi gözlemleri ve literatür araştırmasına dayanarak sunulmuştur.

2.2.1 Menderes Masifi

Menderes Masifine ait metamorfik birimler çalışma alanının temelini oluşturmaktadır. Menderes Masifi genel olarak, gnays türünde yüksek derecede metamorfik kayalardan oluşan çekirdek olarak tanımlanan rekristalize kireçtaşları, metakuvarsit, fillit, şist içerikli örtü kayalarından yapılıdır (Hetzl ve diğ., 1995). Genel olarak Menderes Masifine ait kayalar, Cumaovası Havzası'nın güneyinde ve Gümüldür, Torbalı, Kuşadası körfezi arasında gözlenmekte (Şekil 2.4) fillit, şist (Şekil 2.2) ve mermerlerden (Şekil 2.1) oluşmaktadır. Menderes Masifi tektonik bir dokanakla Bornova karmağı tarafından üstlenmektedir (Erdoğan, 1990). Eosen'e kadar çıktığını belirten çalışmalar da (Özer ve Sözbilir, 2003) vardır.

2.2.2 Bornova Karmaşığı

Bornova Karmaşığı aşırı deforme olmuş kumtaşı- şeyl matriksten oluşmuş filiş fasiyesinde kayalar ve bu matriks içinde olistolit konumlu boyları 20 km'den fazla Karaburun kuşağına ait kireçtaşı bloklarından oluşmuştur (Erdoğan 1990). Bornova Karmaşığının alt dokanağı, Mesozoik yaşlı birimler ile bindirme faylıdır. Çalışma alanında Değirmendere kuzeyinde yüzeylemektedir (Şekil 2.3). Erdoğan (1990) tarafından yapılan çalışmada Bornova Karmaşığı olarak tanımlanan birime

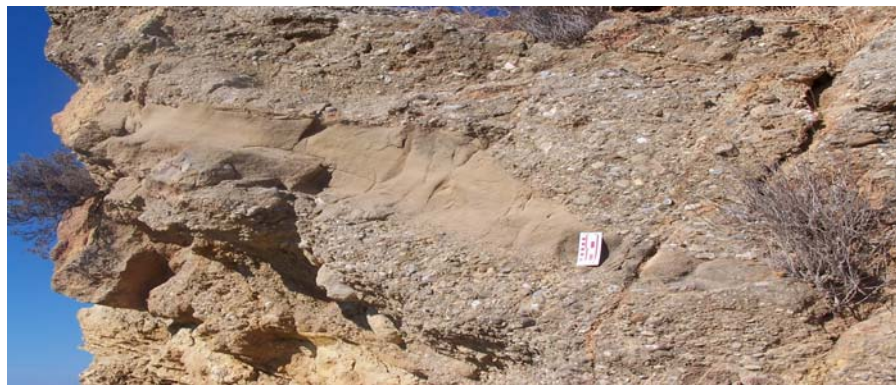
Globotruncana lapparenti, Glb. Cf fornicata fosillerine göre Üst Kretase- Paleosen yaşı verilmiş ve Neojen istif tarafından uyumsuz üstlendiği belirtilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.1: Menderes Masifine ait mermerler



Şekil 2.2: Menderes Masifine ait şistler



Şekil 2.3: Bornova Karmaşığı

2.2.3 Neojen İstifi

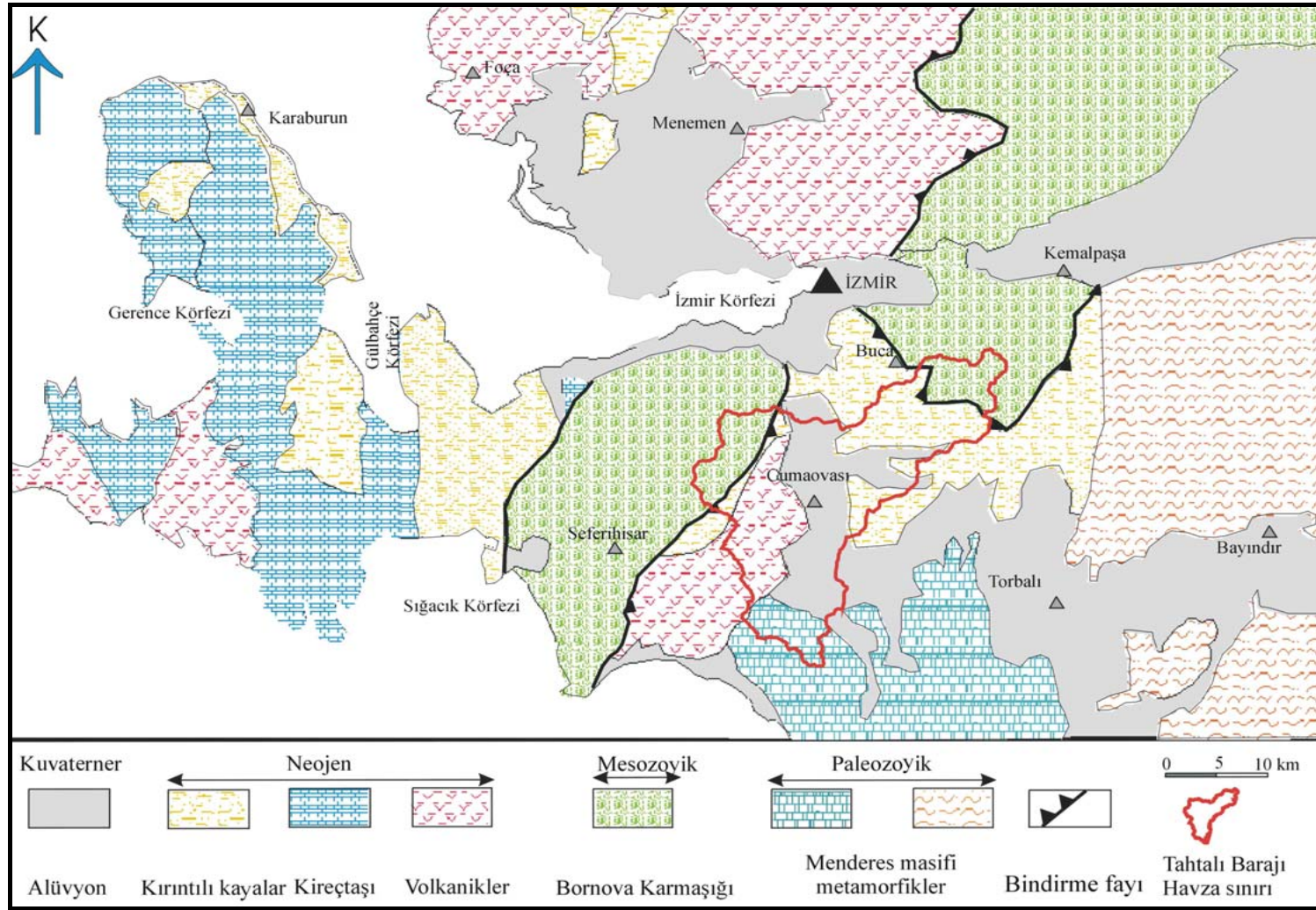
Çalışma alanında geniş yer tutan Neojen istifte kırıntılı-karbonat-vulkanik kayalar bulunmaktadır. Neojen istif (Şekil 2.7) önceki çalışmalara göre Çatalca formasyonu, Ürkmez formasyonu, Yeniköy formasyonu ve Cumaovası volkanikleri sırası ile anlatılmıştır.

2.2.3.1 Çatalca Formasyonu

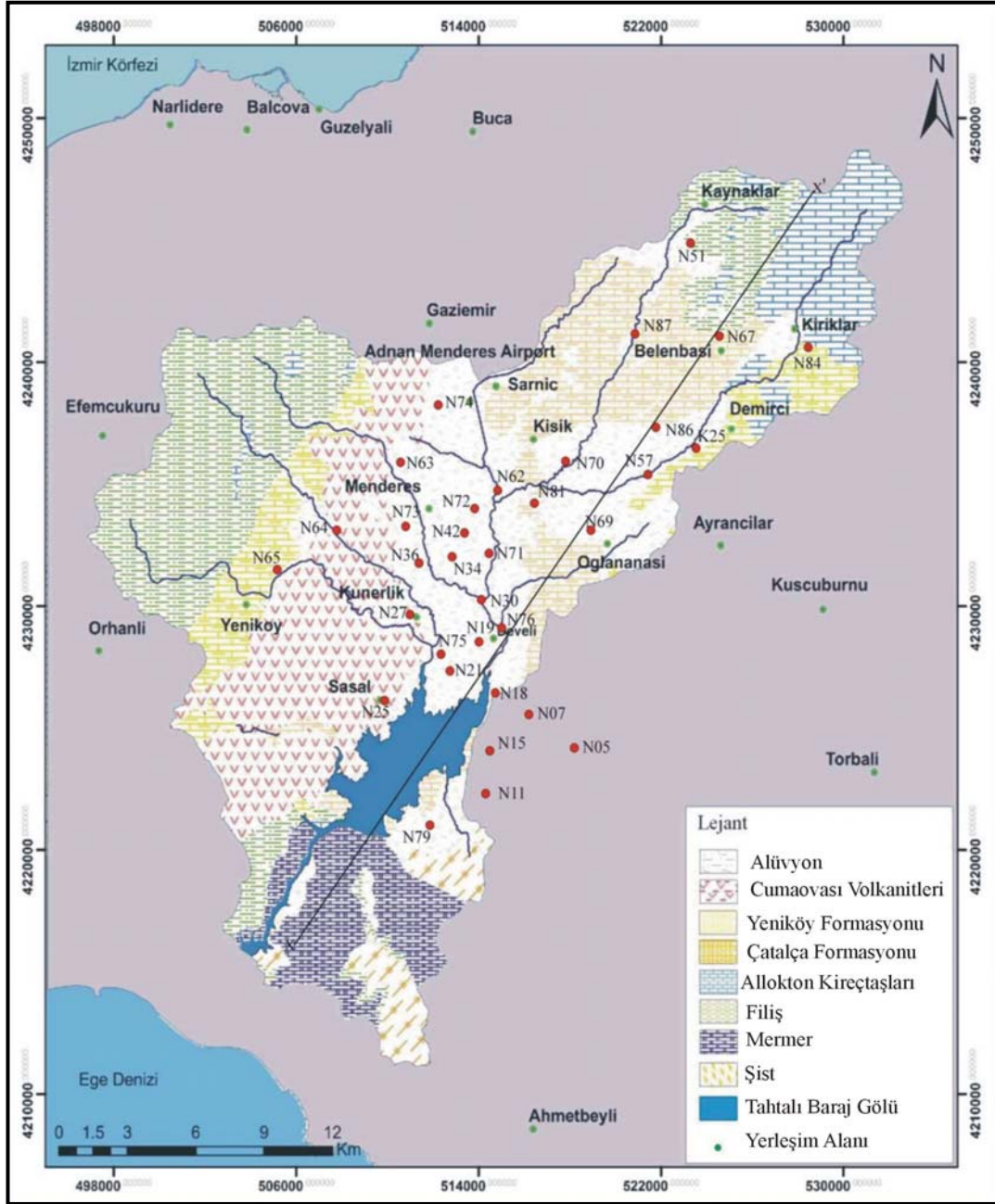
Genel olarak silttaşı ve kumtaşlarından oluşan birim Neojen istifin en alt serilerini oluşturur. Birim çalışma alanında Çatalca ve çevresinde gözlenir. Genel litolojik özelliklerine bakıldığında ince tabakalı ve ince taneli malzemelerin karbonat çimento ile tutturulmuş olduğu görülür. Kumtaşı tabakaları arasında az miktarda kırmızı çamurtaşı ara katmanları içeren sarı kumtaşı tabakaları ve yukarı doğru dereceli olarak ince katmanlı gri silttaşları bulunmaktadır (Şekil 2.3). Yersel 10-75 cm kalınlığında linyit katmanları içerir. Çatalca Formasyonu tatlı su faunası ve yukarıda açıklanan litolojik özellikleriyle gölsel fasiyes olarak yorumlanır. Birim içerisindeki çamurtaşları karbonatça zengindir ve gri renkli fosilli kireçtaşı lensleri içerir. İstifin üzerinde konglomera lensleri bulunur ve olası kanal dolgusunu temsil eder (Genç ve diğer. 2001). Çalışma alanında Çatalca ve Yeniköy batısında Karahayıt tepe ve Kızılgeliş tepe doğu yamaçlarında Balaban ve Sarımustafa dereleri boyunca gözlenir. Balaban deresi boyunca birimin toplam kalınlığı 120 m kadar ulaşmakta ve tabandan türeyen çakıltaşları ve demir oksitli bir düzey bulunur (Genç ve diğer. 2001). Yazarlar tarafından bölgede yapılan çalışmalarda benzer istiflere dayanarak Alt-Orta Miyosen yaşı verilmiştir.

2.2.3.2 Ürkmez Formasyonu

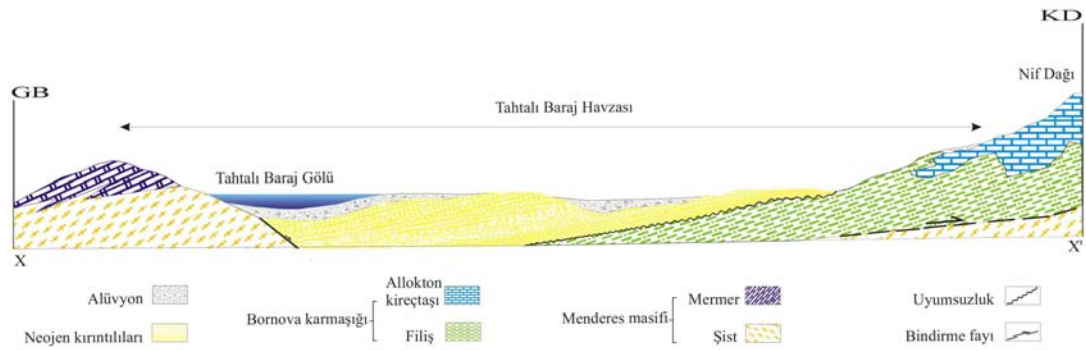
Çalışma alanında Çatalca Formasyonu üzerinde kaba taneli kayalardan oluşan Ürkmez Formasyonu bulunur. Birim, kırmızı renkli bloklar, pembe konglomeralar ve ardışık olarak kumtaşı ve çakıltaşlarını (Şekil 2.8) kapsar.



Şekil 2.4 İzmir ve çevresinin genel jeoloji haritası (Yılmaz ve diğer., 2000 ve Şimşek, 2002'den değiştirilerek)



Şekil 2.5 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (MTA haritaları değiştirilerek)



Şekil 2.6 Çalışma alanına ait jeolojik kesit

YAŞ	BİRİM	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
Kuvaterner	Alüvyon	~ 15 m		Alüvyon yelpazesi ve akarsu çökelleri: Pekleşmemiş çakıllı kum, kumlu ve killi çakıl <i>Yersel uyumsuzluk</i>
Pliyo-Kuvaterner	Görece Formasyonu	~ 50 m		Alüvyon yelpazesi çökelleri: Kırmızı, çapraz katmanlı, orta- kalın katmanlı çakıllı kum <i>Uyumsuzluk</i>
Alt Miyosen - Üst Pliyosen	Cumaovası Volkanikleri	~ 400 m		Riyolit: tuf, lav ve perlit
	Yeniköy Formasyonu	~ 130 m		Sarı, ince-orta katmanlı killi kireçtaşı, Sarı- pembe, ince katmanlı kumtaşı, çamurtaşı ve silttaşı
	Ürkmez Formasyonu	~ 170 m		Kırmızı çakıltası ve kumtaşı ardalanması İnce-orta katmanlı algal, mikritik kireçtaşı
	Çatalca Formasyonu	120 m		Tabanı aşınmalı, gri, aramadde destekli, masif çakıltası Gri, yeşil, ince laminalı şeyl, silttaşı ve çamurtaşı Bitümlü şeyl, linyit katmanları <i>Uyumsuzluk</i>
Mesozoyik	Bornova Karmaşığı			Yeşil, koyu yeşil, sarımsı kahverenkli, laminalı şeyl ve yeşilimsi sarı meta kumtaşları ardalanmalı, gri- beyaz renkli karstik yapıda Triyas ve Liyas yaşlı kireçtaşı olistolitleri içerikli <i>Bindirme Fayı</i>
Paleozoyik	Menderes Masifi			Yeşil, sarı, kahverenkli, ince laminalı, metakuvarsit, kloritist, mikaşist

Şekil 2.7 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (Uzel, 2007'den değiştirilerek)

Temelde konglomeralar kötü boylanmış olup, birimi oluşturan malzemenin büyük bölümü Bornova Karmaşığında ve metamorfik kayalarından oluşmaktadır. Ürkmez formasyonunun yaşı Kaya (1981) tarafından Miyosen olarak, Genç ve diğer. (2001) tarafından ise Orta- Geç Miyosen olarak verilmektedir.



Şekil 2.8 Ürkmez Formasyonuna ait sarımsı pembe kumtaşları ve gri çakıltaşları

2.2.3.3 Yeniköy Formasyonu

Açık renkli marn, şeyl ve marnlı kireçtaşı ile yersel ara katmanlı olarak ince taneli kumtaşı ve kıltaşı içerir. Yeniköy formasyonu çalışma alanının kuzey ve kuzeybatısında gözlenmektedir . Yeniköy, Bahçecik, Dereköy ve Gaziemir civarında ince kırıntılı baskın gözlenirken Pancarköy, Kısıkköy, Buca civarında ince kırıntılı ara katkılı baskın karbonatlar olarak gözlenir. Yeniköy güneydoğusundan Akyar tepelerine doğru yaklaşık 130 m kalınlık sunar. Tabanda kırmızımsı sarı renkli çakıltaşları ile başlayıp yeşil renkli kıltaşı- kumtaşı ardalanması ile sürer ve üstte yeşil renkli kıltaşı, sarımsı beyaz mikritik kireçtaşları (Şekil 2.9) ve killi kireçtaşlarına geçer (Uzel, 2007). Yeniköy Formasyonunun gastropoda ve

lamellibranşca zengin tatlısu faunası, düşük enerjili gölssel ortamda depolanmayı gösterir (Genç ve diğer. 2001). Yeniköy formasyonu üst kesimlere doğru tuf ara katkılar ile uyumlu Cumaovası volkaniklerine geçer.



Şekil 2.9 Gri renkli orta katmanlı kireçtaşları

2.2.3.4 Cumaovası Volkanikleri

Cumaovası volkanikleri, asidik volkanik aktivitenin piroklastik kayaçlarını kapsar. Riyolitler güneyde Ege Denizi sahilinden kuzeyde Cumaovası'na kadar 25 km uzanım gösteren Çubukludağ'da yaklaşık 3 m genişliğinde K-G yönlü uzanırlar. Tüfler Yeniköy Formasyonu sedimentleriyle geçişli göl basenine yerleşmişlerdir. Birim, beyaz ve bej arasında renge sahip, ince katmanlı volkanik külleri ve lav kırıntılarını içerir (Şekil 2.10). Ayrıca, piroklastik akıntı çökelleri tarafından üstlenir. Piroklastik akmaya ek olarak bölgesel olarak gelişmiş obsidyen akmlar bulunur ve çoğunlukla Karadağ Tepe'nin doğu kesimlerinde gözlenir. Riyolitlerin ayrışması bölgede önemli oranda perlit oluşumlarına neden olmuştur. Cumaovası volkaniklerinin yaşı, K/Ar yaş tayinlerine göre (Borsi ve diğer., 1972; Özgenç, 1978) 9-11,5 my. stratigrafik konumuna göre ise (Genç ve diğer., 2001) Üst Miyosen- Alt Pliyosen olarak verilmektedir.



Şekil 2.10 Cumaovası volkanikleri ve tüfler

2.2 Alüvyon

Cumaovası havzasında çöküntü alanları içerisinde Kuvaterner yaşlı güncel alüvyon malzemeleri gözlenir. Alüvyon genel olarak iri ve orta taneli çakıl ve kum boyutunda malzemeden oluşur (Şekil 2.11). Alüvyonel malzemenin kökeni; Bornova Karmaşığı, Ürkmez ve Çatalca formasyonu türü kayalardan koparak rüzgâr ve su yoluyla ortama taşınan ve depolanan malzemedir (Uzel, 2007). Dere yatakları içerlerinde gözlenen alüvyon istifte altta kaba taneli blok ve çakıl boyutunda olan malzeme üste doğru incelerek kum ve silt boyutuna iner. Malzemeler genel olarak kötü derecelenmiş ve kötü boylanmıştır. Menderes ilçesi ve çevresinde yaygın olarak gözlenen alüvyon, Buca, Kısıkköy ve Değirmendere çevresinde özellikle dere yataklarında gözlenmektedir.

2.3 Yapısal Jeoloji

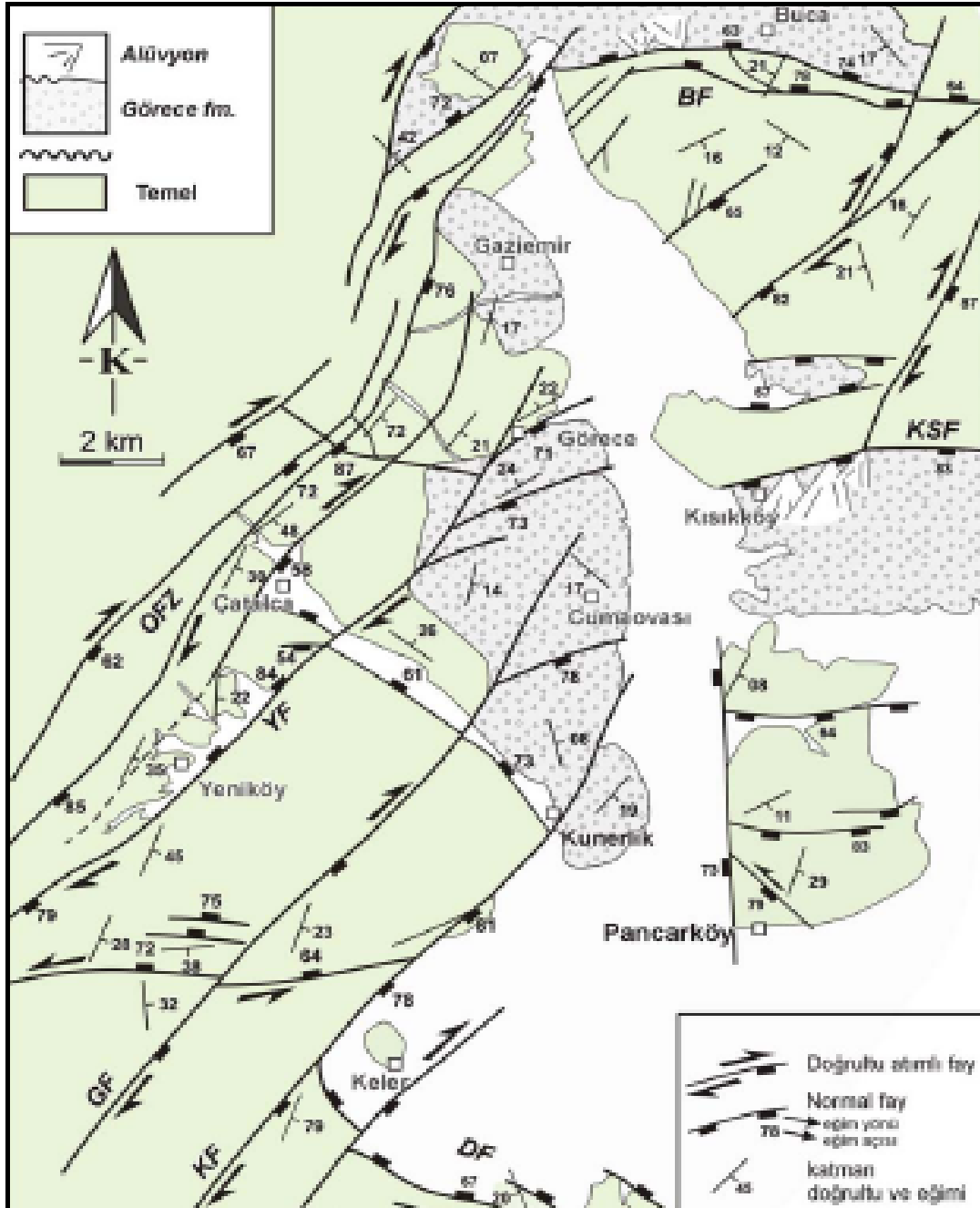
Çalışma alanındaki kayalar geçirdikleri deformasyon şiddetine bağlı olarak kırılanma ve faylanma izlerine sahiptir. Özellikle, Bornova Karmaşığı ile Menderes Masifi metamorfiklerii arasındaki bindirme fayı en önemli yapısal unsuru oluşturur ve KD-GB yönlü olarak birim sınırlarını takip eder. Diğer taraftan çalışma alanı bir horst- graben sistemi içerisinde olup bir takım doğrultu atımlı faylarda Seferihisar Horst'u şekillenmiştir. Bu bağlamda KD-GB doğrultulu doğrultu atımlı faylar ve D-B doğrultulu normal faylar Cumaovası havzasını denetleyen faylardır (Uzel, 2007).



Şekil 2.11 Alüvyon malzemenin genel görünümü

Çalışma alanında yapılan jeolojik çalışmalarda havzanın tipik olarak çek ayır türü bir gerilme stresi altında olduğu, KD-GB yönlü açılma gerilmesi, KKB-GGD yönlü açılma ve BGB-DKD yönlü sıkışma gerilmelerinin havzayı denetlediğinden bahsedilmektedir (Uzel ve Sözbilir, 2005a ve b).

Çalışma alanında yaygın gözlenen Neojen serilerde killi kireçtaşları hariç diğer kayalarda yapısal unsurlar fazla izlenememiştir. Özellikle kilaşlarının alterasyonu nedeniyle katman doğrultu ve eğimi kaybolmuştur. Killi kireçtaşlarında ise aynı şekilde ayrışmaya bağlı olarak bazı yapısal unsurlar gözlenmemesine rağmen, kırık ve çatlak gibi ikincil gözeneklikler izlenmiştir (Uzel, 2007).



Şekil 2.12 Cumaovası ve çevresinin yapısal haritası OFZ;Orhanlı fay zone, YF: Yeniköy fay zone, GF: Göllükaya fayı, KF: Künerlik fayı, BF: Buca fayı, KSF: Kısık fayı (Uzel, 2007)

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLOJİ

3.1 Giriş

Türkiye'nin batı kesiminde Tahtalı Baraj Havzası İzmir ili için çok önemli bir yere sahiptir. Bu havzadan İzmir ili içme ve kullanma suyu %34 oranında sağlanmaktadır. Bu nedenle havzanın hidrojeolojik yapısının ortaya konması amacıyla bir dizi çalışma yapılmıştır. Yapılan hidrojeolojik çalışma sonucunda çalışma alanında yüzey ve yeraltı suları olmak üzere iki su sistemi belirlenmiştir. Yüzey suları çalışma alanının güney doğusundan havza içerisine akarak Tahtalı Baraj'ını beslemektedir. Bu dereler çoğunlukla mevsimsel dereler olup yaz aylarında kurumaktadır. Diğer bir su sistemi ise yeraltı sularıdır. Çalışmanın ana konusunu oluşturan bu sistemin araştırılması için mevcut kuyulardan yeraltı su seviye ölçümleri alınarak, yeraltı suyu akım yönü, akım hızı ve akiferler belirlenmiştir. Meteorolojik veriler ışığında bölgeye düşen yıllık yağışlar değerlendirilmiş bölgede su bütçesi yapılmıştır.

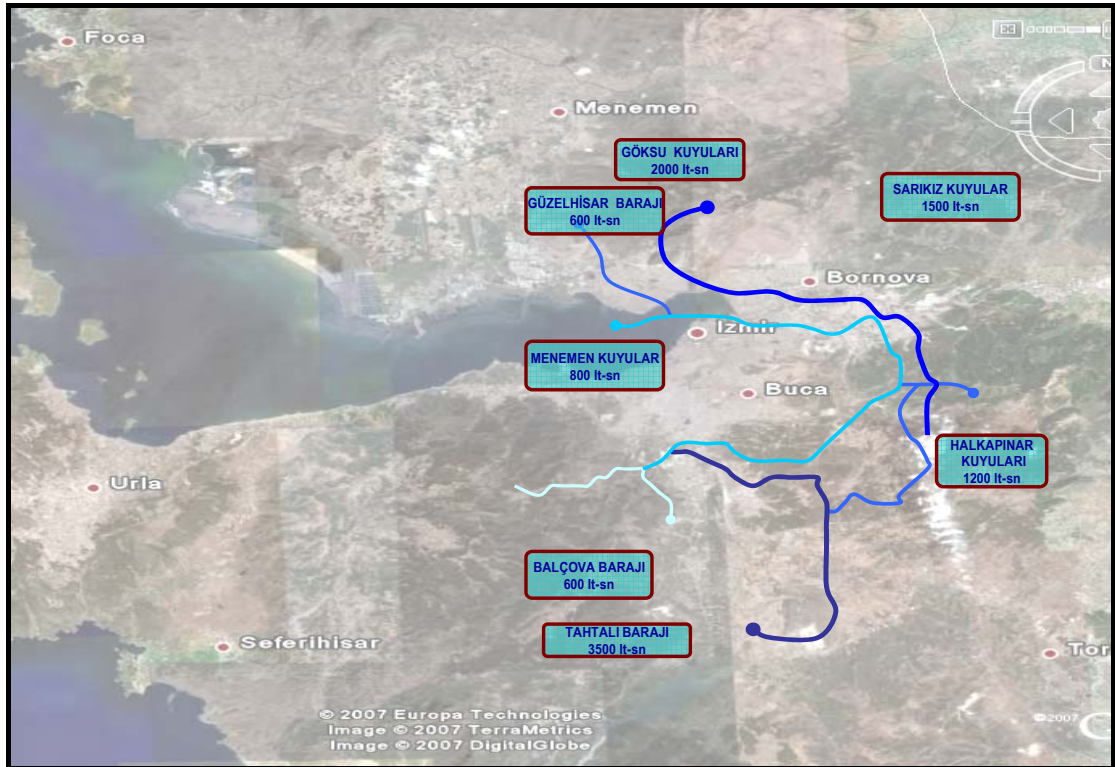
3.2. Tahtalı Baraj Havzası

Yeraltı suları İzmir'in içme suyu gereksiniminin büyük bölümünü karşılamaktadır. Şehrin su tüketiminin yaklaşık %65'i 98 kuyudan sağlanan yeraltı suları tarafından karşılanmaktadır. İzmir'in su gereksinimi kuzeyindeki Göksu, Sarıkız, Halkapınar, Çamdibi, Pınarbaşı, Menemen ve Çavuşköy derin kuyularından ve güneyindeki Tahtalı, Balçova ve Güzelhisar Barajı'ndan (Şekil 3.1) sağlanır (İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi, 2003). İzmir'in içme suyu kaynakları Tablo 3.1'de listelenmiştir. Tabloya göre; toplam yeraltı suyu kaynakları 133,6 km³/yıl, toplam yüzeysel su kaynakları 73,2 km³/yıl'dır. 2005 yılı verilerine göre İzmir su gereksiniminin % 34,49'u Tahtalı Barajı tarafından karşılanmaktadır (Tablo 3.1). Göksu kuyuları 2003- 2005 yılları arasında en büyük su sağlama yüzdesine sahip iken günümüzde Tahtalı Barajı'na ait yüzde değeri artmıştır (Şekil 3.2). Tahtalı Barajı yıllık ortalama 162 milyon m³ akıma ve 550 km² drenaj ağına sahiptir. Baraj gölü 25

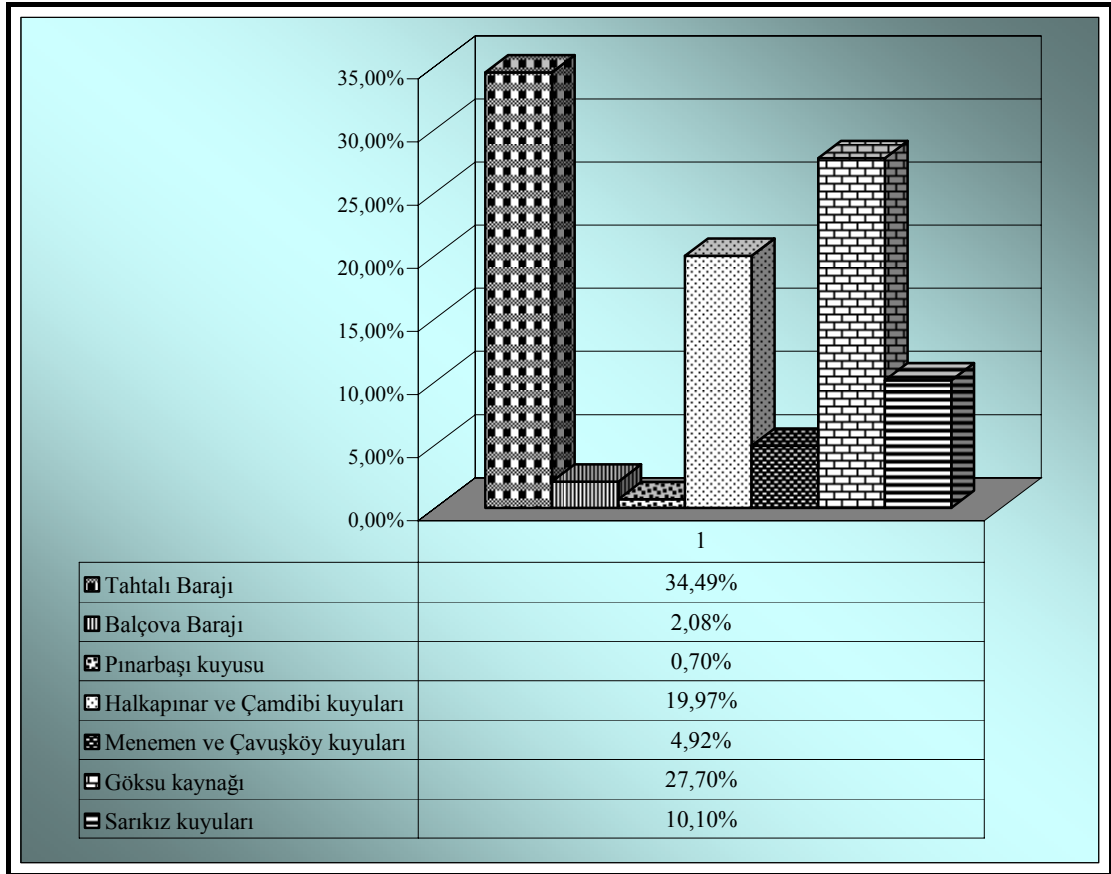
km² alana, maksimum 60,5 m yüksekliğe ve 306 milyon m³ su depolama kapasitesine sahiptir (Boyacıoğlu, 2007). Yapımına 1992 yılında başlanmış ve 1996 yılında tamamlanmıştır. Tahtalı Baraj Havzası endüstriyel aktivitelerin artışına paralel olarak 1990'lı yıllardan beri hızlı nüfus artışı göstermektedir. Havzada 74.000 kişinin yaşadığı 38 yerleşim yeri bulunmaktadır. Önemli yerleşimler Tablo 3.2'de listelenmiştir (DİE, 2004). Tahtalı Baraj Gölünü besleyen en önemli akarsular Hırsız, Kocaçay, Kona ve Tahtalı , İzmirli Boğazı , Sarıçay, Darıçay, Sandı , Balaban, Deliömer ve Çamurlu dereleridir (Şekil 3.4).

Tablo 3.1 İzmir'in su kaynakları (İZSU-2000)

	Yeraltı suyu kaynakları				Yüzeysel su kaynakları	
	Sarıkız	Göksu	Menemen ve Çavuşköy	Halkapınar ve Çamdibi	Balçova Barajı	Tahtalı Barajı
l/s	1500	2000	800	1200	250	3500
km ³ /yıl	31.5	38.6	14.9	48.6	4.7	68.5



Şekil 3.1 İzmir su kaynaklarının yerleri (İZSU, 2006)



Şekil 3.2 2005 yılı İzmir su kaynaklarının dağılımı

Tablo 3.2 Tahtalı Baraj Havzası önemli yerleşim yerlerine ait nüfus (DİE, 2004)

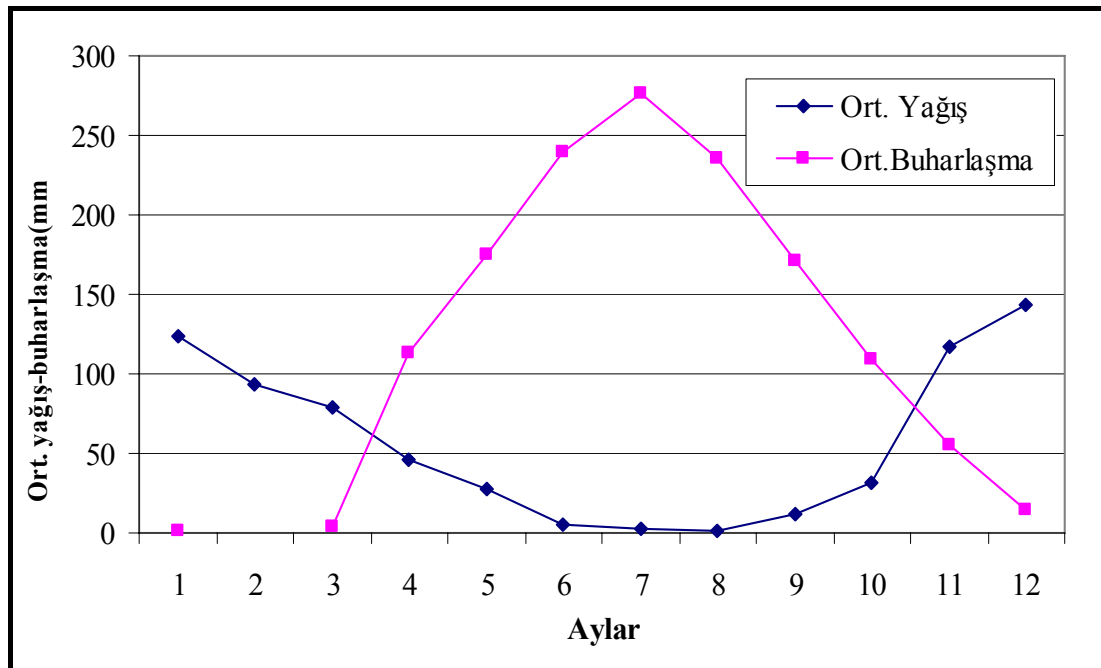
Yerleşim yerleri	Nüfus	Yerleşim yerleri	Nüfus
Oğlananası	2334	Görece	7431
Yoğurtcular	393	Menderes	16792
Demirciköy	725	Akçaköy	375
Karaağaç	941	Develi	1919
Kısıık	554	Sarnıç	17657
Belenbaşı	722	Kaynaklar	3771
Doğancılar	277	Gölcükler	1621
Kırıklar	1041	Yeni Mahalle	865

3.3. İklim

3.3.1. Yağışlar ve Sıcaklık

Çalışma alanı ve çevresi tipik Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Thorntwaite iklim sınıflamasına (1948) göre bölge kurak-yarı nemli, 3. dereceden mezotermal, yaz aylarında orta derecede su noksanı olan ve denizel şartlara yakın $C_1 B'_4 S_2$ iklim tipini yansıtmaktadır.

Yıllık ortalama sıcaklık 17°C 'dir. 26 yıllık yağış gözlem verilerine göre ovada yıllık ortalama yağış 659 mm, ortalama buharlaşma miktarı ise 1392.9 mm (Tablo 3.3) olarak belirlenmiştir (DMİ, 2005). Şekil 3.3'de havzanın son 25 yıllık, aylık ortalama yağış ve buharlaşma eğrisi verilmiştir. En yüksek yağış Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında olup 25 yıllık ortalama sırasıyla 117,04; 142,91; 123,15; 93,33; 78,98 mm'dir. En düşük yağış Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Yağışlar çalışma alanının bir baraj havzası olması nedeniyle önem taşımaktadır. Yüzeysel akış ve yağış oranı doğrudan İzmir ilinin içme suyu potansiyelini etkilemektedir.



Şekil 3.3 Ortalama yağış ve buharlaşma eğrisi

Tablo 3.3 Çalışma alanına ait buharlaşma (DMI, 2005) miktarı (mm)

Yıllar	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	TOP
1979	-	-	107.2	30.0	193.4	290.6	149.5	-	-	119.0	82.3	64.3	1122.0
1980	-	-	-	117.8	168.6	283.7	435.8	87.8	166.7	129.6	66.2	20.3	1476.5
1981	-	-	-	108.9	141.4	259.0	265.4	258.1	182.3	115.9	54.9	70.4	1456.3
1982	21.2	-	-	124.0	174.9	210.7	244.3	227.6	176.5	105.2	74.5	69.1	1428.0
1983	-	-	-	102.3	148.2	157.6	190.4	185.0	150.7	120.9	62.3	53.9	1171.3
1984	-	-	-	67.1	153.2	247.3	267.0	233.3	197.7	108.4	64.3	16.6	1354.9
1985	-	-	-	136.8	187.1	224.1	291.9	256.6	183.8	93.2	49.8	35.0	1458.3
1986	-	-	-	140.7	198.7	231.3	278.1	255.0	175.8	112.3	55.2	-	1447.1
1987	-	-	-	121.2	173.0	243.6	280.9	259.1	188.3	117.8	51.9	-	1435.8
1988	-	-	-	96.5	165.8	233.7	310.0	257.5	191.1	119.2	22.6	-	1396.4
1989	-	-	-	153.2	158.4	207.9	267.4	246.6	172.5	96.0	47.6	-	1349.6
1990	-	-	-	101.5	169.8	228.2	278.1	243.9	161.3	105.9	66.4	-	1355.1
1991	-	-	-	99.1	129.6	209.6	236.8	233.0	148.1	98.8	39.6	-	1194.6
1992	-	-	-	131.9	181.4	226.2	261.5	265.9	197.6	131.6	66.6	-	1462.7
1993	-	-	-	99.5	136.2	232.7	268.5	246.1	167.0	104.8	56.6	-	1311.4
1994	-	-	-	117.9	179.2	221.6	269.9	257.2	175.6	89.1	48.0	-	1358.5
1995	-	-	-	110.4	209.6	253.1	281.3	251.3	184.6	107.0	42.1	50.6	1490.0
1996	-	-	-	119.1	187.1	268.6	292.4	269.6	162.7	97.0	59.7	-	1456.2
1997	-	-	-	85.6	212.4	241.6	296.2	232.4	177.3	107.0	57.7	20.3	1430.5
1998	-	-	-	140.9	153.8	233.4	295.4	282.3	181.1	111.6	45.7	-	1444.2
1999	-	-	-	125.7	225.3	263.0	280.5	253.0	175.5	112.7	67.2	-	1502.9
2000	-	-	-	134.0	204.7	270.1	318.3	264.4	195.9	96.5	62.2	-	1546.1
2001	-	-	-	124.8	171.6	266.9	303.2	275.0	204.4	136.9	37.9	-	1520.7
2002	-	-	-	-	170.9	240.6	246.3	251.4	150.4	96.1	47.4	-	1203.1
2003	-	-	-	85.5	165.2	240.7	270.9	243.0	164.8	119.2	54.0	-	1343.3
2004	-	-	-	134.7	173.2	228.3	290.6	235.7	179.2	90.5	64.2	-	1396.4
2005	-	-	-	143.6	196.6	238.6	277.2	273.6	198.4	111.1	57.8	-	1496.9
TOPLAM	21.2		107.2	3038.4	4729.3	6452.7	7447.8	6344.4	4609.3	2953.3	1504.7	400.5	
ORT.	0.8		4.0	112.5	175.2	239.0	275.8	235.0	170.7	109.4	55.7	14.8	

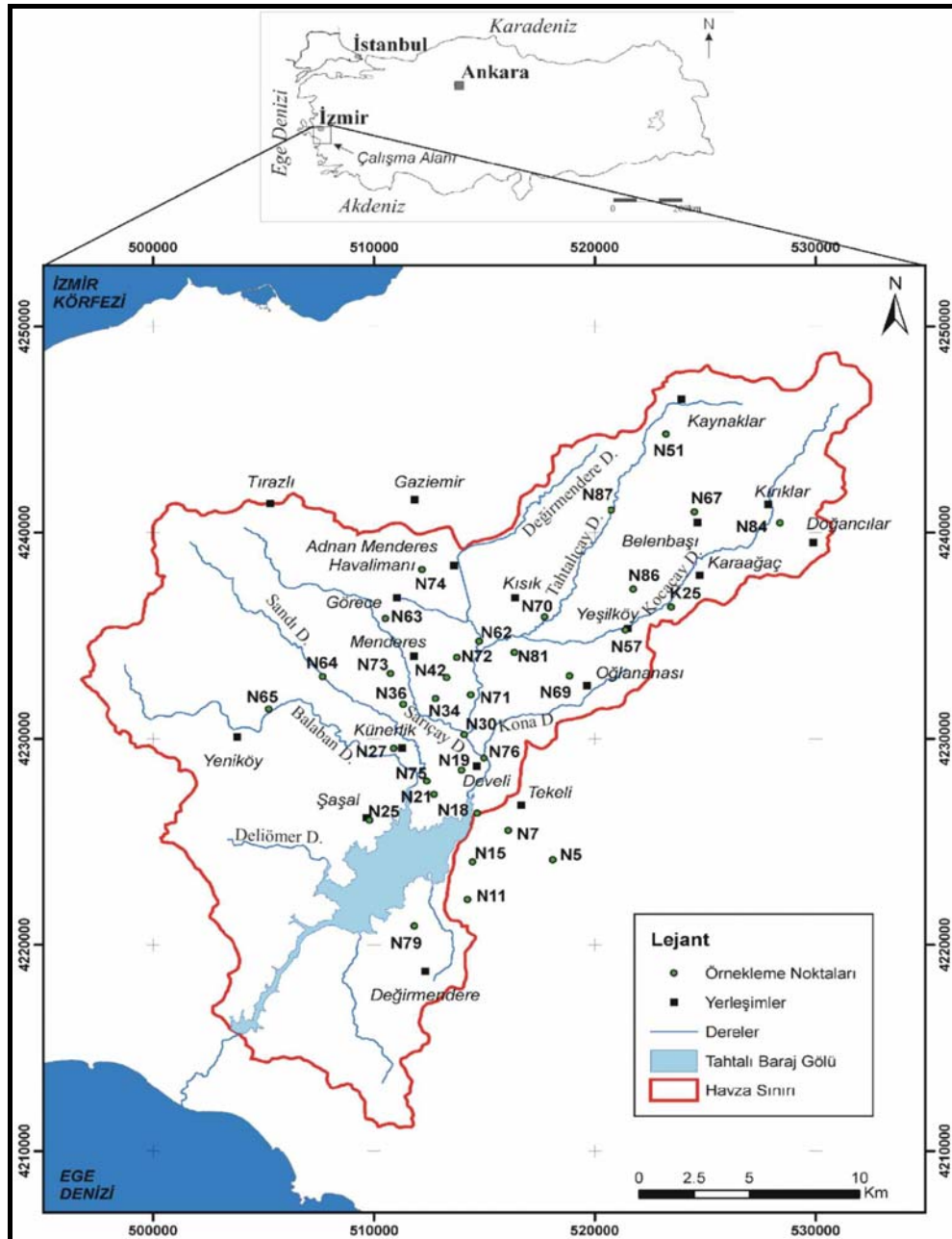
Tablo 3.4 Çalışma alanının yıllara göre yağış (DMI, 2005) miktarı (mm)

Yıllar	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	TOP
1979	238.8	77.7	31.0	20.6	63.7	9.3	-	0.0	-	38.8	182.7	126.9	789.5
1980	206.2	41.5	77.8	51.7	33.0	13.6	-	-	-	8.7	150.4	198.0	780.9
1981	337.8	52.4	83.7	13.0	22.7	-	-	-	0.0	21.1	170.9	354.6	1056.2
1982	63.7	53.4	110.1	98.4	51.8	-	0.7	-	-	77.7	76.2	129.1	661.1
1983	47.4	106.8	9.7	40.3	2.4	12.8	9.8	0.4	-	2.6	158.8	158.4	549.4
1984	242.6	99.5	104.2	71.5	0.2	0.0	16.4	1.9	0.2	-	89.8	58.8	685.1
1985	145.7	34.6	104.0	6.1	42.5	1.5	-	0.0	-	29.8	142.0	20.6	526.8
1986	282.8	151.6	31.5	44.1	7.2	21.2	-	-	0.7	22.4	22.8	122.0	706.3
1987	203.8	55.8	114.9	46.0	5.2	1.5	1.5	-	0.0	1.5	167.3	149.2	746.7
1988	55.7	103.8	164.2	22.0	8.1	0.0	-	-	0.0	5.4	118.2	150.1	627.5
1989	4.6	11.0	128.8	1.8	30.0	38.6	-	-	29.2	44.4	84.7	146.3	519.4
1990	31.4	85.5	21.8	64.9	3.9	2.6	-	2.0	8.1	19.9	23.6	278.7	542.4
1991	36.0	57.9	24.9	46.9	100.5	0.0	28.0	0.1	0.0	14.5	32.8	123.7	465.3
1992	0.0	18.0	76.4	37.4	9.6	3.9	0.0	1.7	-	10.2	110.9	93.4	361.5
1993	57.0	146.6	91.2	48.4	30.8	0.1	-	-	2.8	9.1	108.5	177.8	672.3
1994	70.5	95.2	78.3	49.3	32.5	1.3	-	0.4	0.0	68.8	85.0	154.5	635.8
1995	208.6	28.3	185.8	38.9	36.1	-	0.0	8.9	21.0	3.9	175.7	82.8	790.0
1996	30.8	209.6	37.3	90.6	18.2	0.1	-	0.3	112.3	39.9	69.7	195.0	803.8
1997	119.0	20.5	124.2	93.4	13.0	2.0	0.0	-	-	48.5	84.2	206.6	711.4
1998	171.5	70.4	133.5	34.2	121.9	-	2.7	-	39.6	84.0	271.6	156.7	1086.1
1999	93.6	249.0	77.7	13.9	13.0	0.7	-	-	0.4	28.8	47.9	127.5	652.5
2000	96.3	91.6	77.6	48.1	5.2	-	-	0.1	-	91.6	107.9	35.6	554.0
2001	90.9	108.7	16.0	65.9	18.4	17.1	-	34.9	23.0	-	283.7	269.9	928.5
2002	35.3	34.2	90.7	50.5	10.2	-	2.2	-	66.1	86.5	126.4	148.3	650.4
2003	102.7	201.0	25.3	104.5	10.3	0.1	-	-	0.0	66.5	15.6	116.3	642.3
2004	228.5	27.9	21.3	30.3	11.3	3.7	1.2	-	0.0	1.7	100.0	77.7	503.6
2005	124.0	287.4	90.5	17.3	35.8	21.0	-	0.2	6.6	22.8	152.8	-	758.4
TOPLAM	3325.2	2519.9	2132.4	1250.0	737.5	151.1	62.5	50.9	310.0	849.1	3160.1	3858.5	681.7
ORT.	123.2	93.4	78.9	46.3	27.3	5.6	2.3	1.9	11.5	31.4	117.0	142.9	113.62

3.4 Su Kaynakları

3.4.1 Yüzey suları

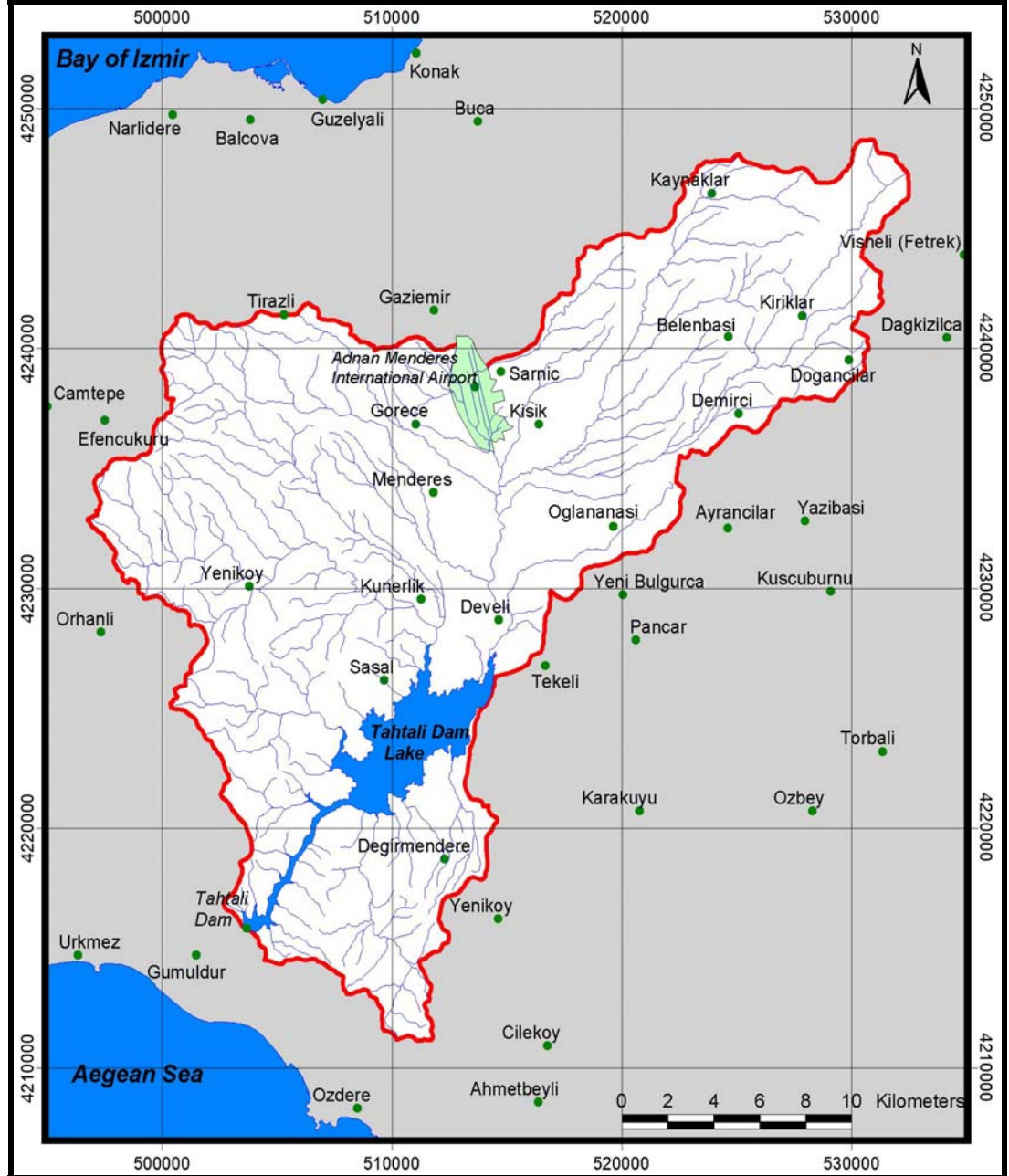
Bölgede yüksek kesimleri mermer ve Neojen yaşlı kireçtaşları ile volkanikler oluşturmakta şistler ve alüvyon düşük kotlu alanları kaplamaktadır. Çalışma alanında bulunan ve Tahtalı Baraj Gölü'nü besleyen başlıca yüzey suyu kaynakları (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Çalışma alanına ait başlıca yüzey suları ve örnekleme noktaları

Kona, Hırsız, Kocaçay, Sarıçay, Sandı, Deliömer, Çamurlu, Darıçay, Balaban, İzmirliboğazı ve Tahtalı dereleridir.

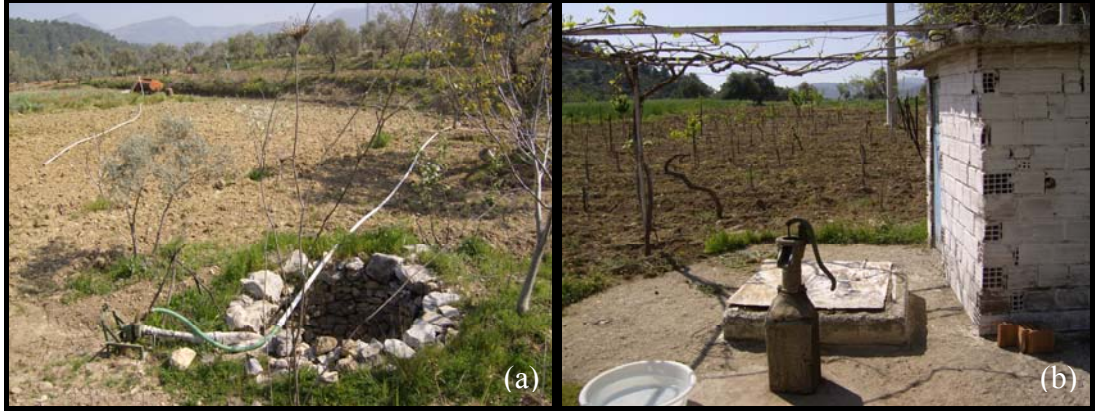
Bölgede K-G ve KB-GD yönlü sık bir akaçlama ağı gelişmiştir ve Tahtalı Baraj Gölü'ne dökülmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çalışma alanının akaçlama haritası

3.4.2 Sığ Kuyular

Derinlikleri 15-20 m arasında değişen, yüzey suları ile beslenen ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde kullanılan kuyulardır. Sığ kuyular geniş çapta açılan kuyulardır (Şekil 3.6) ve su tulumbalar yardımı ile çekilmektedir. Yeraltı su seviyesinin düşmesi nedeni ile bir kısmı özellikle yaz aylarında kullanılamamaktadır. Sığ kuyular ovada yaygın şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3.6 Tahtalı Havzası'nda açılmış keson kuyular (a,b)

3.4.3 Derin Kuyular

Tahtalı Baraj Havzası'nda tarım arazilerinin tamamına yakın bölümü yeraltı suları ile sulanmaktadır bu nedenle çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 3.7). Açılmış bu kuyulardan 50 m derinliğe kadar olanların bir kısmı su seviyesinin düşmesi nedeni ile çalışmamaktadır. Son zamanlarda açılan kuyuların ortalama derinlikleri 200 m'ye erişmiştir (Tablo 3.5). Bölgede verimi düşen kuyuların yerine birçok yeni sondaj kuyusu açılmaya devam etmektedir (Şekil 3.8). Bölgede her tarlada ve her fabrikada bir derin sondaj kuyusu bulunmaktadır. Alüvyonun kalın olduğu kesimlerde sondajlar yoğunlaşmakta, ortalama 100 m derinliğe ulaşmaktadır.

Örneklenen noktalara ait derin ve sığ kuyu tanımlamaları Tablo 3.5'de verilmiştir. Kuyu derinliği bilinen sondaj kuyularının derinliği, 40m-180m arasında değişmektedir.



Şekil 3.7 Tahtalı Baraj Havzası'nda açılmış bir derin santrifüj kuyusu



Şekil 3.8 Develiköy ve Kaynaklar'da açılmakta olan sondaj kuyuları

3.5 Su Bütçesi

Güzelyalı Devlet Meteoroloji İstasyonuna (DMİ) ait 1979-2005 yılları arası 26 yıllık veriler yardımıyla Thorntwaite (Thorntwaite, 1948) yöntemine (Tablo 3.6) göre su bilançosu yapılmış yağış-gerçek buharlaşma-terleme grafiği, Şekil 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.5 Örnek alınan kuyulara ait bilgileri

Örnek no	Sondaj derinliği (m)	Su seviyesi (m)	Su tablası kotu (m)	Örnekleme tarihi	Kuyu tipi
N51	50	9.37	255.63	08.05.07	Sondaj
N67	92	9.00	353.00	08.05.07	Sondaj
K25	84	55.05	93.84	08.05.07	Sondaj
N57	-	12.42	158.58	08.05.07	Sondaj
N69	-	0.00	129.00	08.05.07	Sondaj
N70	50	9.18	120.82	08.05.07	Sondaj
N62	-	3.28	96.72	08.05.07	Sondaj
N71	46	3.42	87.58	08.05.07	Sondaj
N72	66	8.34	96.66	08.05.07	Sondaj
N73	-	3.68	105.32	08.05.07	Sondaj
N64	-	2.79	144.21	08.05.07	Sondaj
N65	-	2.04	173.96	08.05.07	Sondaj
N63	-	10.80	131.20	08.05.07	Keson
N74	52	26.61	98.39	08.05.07	Sondaj
N36	-	11.19	87.81	10.05.07	Sondaj
N27	40	11.15	80.85	10.05.07	Sondaj
N25	148	2.05	90.95	10.05.07	Sondaj
N75	102	18.79	64.21	10.05.07	Sondaj
N21	60	10.60	67.40	10.05.07	Sondaj
N19	-	5.97	65.03	10.05.07	Keson
N20	130	0.00	0.00	11.05.07	Sondaj
N76	36	8.51	62.49	11.05.07	Sondaj
N77	-	0.00	81.00	11.05.07	Sondaj
N30	52	4.94	79.06	11.05.07	Sondaj
N18	40	0.00	66.00	11.05.07	Sondaj
N15	-	9.87	45.13	11.05.07	Sondaj
N11	-	0.00	70.00	11.05.07	Sondaj
N79	-	3.62	75.38	11.05.07	Keson
N05	100	0.00	50.00	11.05.07	Sondaj
N81	-	0.00	107.00	11.05.07	Sondaj
N42	-	7.19	92.81	11.05.07	Sondaj
N34	-	6.79	84.21	11.05.07	Sondaj
N84	-	4.90	331.10	11.05.07	Sondaj
N86	180	36.28	162.72	11.05.07	Sondaj
N87	-	4.56	178.44	11.05.07	Keson

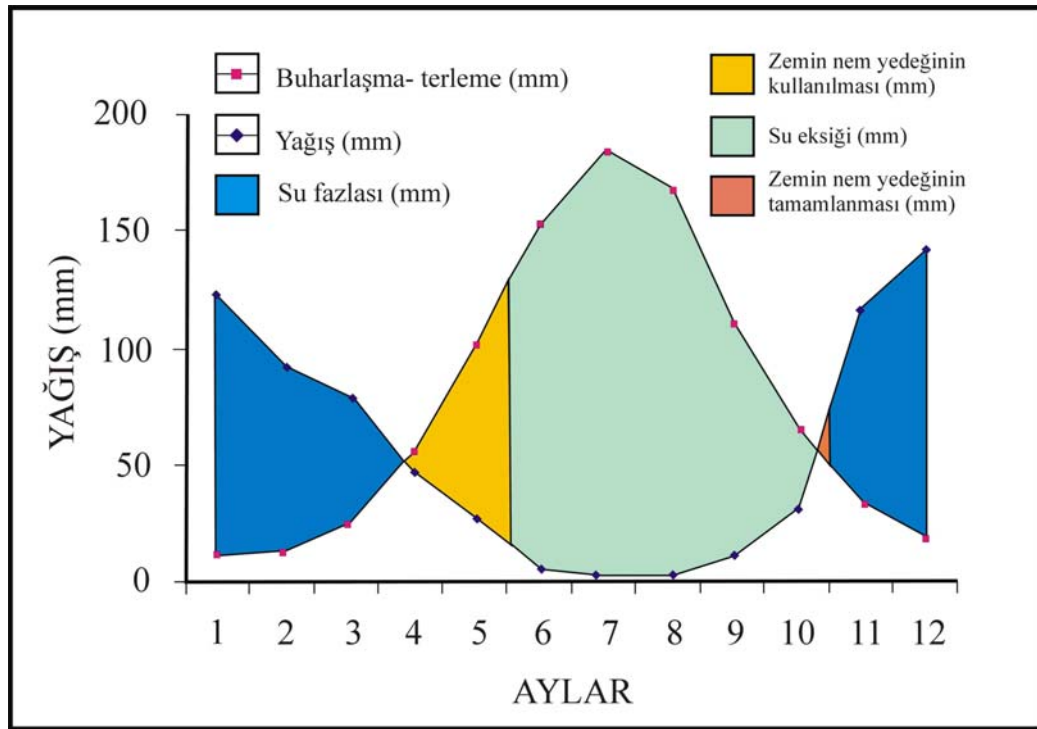
Tablo 3.6 Güzelyalı (İzmir) Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerine göre Thorntwaite su bütçesi (T (Sıcaklık-°C); Tİ (Sıcaklık İndisi); PE (Potansiyel Buharlaşma Terleme-mm); DF (Enlem Düzeltme Faktörü); DPE (Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma -Terleme); P (Yağış-mm); DS (Su Değişimi-mm); RS (Rezerv Su-mm); GE (Gerçek Buharlaşma Terleme-mm); SE (Su Eksiği-mm); SF (Su Fazlası-mm); SS (Sızan Su-mm); ZS (Zemin Su Yedeği-mm))

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
T	7	8,5	10,5	15,5	20,6	24,8	26,8	26,2	22,4	16,3	12,4	9,2	
Tİ	2,3	2,6	3,4	5,6	8,5	11,6	13,4	13,1	10,3	7,3	4,8	3,3	
PE	16,4	18,5	26,8	49,3	83,4	123,0	147,0	142,1	106,2	68,8	40,2	22,9	844,6
DF	0,9	0,8	1,03	1,1	1,23	1,2	1,3	1,2	1,0	0,96	0,8	0,8	
DPE	13,9	15,6	27,6	54,3	102,6		183,8	166,2	110,4	66,0	33,8	19,0	945,7
P	123,2	93,3	79,9	46,3	27,3	5,6	2,3	1,9	11,5	31,4	117,0	142,9	682,7
DS	0,0	0,0	0,0	8,0	75,3	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	16,8	
RS	100,0	100,0	100,0	92,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	100,0	
GE	13,9	15,6	27,6	54,3	102,6	22,3	2,3	1,9	11,5	31,4	33,8	19,0	333,9
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	130,3	181,5	164,3	98,9	34,6	0,0	0,0	609,2
SF	109,3	77,7	52,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,2	346,6
SS	81,5	79,7	66,0	33,0	16,5	8,3	4,1	2,1	1,0	0,5	0,3	53,7	346,5
ZS	41,7	13,6	13,9	13,3	10,8	-2,7	-1,8	-0,2	10,5	30,9	116,8	89,2	336,2

Tablo 3.7 Meteorolojik veriler (DMİ. 2006)

Meteorolojik eleman	Birim	Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim.	Kas.	Ara.	Yıllık(Ort.)
Ortalama Rüzgar Hızı	m/sn	49	3,47	3,73	3,47	3,29	3,05	3,19	3,41	3,30	2,90	2,81	3,04	3,45	3,26
Hakim Rüzgar Yönü	Yön		SE	SE	SE	SE	WNW	W	W	W	WNW	SSE	SE	SE	
Ortalama Nispi Nem	%	68	70,98	68,38	65,71	63,36	59,83	52,78	50,65	52,15	56,79	63,68	69,52	72,01	62,15
Ortalama Aylık Toplam Yağış	kg/m²	68	130,07	101,26	74,66	44,78	30,73	7,91	1,98	2,56	11,36	37,76	95,31	149,66	688,05

Thorntwaite yöntemine göre yapılan su bütçesine göre (Tablo 3.6) eksik su (SE) 609,2 mm'dir. Yüzey akış suyu olarak değerlendirmeye alınan fazla su (SF) 346,6 mm'dir. Yıllık düzeltilmiş potansiyel- buharlaşma terleme (DPE) 945,7 mm olarak bulunmuştur. Yağış miktarı (P) Ocak, Şubat, Mart aylarında potansiyel- buharlaşma terlemeden fazladır. Bu nedenle bu aylarda potansiyel buharlaşma- terleme gerçek buharlaşma- terlemeye eşittir. Potansiyel buharlaşma- terleme Nisan- Kasım arasında yağıştan fazla olduğundan 100 mm olan zemin nem yedeği kullanılmaktadır. Haziran başından Ekim sonuna kadar toplam 609,2 mm su eksikliği bulunmaktadır (Şekil 3.9). Kasımda ise potansiyel buharlaşma - terleme gerçek buharlaşma- terlemeye eşittir. Aralıkta yağış, potansiyel buharlaşma- terlemeden büyük olduğu için zemin nem yedeği olan 100 mm, fazla su ile karşılanmakta artan 346,5 mm su ise yüzey ve yeraltı sularını beslemektedir.



Şekil 3.9 Thorntwaite buharlaşma terleme-yağış grafiği

Güzelyalı Devlet Meteoloji İstasyonundan alınan 49 yıllık ortalamalara göre rüzgar hızı 3,26 m/sn, hakim rüzgar yönü ise kuzeydoğudur. Tablo 3.7'de verilen 68 yıllık ortalamalara göre ortalama nispi nem % 62,15; yıllık ortalama yağış 688,05 kg/m²'dir. Rüzgarın aylara göre esme yönü ve sayısı Tablo 3.8'de

verilmiştir. Tablodan baskın rüzgar esme yönlerinin GD, GGD ve B, BKB olduğu görülmektedir.

Tablo 3.8 Yönlere göre rüzgar esme sayısı (DMİ, 2006)

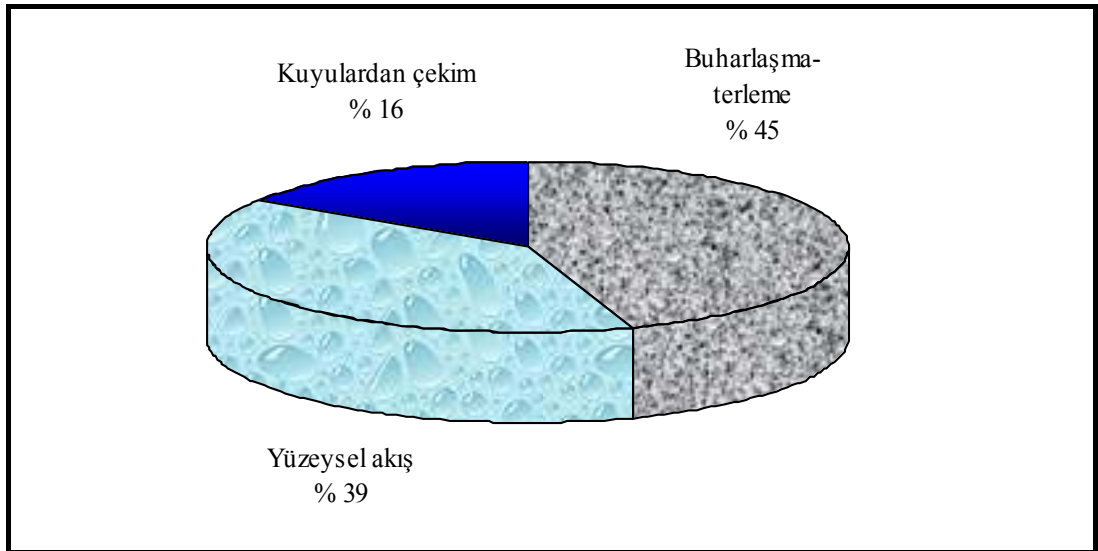
Yönler		Oc.	Şu.	Ma.	Nis.	May.	Haz.	Te.	Ağ.	Ey.	Ek.	Ka.	Ar.	Yıllık
N	360°	1134	1157	1406	1253	1337	1714	1917	1771	1457	1318	995	926	16385
NNE	360°	2091	2034	2327	1362	1414	1793	2597	3262	2684	2483	1375	1750	25172
NE	360°	2598	2083	1583	908	922	1137	1697	1853	1742	2037	1554	1839	19953
ENE	360°	2611	2317	2020	943	1138	976	1465	1873	1638	2209	2089	2663	21942
E	360°	1740	1285	1091	1018	1198	711	502	404	425	1191	1707	1736	13008
ESE	360°	4069	3423	3070	2866	2280	1652	938	843	1448	2667	4422	4697	32375
SE	360°	6193	5300	4860	4923	3247	2016	878	987	1755	3408	5931	6513	46011
SSE	360°	5412	4997	4715	4845	3509	2072	1111	1165	2596	4076	5770	6172	46440
S	360°	2043	1775	2253	2172	1872	1278	865	892	1656	2234	2364	1665	21069
SSW	360°	850	811	909	1035	839	666	530	543	765	909	765	784	9406
SW	360°	717	534	674	808	999	854	911	707	724	653	545	742	8868
WSW	360°	1484	1343	2194	1839	2940	3256	3469	3505	2485	1950	1510	1663	27638
W	360°	1556	1681	2725	3332	4585	5886	7327	7084	5390	3659	1819	1396	46440
WNW	360°	1592	1739	2838	3425	5244	5884	6381	6273	5790	3866	1822	1460	46314
NW	360°	939	1063	1668	2083	2239	2298	2589	2323	2162	1465	1086	808	20723
NNW	360°	1128	1350	1771	1786	1869	2274	2465	2116	1919	1770	1153	1219	20820
C(Sakin)	360°	252	285	285	543	544	347	400	445	391	470	314	283	4559

Tahtalı Baraj Havzası'na ait su bilançosu hesaplanarak Tablo 3.9'da verilmiştir. Çalışma alanında yıllık $180 \times 10^6 \text{ m}^3$ su Tahtalı Barajı'ndan içme suyu amaçlı alınmaktadır. Devlet Su İşlerine (DSİ) kayıtlı özel şahıslara ait kuyu sayısı 2005 yılı itibarı ile 120'dir. DSİ'nin havzada açmış olduğu sulama kooperatiflerine ait kuyular ve kayıtlı olmayan kuyular da göz önünde tutularak hesaplamalarda bu sayı 500 olarak alınmıştır. Kuyulardan 10 l/sn ile 150 gün çekim yapıldığı farz edilmiştir. Havzaya düşen yağış miktarı $375,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak bulunmuş, buharlaşma- terleme ile havzaya düşen yağışın % 45'lik bölümüne karşılık gelen $183,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun harcandığı % 39 oranına karşı gelen $162 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun yüzeysel akışa geçerek Tahtalı Baraj Havzası'nı beslediği, bölgedeki kuyulardan ise % 16 oranına karşılık gelen $64,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun çekildiği belirlenmiştir (Şekil 3.10). Bölgedeki belediyelerin içme suyu kuyularıyla yılda $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ kadar su çekilmektedir. Bu kuyulardan yapılan yeraltı suyu çekimleri değerine dahildir. Havzadan su çıktısı ile havzaya su girdisi arasındaki fark $35 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür. Bu kuyulardan müsaade edilebilir değerlerden daha fazla çekim yapıldığını göstermektedir. Bunlara ek olarak, yağışlı ve kurak dönem statik seviye ölçümleri (Tablo 3.10 , Ek 3) arasında ortalama 5,62

m'lik bir düşüm farkı ölçülmüştür (Şekil 3.11). Bu düşümün havzanın alüvyon ve Neojen kırıntılları ve karbonatlarının bulunduğu 120 km²'lik alanı etkilediği düşünülürse 67,44 x10⁶ m³'lük çekimi göstermektedir. Bu ölçüm değeri hesaplanan değerleri doğrulamakla birlikte daha büyük değeri göstermektedir. Havzanın hidrojeolojik bilanço hesaplanmasında % 10'luk bir hata olabileceği farz edildiğinde arazide ölçülen ve bilançodan elde edilen değerlerin benzer sonuçlar vermektedir.

Tablo 3.9 Tahtalı Baraj Havzası su bilançosu

Giren	10 ⁶ m ³ /yıl	Çıkan	10 ⁶ m ³ /yıl
Yağış	375,5	Buharlaştırma-Terleme	183,7
		Yüzeysel Akış	162
		Kuyulardan Çekim	64,8
Toplam	375,5	Toplam	410,5
Fark			-35,0



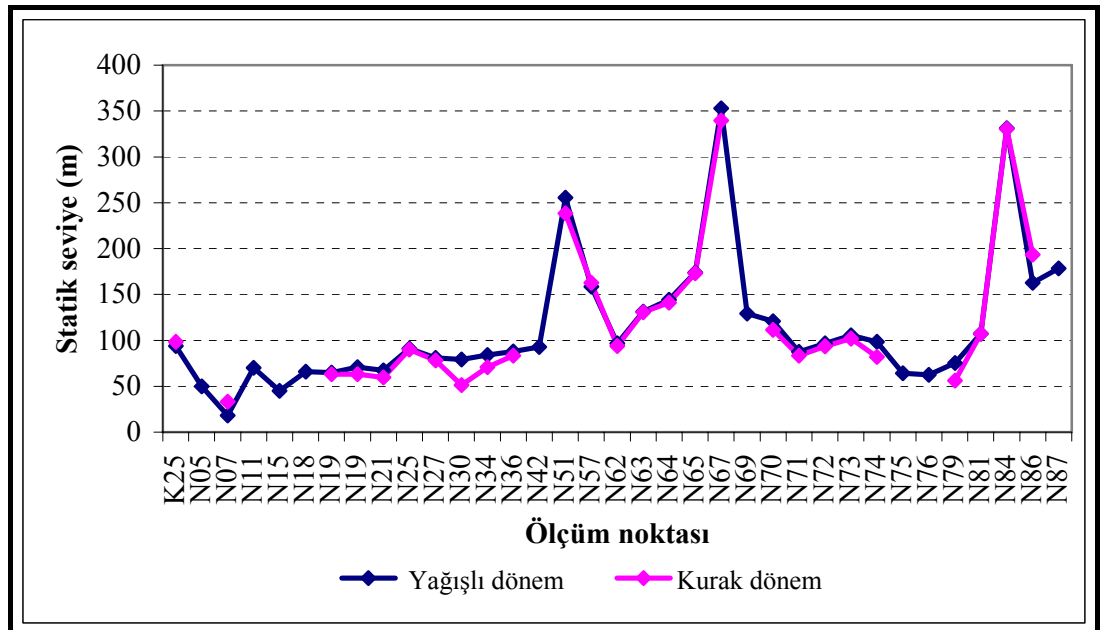
Şekil 3.10 Tahtalı Baraj Havzası'na ait su

Son yıllarda yapılan çalışmalarda İzmir ve çevresinde yeraltı sularında yıllık ortalama 1 m'lik düşümlerden bahsedilmektedir (Şimsek ve Filiz, 2001; Demirkıran ve diğer., 2006). Tahtalı Baraj Havzası önemli bir tarım alanı olması nedeniyle özellikle yaz aylarında aşırı çekime maruz kalmakta ve hesaplanandan daha fazla bir yeraltı suyu düşümünün olacağı farz edilmektedir. Çalışma alanında sondaj kuyuların derinleşmesi ve keson kuyuların yaz aylarında terk edilmesi bunun en iyi verileri sayılabilir.

Tablo 3.10 Çalışma alanına ait yağışlı ve kurak döneme ait su tablası kotları

No	X	Y	Z(m)	Yağışlı dönem su tablası kotu (m)	Kurak dönem su tablası kotu (m)
K14	520575	4248364	173	168,15	166,80
K18	512247	4236651	135	127,40	126,00
K25	523465	4236389	149	93,84	97,92
N05	518110	4224127	50	50,00	50,00
N10	514170	4222203	58	68,10	33,02
N11	514234	4222207	70	70,00	65,27
N15	514467	4224023	55	45,13	70,00
N18	514666	4226385	66	66,00	55,00
N19	513962	4228481	71	65,03	66,00
N20	513962	4228481	71	71,00	63,26
N21	512716	4227294	78	67,40	78,00
N22	512199	4226823	72	65,55	59,57
N25	509807	4226045	93	90,95	58,49
N27	510902	4229536	92	80,85	89,60
N29	514992	4229239	76	70,30	77,53
N30	514089	4230198	84	79,06	76,00
N34	512792	4231945	91	84,21	70,29
N36	511326	4231667	99	87,81	83,19
N37	511382	4232620	105	98,56	97,67
N38	511392	4233515	111	-	104,46
N39	511015	4233566	115	114,67	-
N41	512230	4233233	108	105,33	106,36
N42	513289	4232957	100	92,81	100,00
N47	525558	4240763	323	314,53	313,39
N48	519916	4245788	244	170,94	170,36
N51	523234	4244791	265	255,63	238,40
N52	522828	4243616	253	249,57	248,20
N55	526245	4239243	267	262,36	262,22
N57	521407	4235258	171	158,58	162,43
N58	518656	4233149	122	121,00	-
N60	521535	4227470	54	51,72	21,76
N62	514755	4234711	100	96,72	93,79
N63	510522	4235833	142	131,20	130,49
N64	507675	4233002	147	144,21	140,93
N65	505242	4231435	176	173,96	173,04
N66	512065	4241000	135	125,03	124,89
N67	524514	4240998	362	353,00	339,27

Tablo 3.10'un devamı					
N68	524631	4237838	229	207,14	206,04
N69	518859	4233037	129	129,00	-
N70	517731	4235913	130	120,82	110,94
N71	514386	4232121	91	87,58	83,38
N72	513757	4233929	105	96,66	93,44
N73	510753	4233153	109	105,32	101,61
N74	512179	4238200	125	98,39	81,95
N75	512391	4227942	83	64,21	83,00
N76	514985	4229060	71	62,49	71,00
N77	514056	4230340	82	81,00	78,21
N78	512950	4221388	84	78,88	56,04
N79	511832	4220924	79	75,38	21,00
N80	517996	4224184	51	26,40	-
N81	516368	4234174	110	107,00	-
N82	514702	4249034	107	78,90	78,31
N83	523636	4246211	283	276,39	274,67
N84	528392	4240473	336	331,10	336,00
N85	522992	4237580	216	189,45	181,60
N86	521756	4237257	199	162,72	199,00
N87	520763	4241086	183	178,44	177,08
N88	516931	4247575	95	92,04	-
N90	511959	4221099	84	-	61,04



Şekil 3.11 Yağışlı ve kurak dönem statik seviye (m) grafiği

3.6 Yeraltı Suyu Akımı

Tahtalı Baraj Havzası'na ait yeraltı sularının akım yönü ve akım hızını bulmak için yeraltı suyu seviye haritası çıkarılmıştır. Su seviyesi ölçülen kuyulardan elde edilen düşey derinliklerden; kaya grupları için, hidrolik iletkenlik değerleri boşluk oranı, porozite ve permeabilite değerlerinden faydalanılarak su akım hızı (Tablo 3.11) hesaplanmış, yağışlı ve kurak dönem için su akım yönü saptanmıştır (Şekil 3.12, Şekil 3.13). Tahtalı Baraj Havzası'nda yeraltı suyu akım yönü değişken olmakla birlikte genel olarak kuzeybatıdan güneydoğuya ve kuzeydoğudan güneybatıya doğrudur. Değirmendere civarında ise yeraltı suyu akım yönü güneybatıdan kuzeydoğuya doğrudur. Bölgede yapılan yeraltı suyu düşümünün matematiksel modelleme ile belirlenmesi çalışmasında aynı yönlere işaret edilmektedir (Karadaş ve diğer., 2007).

3.6.1 Yeraltı Su Seviyesi

Tahtalı Baraj Havzası'nda DSİ ve özel şahıslara ait kuyulardan su seviyesi ölçümleri yağışlı ve kurak dönem için alınmıştır. Ölçümler çalışma alanının dışına da taşırılarak 150 m'lik kuyumetre ile yağışlı dönem için 57 kuyudan kurak dönem için 52 kuyudan yeraltı suyu derinliği ölçülmüş, GPS (Küresel Konumlama Sistemi) cihazı ile koordinatları ve kuyu kotları kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ArcGIS 9.2 programına girilerek yeraltı su seviye haritası oluşturulmuştur. Yağışlı dönem ile kurak dönem arasındaki düşüm farkı haritalara da yansımaktadır. Bu fark alanın bazı kesimlerinde özellikle geçirimsizliği düşük olan akiferlerin olduğu kesimlerde daha fazladır (Şekil 3.12, Şekil 3.13).

3.6.2 Hidrolik Eğim ve Akım Hızı

Hidrolik eğim akım yönünde birim mesafedeki yük kaybı olarak tanımlanır (Canik 1998). Referans düzlemine göre yatay mesafesi belli iki kuyu arasındaki mesafe ölçülerek, kuyuların statik seviye değerleri ölçülerek oluşan üçgen arasındaki dar açının $\tan$ değeri hidrolik eğim değerini vermektedir.

$$i=(H_1- H_2) / L \text{ (Canik, 1998) } \dots\dots\dots(1)$$

Burada H_1 ve H_2 iki kuyuya ait su tablası kotları, L kuyular arasındaki mesafe, i ise hidrolik eğim değeridir. Bu bağıntıya göre hesaplanan hidrolik eğim değerleri Tablo 3.11’de verilmektedir. Mermerlerde 0,002 olarak hesaplanan hidrolik eğim değeri, alüvyonda 0,008, kiltaşlarında ve şistlerde 0,04 olarak bulunmuştur.

Yeraltı sularının akım yönünü ve hızını saptamak için kaya ve zeminlerin boşluk oranı ve permeabilite değerleri kullanılarak aşağıda verilen bağıntı yardımıyla çeşitli kayalara göre yeraltı sularının akım hızları bulunmuştur (Tablo 3.11).

$$V = (ki) / (ne) \text{ (Canik, 1998) } \dots\dots\dots(2)$$

Burada i hidrolik eğimi, k permeabilite katsayısını (m/s), n poroziteyi, e ise boşluk oranını ifade etmektedir. Çalışılan alanda karbonatlı kayaları oluşturan kireçtaşları $4,88 \times 10^{-3}$ m/s, mermerler $2,5 \times 10^{-4}$ m/s yeraltı suyu akım hızı ile en yüksek akım hızına sahip kayaç grubunu oluşturmaktadır. Kireçtaşlarına ait akım hızı değeri Yeniköy formasyonundaki kuyulardaki ölçüm değerleri kullanılarak, mermerlerdeki akım hızı DSİ’nin Tahtalı Barajı kesin proje aşaması mühendislik jeolojisi raporu (1988) verilerine ait değerler kullanılarak bulunmuştur.

Kireçtaşları içinde açılmış kuyuların debileri ortalama 5 l/s’dir. Alüvyonda su akımı gözenekler boyunca hareket ettiğinden çok değişik akım yönü ve hızı bulmak söz konusudur. Bu durum alüvyonun değişik porozite ve boşluk oranına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Alüvyona ait porozite ve boşluk oranı değerleri çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda elde edilen kaya ve zeminlerin boşluk oranı ve porozite değerleri kullanılmıştır (Şimşek, 2002; Yavuz,1997; DSİ, 1998). Bölgedeki alüvyona ait yeraltı suyu akım hızı hesabı için gereken boşluk oranı , porozite ve permeabilite değerleri DSİ verilerinden bulunmuştur. Alüvyon malzemenin iri ve ince daneli malzemeden yapılı oluşu permeabilite değerini dolayısıyla akım hızını ve akım yönünü etkilemektedir. Yeraltı suyu akım eğrilerinin aralığının sık olduğu alanlar geçirimsiz seyrek olduğu yerler

ise geçirimli alanlar olarak yorumlanmaktadır (Canik, 1998). Alüvyon için bulunan akım hızı $2,84 \times 10^{-5}$ m/s'dir.

Tablo 3.11 Çalışma alanına ait kayaçların yeraltısuyu akım hızları

Kaya Grubu	Porozite (n)	Boşluk oranı (e)	Hidrolik eğim (i)	Permeabilite (k (m/s))	Gerçek hız (V (m/s))
Alüvyon	0,42	0,67	0,008	1×10^{-3}	$2,84 \times 10^{-5}$
Kiltaş	0,35	0,54	0,04	5×10^{-7}	$1,1 \times 10^{-7}$
Kireçtaş	0,03	0,03	0,01	4×10^{-3}	$4,8 \times 10^{-3}$
Şist	0,02	0,02	0,04	1×10^{-6}	$1,25 \times 10^{-7}$
Mermer	0,02	0,04	0,002	1×10^{-5}	$2,5 \times 10^{-5}$

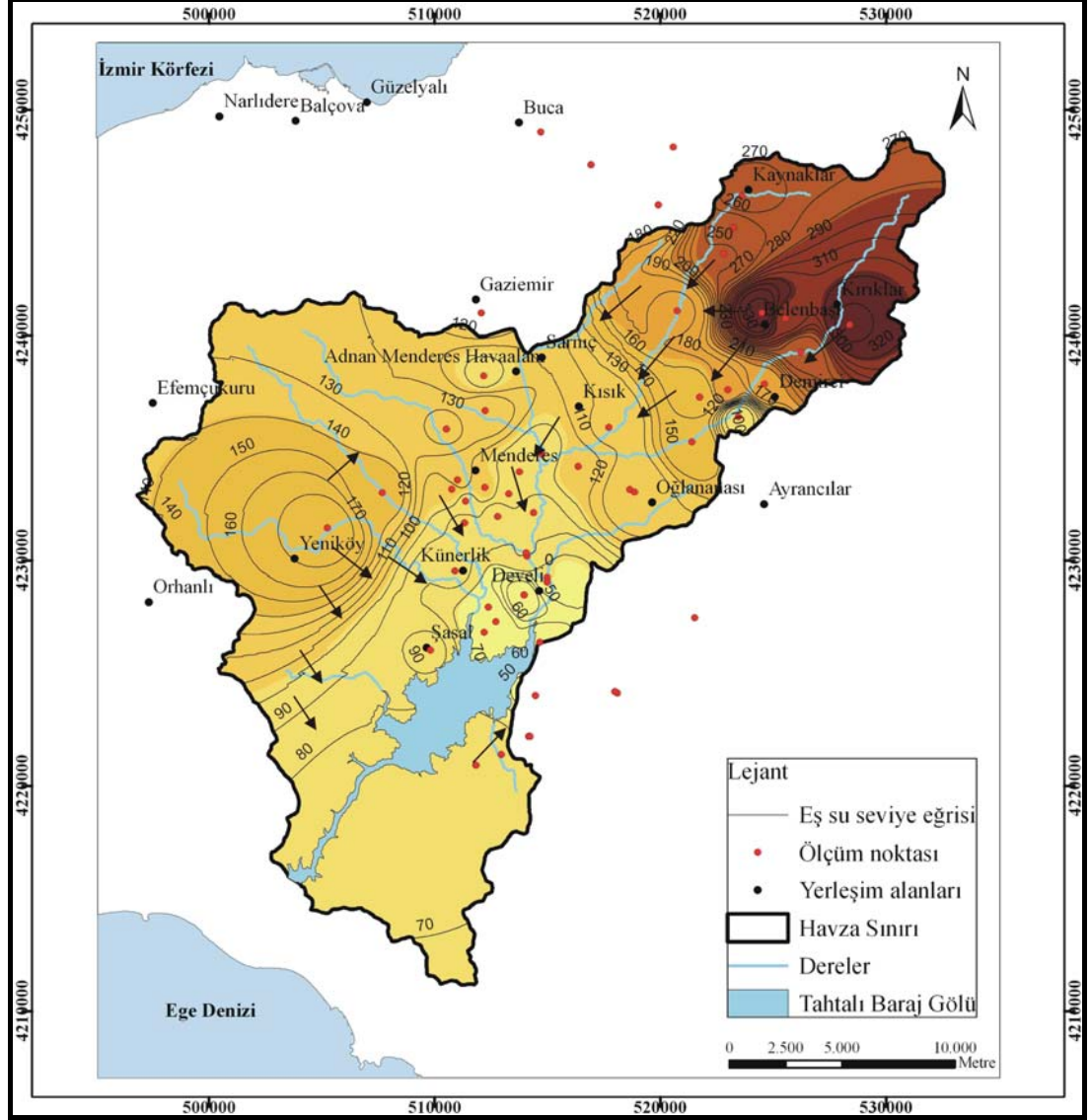
Yeraltı suyu akım hızının en düşük olduğu bölge kuzeyde Çatalca formasyonunun yayılım sunduğu, Neojen yaşlı kiltaşlarının bulunduğu kesimdir (Şekil 3.12). Bu bölgede açılan kuyularda verim alınamamakta pompaların çalıştırılmasından birkaç saniye sonra su kesilmektedir. Bu su akım hızının düşük olması nedeniyle çekim için gereken miktarın karşılanamamasındandır. Kiltaşlarında hesaplanan su akım hızı değeri $1,1 \times 10^{-7}$ m/s'dir.

Bornova karmaşığının yüzeyletiği havzanın en kuzeyindeki bölgede yeraltı suyu akım eğrilerinin sıklaştığı görülmektedir (Şekil 3.12). Bu karmaşık içerisinde yer alan şistlere ait akım hızı $1,25 \times 10^{-7}$ m/s olarak bulunmuştur.

Bölgeye ait statik su seviye haritalarının hazırlanmasında yağışlı dönemde harita üzerinde de görüldüğü gibi 57 ölçüm noktası, kurak dönemde ise 53 ölçüm noktasına ait değerler kullanılmıştır. Havza sınırlarının dışında kalan ölçüm noktaları eş su seviye eğrilerinin daha sağlıklı çıkarılması amacıyla kullanılmıştır (Şekil 3.12, Şekil 3.13).

Şekil 3.13 Tahtalı Baraj Havzası kurak dönem statik su seviyesi ve akım yönlerini göstermektedir. Yağışlı dönem ile (Şekil 3.12) karşılaştırıldığında su bilançosu bölümünde söz edildiği gibi statik seviyenin düştüğü özellikle alüvyonun yayılım

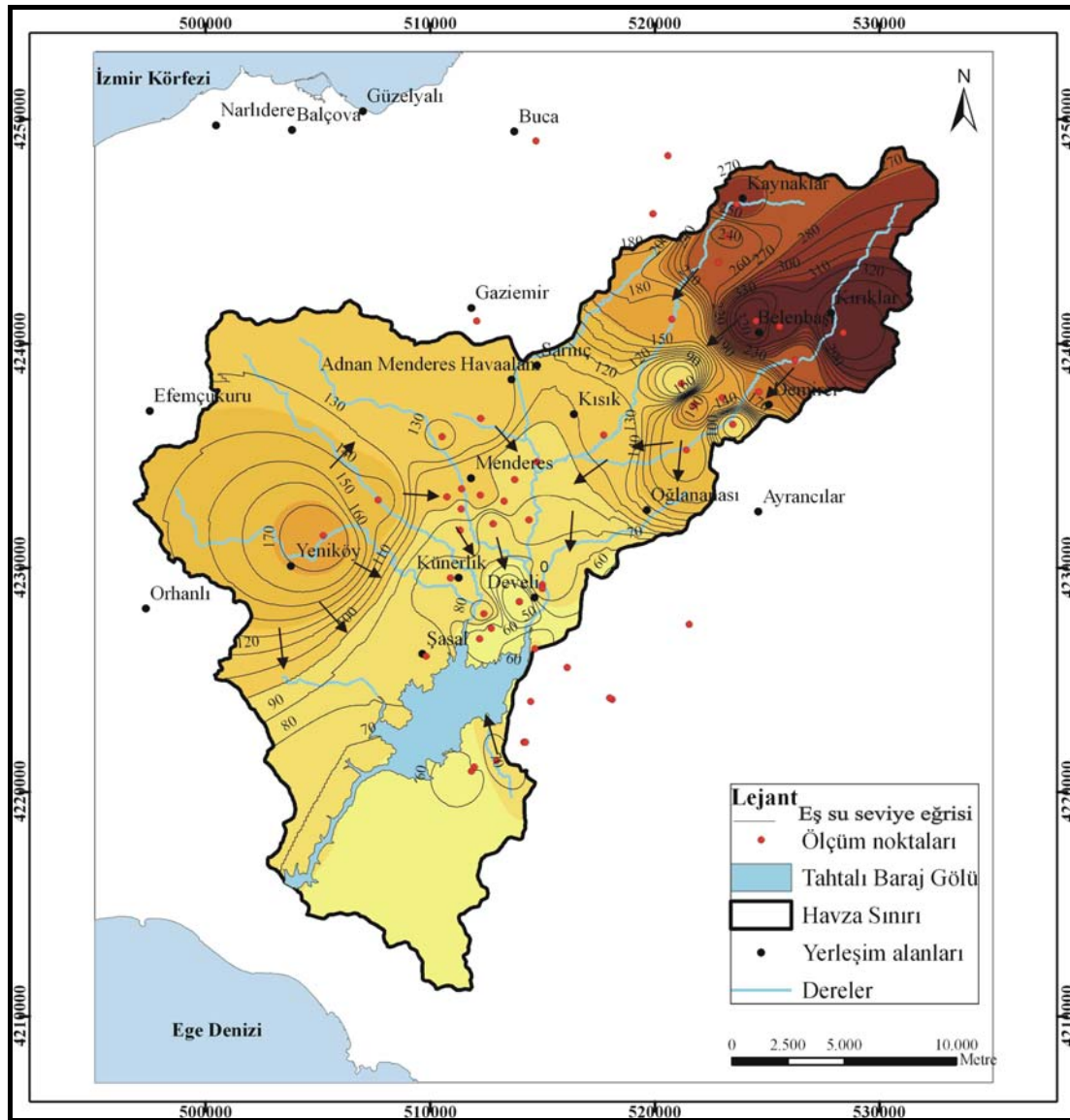
gösterdiği bölümde eş su seviye eğrilerinin aralıklarının arttığı ve su seviye değerlerinin düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 3.12 Tahtalı Baraj Havzası yağışlı dönem statik su seviyesi (m) ve su akım yönleri (Oklar akım yönünü göstermektedir) haritası

Tahtalı Baraj Gölü doğusunda Şaşal civarından ve Baraj Gölü kuzeyinden Tahtalı Baraj Gölü'ne yeraltı suyundan beslenme olmakta, gölün güneydoğusundan Pancar taraflarına doğru gölden bir su çıkışı bulunmaktadır. Yağışlı ve kurak dönemde genel olarak yeraltı suyu akım yönlerinde değişim gözlenmemektedir.

Yağışlı dönemde en düşük ve en yüksek su tablası kotu sırasıyla 32 ve 353 m olduğu halde söz konusu değerler kurak dönemde düşerek 31 ve 339 m değerlerini almıştır.



Şekil 3.13 Tahtalı Baraj Havzası kurak dönem yeraltı suyu statik seviye (m) ve akım yönleri (Oklar akım yönünü göstermektedir) haritası

Yeraltı suyu tablası yağışlı ve kurak dönem haritaları değerlendirilirken (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14) veri yokluğu nedeni ile ölçüm yapılan noktaların uzağında kalan bölgelerin güvenilirliğinin düşük olacağı unutulmamalıdır.

3.7 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanında DSİ'ye ait kuyu logları ve hidrojeoloji raporları, şahıslara ait kuyu logları incelenerek, saha gözlemleri ile desteklenmiş ve çalışma alanındaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri ortaya konmuştur.

3.7.1 Alüvyon

Tahtalı Baraj Havzası 550 km² beslenme alanına düşen yağışlarla beslenmektedir. Kuvaterner alüvyon çalışma alanına ait en önemli akifer olup havza genelinde 120 km²'lik bir alana sahiptir. Alüvyon serbest akifer özelliğinde olup genel olarak kum, kumlu ve killi çakıllı malzemelerden oluşur. Akifer niteliğindeki değişimin nedeni, havzada döküntü akması baskın yelpaze tanımına uyan evrimini tamamlamış bir alüvyon istif ile çökelimini sürdüren genç alüvyon yelpazesi malzemeleri içeren alüvyon istiftir. Alüvyon kalınlığı, DSİ tarafından yapılan sondajlarda Tahtalı Barajı ekseninde 256 m genişlikte, maksimum 48 m derinlikte bulunmuştur. Baraj temelinde elde edilen sondajlara göre az siltli, killi, çakıllı kum karmaşığı şeklinde yer yer düşey ve yanal devamlılığı bulunmayan kalınlığı 0,3 m ile 3,3 m arasında değişen kil, silt ve kumun kombinasyonundan oluşan ince düzeyler kesilmiştir. Alüvyonun büyük bölümünde üstte 1,00-2,50 m kalınlığında bitkisel toprak yer almaktadır. Alüvyon tabanına yakın kesimlerde alüvyon içinde , alüvyon ile şistler arasında, iri çakıl ve blok yığılımları şeklinde yerleşmiş mermer, mermer- kireçtaşı ve şist parçalarına rastlanmıştır (DSİ, 1988). Alüvyonda açılan bu kuyularda basınçsız su deneyleri 2 m'de bir yapılmış ve değerlendirme yapılan düzeylerin % 70'inde 10⁻⁴-10⁻⁵ m/s' lik geçirimlilik değerine sahip olduğu bulunmuştur. 10⁻⁶ m/s geçirimlilik değerinin ise deney düzeyleri içindeki ağırlığı % 21 kadardır. Ayrıca alüvyonda yapılan standart penetrasyon deneylerinde alüvyonun orta sıkı- sıkı özellikte bir yapıya sahip olduğu saptanmıştır (DSİ, 1988). Elde edilen bu sonuçlar alüvyonun orta geçirimli özellikte olduğunu göstermektedir (Tablo 3.12). Bu verilerden yola çıkarak orta geçirimli (10⁻⁴) ve ortalama 40 m kalınlık için alüvyon akiferin transmissibilite değeri eşitlik (3) ile 345,6 m²/gün olarak bulunur. Bu değere

göre alüvyon akifer yeraltı suyu açısından “orta” akifer potansiyeli ne sahiptir (Tablo 3.13).

$$T = K.e \dots\dots\dots (3)$$

Burada T akiferin transmissibilite katsayısı, K akiferin geçirimsizlik katsayısı, e ise akiferin kalınlığıdır.

Tablo 3.12 Zeminlerin (K) geçirimsizlik katsayılarına göre tanımlanması (Terzaghi ve Peck, 1967)

Tanım	Geçirimsizlik derecesi	Geçirimsizlik katsayısı K(m/s)
Temiz çakıllar	Yüksek derecede geçirimsiz	$10^{-2} - 1$
Temiz kumlar, çakıllar ve çakıllı kumlar	Orta derecede geçirimsiz	$10^{-5} - 10^{-2}$
İnce kumlar, siltler, bazı ayrılmış killer	Az geçirimsiz	$10^{-9} - 10^{-5}$
Killer	Geçirimsiz	$<10^{-9}$

Tablo 3.13 Akifer potansiyelinin değerlendirilmesi (Şen, 1995)

Hazne Kaya	Transmissibilite ($m^2/gün$)	Akifer Potansiyeli
Çakıl	$T > 500$	Yüksek
Blok Çakıl	$500 < T < 50$	Orta
Kum ve Silt	$50 < T < 5$	Düşük
Kil	< 5	Zayıf

3.7.2 Neojen Karbonatları ve Kırınılıları

Pliyosene ait konglomera ve killi kireçtaşları çatlak sistemlerinin geliştiği bölümlerde kısıtlı da olsa yeraltı suyu bulundurmaktadır. DSİ (1984), tarafından yapılan jeofizik etütlere göre bu birimlerin Yeniköy doğusuna doğru 100 m kalınlığa ulaştığı saptanmıştır. Ahmetli- Yeniköy arasında Yeniköy sulama kooperatif sahasının yeraltı suyu durumunun, açılan araştırma sondajlarının yeniden değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan DSİ raporuna göre Yeniköy’de yüzlek veren

Neojen konglomeralar sarımsı- bej renkte ve oldukça sert olup mermer şist ve kuvars çakılları pek fazla yuvarlaklaşmamış olup yer yer köşelidir. Paleozoyik yaşlı seriler üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen konglomeralar yer yer çatlaklı olduklarında bünyelerinde yeraltı suyu taşımaya ve depolamaya elverişlidir. Kuyu logları ve saha gözlemlerine göre birimde açılan sondaj kuyularının verimi 10-15 l/s arasındadır. DSİ'nin AR-1 nolu araştırma sondaj kuyusundan elde edilen verilerine göre sondajın 37 m'ye kadar olan bölümü çatlaklı Pliyosen konglomeralarda ilerlenmiş 37- 127 m arası Paleozoyik yaşlı karstik yapıda, kırıklı ve çatlaklı mermerler geçilmiş 127- 140 m arası Paleozoyik kalkışistler geçilmiştir. DSİ tarafında yapılan jeofizik rezistivite sondajlarının yorumları karstik mermerlerin yayılımının sürekli olmadığını göstermektedir. 140 m'de Menderes Masifinin taban kayacı olan mikaşistlere girilmiştir. YAS seviyesi 12.6 m olarak ölçülmüştür. Yapılan basınçlı su testleri sonunda Pliyosen konglomeraların 10-37 m'leri ile mermerlerin 37-82 m ve 110-112 m'leri "geçirimli", 128 m'de başlayan kalkışistler ile 140 m'de başlayan mikaşistler "az geçirimli-geçirimsiz" olarak yorumlanmıştır (DSİ, 1998). Yeniköy Sulama Kooperatifi için hazırlanan hidrojeolojik etüd raporunda mermerlerin transmissibilite değeri, benzer litoloji sunan Torbalı Merkez 2. kısım kuyularının transmissibilite değeri olan 3000 m²/gün olarak kabul edilmiştir. Konglomeralar için transmissibilite değeri, DSİ'ye ait kuyu loglarından 1x10⁻⁴ m/s permeabilite değeri ve ortalama 60 m kalınlık kabul edilerek eşitlik 3'den 518,4 m²/ gün olarak bulunmuştur. Konglomeralar Tablo 3.12'ye göre akifer potansiyeli "Orta" olarak sınıflanmıştır.

Neojen karbonatları ince-orta katmanlı killi kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Bu birim yeraltı suyu beslenmesi ve uygun kotlarda, uygun kalınlığa eriştiği bölümlerde su depolamaya elverişlidir. Oğlananası Sulama Kooperatifi için hazırlanan hidrojeolojik etüd raporunda (2001) bu birim içinde açılacak 200 m derinliğindeki kuyulardan 15- 20 l/s debili su alınabileceği belirtilmektedir. 1995 yılında 19350D-33750K koordinatlarında açılmış bulunan 182 m'lik sondajın 7 m'si alüvyon 7-39 m arası kıltaşı 39- 182 m arası kireçtaşı- killi kireçtaşı geçilmiştir. Yarı basınçlı akifer olarak değerlendirilmektedir. Neojene ait kırıntılı istif ince katmanlı kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve çakıltaşı kumtaşı ardalanmaları sunmaktadır. İnce laminalı şeyl, silttaşı ve çamurtaşı da su depolama, beslenme açısından kırık ve çatlak sistemlerinin

geliştiği bölümlerde elverişlidir. Elde edilen sondajlara göre çalışma alanındaki killi kireçtaşlarının kalınlıklarının ortalama 80 m, konglomeraların 30 m ve mermerlerin ise yaklaşık 90 m olduğu anlaşılmaktadır. Bu değere göre killi kireçtaşlarının transmissibilite değeri, loglardan elde edilen 5×10^{-5} m/s permeabilite değeri ve 80 m birim kalınlığı kullanılarak $345.6 \text{ m}^2/\text{gün}$ bulunmuştur. Killi kireçtaşları Tablo 3.12'ye göre akifer potansiyeli “orta” sınıfında yer almaktadır. Etibank perlit tesislerine açılan DSİ'ye ait 35/21036 nolu 150 m derinliktedir ve akiferi oluşturan tek birim Neojen kireçtaşı- killi kireçtaşı ardalanmalı seviyedir. Bu kuyuya ait hidrolik iletkenlik değeri $532 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Bu kuyunun 15 m batısında açılan 35/22214 nolu yedek kuyu 140 m derinliktedir ve hidrolik iletkenlik değeri $733 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak kaydedilmiştir. Bu veriler Neojen kireçtaşının akifer potansiyelinin “yüksek” olduğunu göstermektedir (Tablo 3.13).

3.7.3 Neojen Volkanikleri

Pliyosen yaşlı Cumaovası volkanikleri Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonunu uyumsuz olarak üstlemektedir. Bu kayalar riyolit, perlit, aglomera ve tuf içeriklidir. Tabanda bulunan tüfler geçirimsiz bir yüzey oluşturduğundan tuf ile riyolitlerin sınırında kaynak suları ortaya çıkmaktadır. Şaşal kaynağı bu şekilde oluşmuş bir kaynaktır. Riyolitler pembe, kırmızımsı beyaz-gri renklidir ve ortalama 250 m kalınlığa sahiptir. Şaşal kaynağından uzun yıllardır 6- 8 l/s debili su sağlanmaktadır (Kıral, 1996). Bu birimlere ait veri olmadığından akifer potansiyeli değerlendirilmemiştir.

3.7.4 Bornova Karmaşığı

Çalışma alanında Bornova Karmaşığı olarak adlanan birim Kaynaklar civarında, havzanın batısında ve baraj gölünün güney batısında gözlenmektedir. Genel olarak geçirimsiz birimleri oluşturur. Yeraltısuyla sağlama açısından oldukça zayıf olup, açılan kuyu veya kaynaklardan 0.5 lt/s'den daha az debili yeraltı suyu vermektedir. Çalışma alanı kuzeyinde Nif Dağı'nda olistolit konumlu Kretase yaşlı kireçtaşları Tahtalı Barajı ve yeraltı sularını beslemesi nedeniyle karstik akifer olarak

değerlendirilmiştir. Nif Dağı'nın en önemli özelliği topografyanın aniden yükselmesi sonucu yağış getiren hava hareketlerinin dağın kuzey ve güney kesimlerinde yoğunlaşması ve bu alanlara yağış bırakmalarıdır. Bu yağışlar genel olarak kısa süreli ve şiddetlidir. Çoğunlukla yağmur formunda olan yağışlar dağın deniz seviyesinden 1450 m yüksekliğindeki üst kısımlarında kar olarak gözlenebilmektedir. Allohton kireçtaşlarının yer aldığı kısımlarda değişik yönlerde gelişmiş derin kırık ve fay sistemleri bulunmaktadır. Bu derin kırık sistemleri içinde karmaşık ve yoğun bir yüzeysel drenaj ağı gelişmiştir (Şimşek ve diğer. 2008). Bornova Karmaşığı karmaşık bir litolojiye ve yapısal özelliklere sahiptir. Karmaşık içerisindeki allohton kireçtaşları Erdoğan (1990 b), tarafından Karaburun Karbonat Platformu olarak bilinen kireçtaşı kütlelerinden koparak karmaşığın oluşum ortamı içerisine düşen parçalar olarak tanımlanır. Bu birimler içerisinde debisi 250 lt/s olan kaynaklar mevcuttur (Şimşek ve diğer, 2008). Bu özellikleri nedeniyle Bornova Karmaşığı içerisinde farklı boyutlarda olan allohton kireçtaşları önemli akiferlerden birini oluşturur.

3.7.5 Menderes Masifi Metamorfikleri

Tahtalı Baraj ekseninde yayılım gösteren Paleozoyik şistlerde DSİ tarafından yapılan sondajlarda şistlerin, üst seviyelerde ayrılmış dayanıksız şist niteliğinde olduğu, 13 m derinliğe kadar ayrışmalı orta dayanıklı ve ayrışmalı az dayanıklı bir yapı gösterdiği saptanmıştır. Ayrışmalı ve az dayanıklı bölümlerde kaya kalitesi %10-18 RQD değeri ile çok zayıf, orta- az ayrışmalı ve dayanıklı şistlerde ortalama %61 RQD değeri ile orta olarak saptanmıştır. Basınçlı su deneyleri sonucu şistlerin permeabilitesi 10^{-4} - 10^{-6} m/s ile 10^{-7} - 10^{-8} m/s değerleri arasında bulunmuştur (DSİ, 1988). Şistler genel olarak az geçirimli olarak sınıflandırılabilir.

Paleozoyik mikaşistler stratigrafik olarak tabanda yer alırlar ve yapraklanmaları belirgindir. Parlak gri-kahverengi renk tonlarındadır. Şistozite eğimleri 20° - 40° güneye ve güneybatıya doğrudur. Çalışma alanının güneyindeki dağlık bölümde yüzlek verir. Mikaşistlerin üzerinde az gelişmiş şistozite gösteren açık gri renkli mermer arakatlı şistler bulunmaktadır. Bunların üzerinde metamorfik geçiş zonu

özelliği taşıyan şist arakatlı mermerler yer alır. Paleozoyik yaşlı mermerler alttaki seri ile dereceli geçişlidir, koyu griden beyaza değişik renk tonlarındadır. Mermerlerin kırık ve çatlak sistemleri oldukça gelişmiş olup karstik özellikleri ile havzada akifer özelliğindedir. Orta- kalın tabakalı olan bu birimin tabakalanması 25° - 40° güneye ve güneybatıya doğrudur (DSİ, 1984).

Mermerler yer yer taş ocağı olarak işletilmektedir. Mermerlerde permeabilite katsayısı 1×10^{-6} - 1×10^{-8} m/s aralığında ölçülmüştür (DSİ, 1988). Mermerler “az derecede geçirimli” sınıfında yer almaktadır. Mermerlerin permeabilite değerleri ortalama 10^{-4} m/s kalınlıkları 30 m olarak alındığında $259,2 \text{ m}^2/\text{gün}$ değeri orta akifer potansiyeline karşı gelmektedir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14 Çalışma alanına ait litolojik birimlerin (Şen, 1995’e göre) akifer potansiyeli

Litolojik birim	Transmissibilite ($\text{m}^2/\text{gün}$)	Akifer potansiyeli
Alüvyon	345,5	Orta
Killi kireçtaşı	432	Orta
Konglomera	518,4	Orta
Mermer	259,2	Orta
Kiltaşı	1,38	Zayıf

Akifer potansiyeli açısından çalışma alanındaki akiferler incelendiğinde alüvyon, killi kireçtaşı, konglomera ve mermerlerin genel olarak orta akifer potansiyeli sınıfına, girdiği gözlenmektedir. Kilttaşları zayıf akifer potansiyeli göstermektedir (Tablo 3.14).

Bütün bu değerlendirmeler ışığında serbest akifer özelliğindeki alüvyonlar, killi kireçtaşları, yarı basınçlı akifer özelliğinde olan konglomera ve mermerler en önemli akifer kayalarını oluşturmakta, çok düşük iletkenliği nedeniyle kilttaşları, ve şistler ise geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır.

3.8 Suların İzotop Özellikleri

Hidrojeoloji çalışmalarında farklı kökenli suların ayırtlanması, su kaynakların ekonomik olarak kullanılması , aşırı çekim sonucunda veya doğal koşulların etkisi ile

özelliğini kaybetmiş veya kaybetmekte olan suların kullanılması açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimi mekanizmasının anlaşılması, karışım miktarlarının belirlenmesi, tatlı suyun kirlenmeden işletilmesine olanak sağlaması açısından önemlidir. Çoğu zaman basit hidrojeokimyasal ilişkiler bu mekanizmayı anlamamıza olanak vermektedir. Geleneksel hidrojeolojik yöntemlerin uygulanmasının yeterli olmadığı durumlarda ise özellikle suyu oluşturan elementlerin izotopları çok faydalı olmaktadır. Hidrojeoloji çalışmalarında yararlanılan doğal izotoplar özellikle, "Duraylı İzotoplar" dediğimiz ağır su elemanı olan ve suların yapısında bulunan hidrojenin izotopu Döteryum (D) ile Oksijenin izotopu ^{18}O ve hidrojenin radyoaktif izotopu Tritiyum ^3H dur. Suyun doğal bileşenleri olmaları nedeniyle iyi bir izleyicidirler. Akiferlerde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel / kimyasal süreçler hakkında değerli ipuçları verirler (Kurttaş, 2000).

3.8.1 Oksijen 18 (^{18}O) - Döteryum (^2H)

Yeraltı suyu çalışmalarında kullanılan iki önemli çevresel izotop olan Oksijen 18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$)'un hidrolojik çevrim içindeki miktarı, ortam koşullarına bağlı olarak değişebilir. Oksijen ve hidrojenin duraylı izotopları düşük sıcaklıklarda kaya-su tepkimesine girmedikleri için yeraltı sularının kökeni ve hareketi hakkında bilgi vermede iyi bir izleyicidir (Marfia ve diğer., 2004). Herhangi bir su örneğinin duraylı izotop içeriği mutlak değer olarak değil, ağır olan izotopun hafif olan izotopa oranının, belirlenmiş bir standarttan farkı olarak kütle spektrometresi ile ölçülür ve ifade edilir. Bu amaçla kullanılan standart, Ortalama-Standart-Okyanus-Suyu'nun kararlı izotop içeriğini temsil etmek üzere hazırlanmış olan "SMOW" dur (Clark, ve Fritz, 1997). Bu standarttan fark olarak ölçülen kararlı izotop içeriği binde (‰) olarak ifade edilir ve delta (δ) değeri olarak gösterilir ve buna göre bir örneğin ^{18}O ve ^2H içeriği olarak ifade edilir. Hidrolojik çevrim içinde suyun anılan iki kararlı izotop içeriği gerek yerel olarak ve gerekse zaman boyunca değişimler gösterir. Hidrojen ve Oksijen izotoplarının oranları ile jeolojik çevrimde üç tür su ayırt edilebilmektedir: Kayaçların içinde, oluşumu sırasında hapsedilen deniz suyu; bu durumda yeraltı suyunun beklenenden daha az negatif hatta pozitif ^2H ve ^{18}O değerleri göstermesi

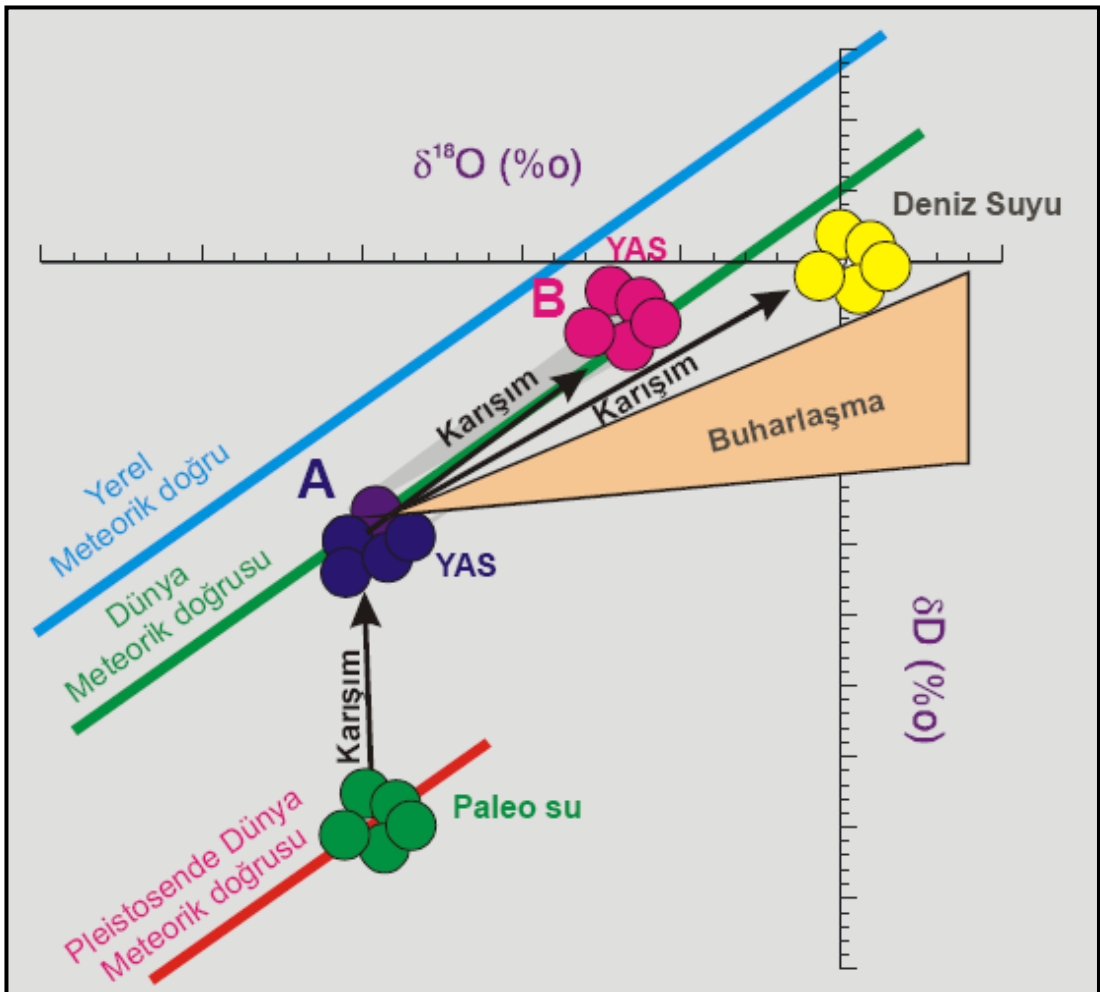
söz konusudur. Yağış sularından itibaren oluşan yeraltı suyu; doğada yaygın olarak rastlanan bu durumda beslenme bölgesindeki yağış rejimine ve bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak (buharlaşma etkisi), negatif $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri gözlenir. Yüksek sıcaklıklarda silikatlı kayalarda izotopik eşdeğerliğe sahip magmatik ve metamorfik su; bu durumda izotopik açıdan özellikle ^2H açısından zenginleşme söz konusu olabileceğinden muhtemelen pozitif $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri gözlenir (Kurttaş, 2002). Ağır izotopların atmosfer içindeki miktarını denetleyen önemli parametreler enlem, kara etkisi, mevsimsel değişim, miktar, yerel sıcaklık, yüksekliktir (Fritz, 1981). Şekil 3.14’de hidrojeolojide sık kullanılan şematik $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği ve bu grafik üzerinde olası karışım sularının bulunabileceği ortamlar gösterilmiştir. Ortalama deniz suyunun, teorik olarak her iki ekseninde “0” olduğu noktada bulunması gerekmektedir beraber buharlaşma etkisine bağlı olarak pozitif $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri gösterebilir. Şekil 3.14’de gösterilen Dünya Meteorik Doğrusunu (DMD) tanımlayan eşitlik şöyledir;

$$\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O}+d\text{.....(4)}$$

Bu eşitlikteki d değeri ya da Şekil 3.14’de Dünya Meteorik Doğrusunun (küresel meteorik doğru) y eksenini kestiği nokta “Döteryum fazlası” olarak tanımlanır ve yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesidir. DMD’sunun d değeri 10 dur ve okyanusların üzerindeki atmosferdeki bağıl nemliliğin fonksiyonudur. Bu özelliği ile paleoiklim çalışmalarında önemli bilgiler sağlamaktadır. Döteryum fazlası buharlaşmanın fazla olduğu bölgelerde daha pozitif değerlere ulaşır ve jeolojik devirlerde hakim olan iklim koşullarına bağlı olduğu gibi dünya üzerinde yerel olarak da değişmektedir. Örneğin ülkemizin de içinde bulunduğu Doğu Akdeniz iklimi için bu değer +24 ‰’ dir (Gat, 1987). Bu nedenle izotop çalışmaları sırasında öncelikle yerel meteorik doğrunun oluşturulması gerekmektedir. Çünkü bölgedeki tatlı suların kaynağı bu doğruyu oluşturan yağışlardan itibaren olacaktır. İzotoplara bağlı yapılacak yorumlar bu doğru sağlıklı bir şekilde oluşturulmaz ise yanlış olacaktır. Örneğin paleoiklim çalışmalarında farklı yağış rejimlerinden beslenen kaynaklar farklı d değerlerine bağlı doğrular üzerinde

yer alacaklardır. Önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltı suları Dünya Meteorik Doğrusu (DMD) üzerinde bulunur (Şekil 3.14).

İlkbahar ve yaz yağışları ile alt kotlardaki yağışları temsil eden sular $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ doğrusu üzerinde B noktası yönünde, sonbahar ve kış yağışları ile topografik olarak üst yüksekliklerdeki yağışlar ise doğrunun A noktası yönünde yerleşirler. Şekil 3.14’de gösterilen buharlaşma etkisi altında olan suların eğimi; eğimi 8 olan DMD’ndan daha düşük bir değere sahiptir ve genellikle 3 ile 8 arasında değişen doğrular üzerinde yer alırlar. (Coplen ve diğer., 2000). Buharlaşma doğrusunun eğimi nemlilik, sıcaklık, tuz konsantrasyonu gibi etkenlere bağlıdır (Gat, 1987) ve meteorik doğru ile olan kesişme noktası, yüzey sularının buharlaşmadan önceki izotopik kompozisyonunu gösterir.



Şekil 3.14 δD (Döteryum) ve $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı ve karışım sürecinin uç bileşenleri (Mook,2001).

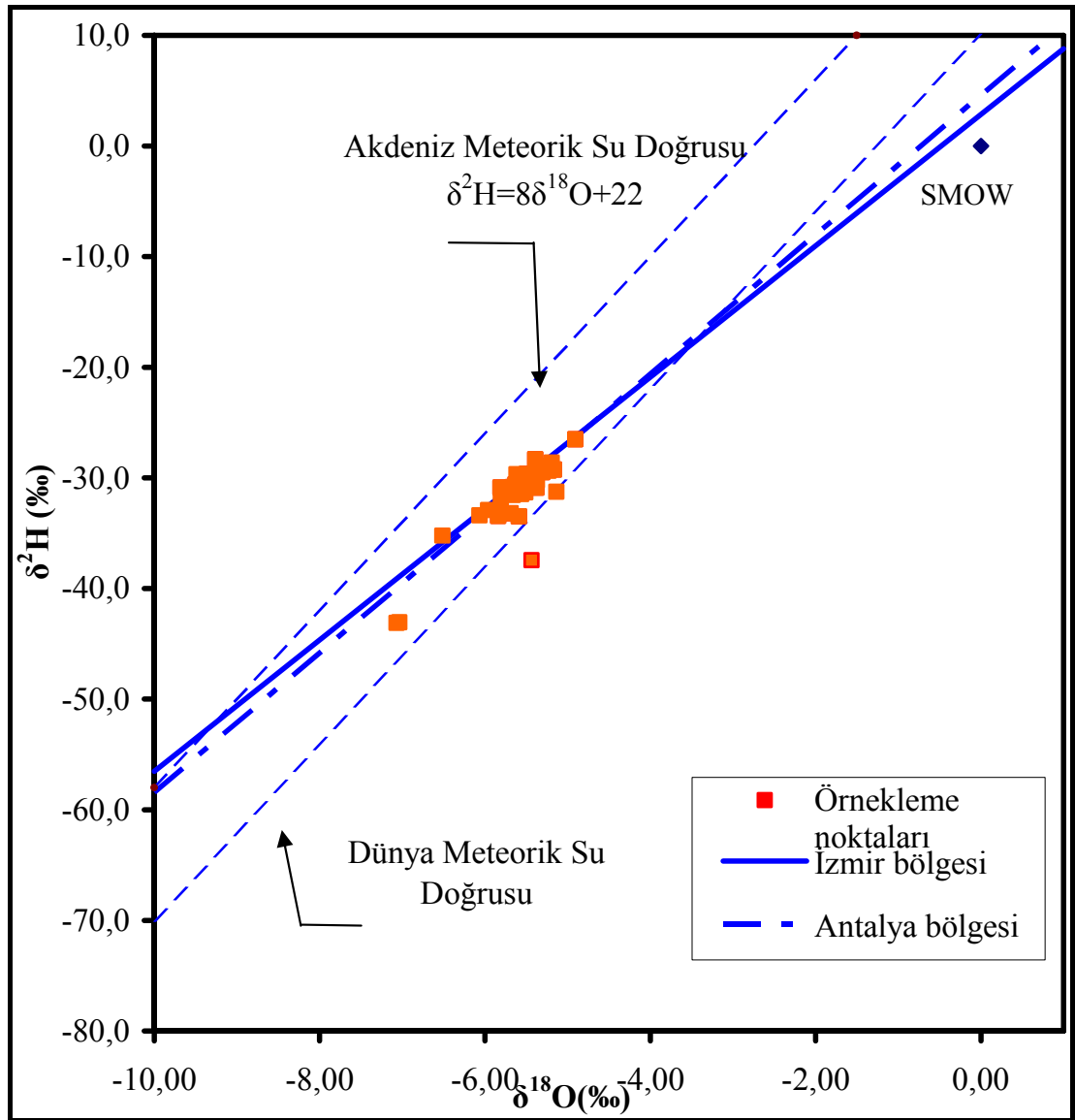
Yağışlardaki ağır izotop miktarı ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) deniz yüzeyinden yükseldikçe azalır. Deniz suyunun Oksijen-18 ve döteryum bileşimleri genellikle paralel olarak değişir. Tatlı sular ağır izotop yönünden deniz suyundan daha küçük değerlere sahiptir. Tatlı sulardaki izotop bileşimi coğrafik enlem ve yüksekliğin artması ile azalır. Doğal sularda kararlı izotop kompozisyonu, $\delta^2\text{H}$ ‰ ordinat ve $\delta^{18}\text{O}$ ‰ apsis olarak alındığında, beslenme alanına düşen yağışlardan alınan örnekler ile boşalım alanındaki kuyu ve kaynak gibi su noktalarından alınan örneklerle ait kararlı izotop değerleri, çizilen grafikte aynı doğru üzerinde bulunur.

Çalışma alanında 35 adet, farklı derinlikte açılmış kuyudan alınan yeraltı suyu örneğinin izotop analizine ait sonuçları Tablo 3.15’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ -4,91 - ‰ -7,07 arasında; $\delta^2\text{H}$ değerleri ise ‰ -26,5 - ‰ -43,1 arasında değişmektedir. Bu değerler ortalama küresel su çizgisi ($\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$) ile Akdeniz meteorik su çizgisi ($\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 22$) arasında kalmaktadır (Şekil 3.15).

Çalışma alanı yeraltı sularının duraylı izotop içeriklerinin bağıl konumları (Şekil.16) yağışlı dönem için meteorik kökeni temsil eden $\delta^2\text{H} = 6.13\delta^{18}\text{O} + 2.77$ doğrusu üzerine düşmektedir. Bu bağıntı Akdeniz sularını temsil eden $\delta^2\text{H} = 6.52\delta^{18}\text{O} + 6.78$ (IAEA, 2002) bağıntısı ile benzerlik taşımaktadır. Nif Dağı karstik akifer sistemi için yapılan çalışmada (Şimşek ve diğer. 2008) $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dağılımına ait doğru denklemi $\delta^2\text{H} = 5,94\delta^{18}\text{O} + 2,86$ olarak bulunmuş olup çalışmamızdaki doğru denklemi büyük bir benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik sözü edilen çalışma alanlarına ait yağışların benzer iklim koşullarında oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 3.17’ye göre (Mook, 2001) A ve B izotopik kompozisyonlarına sahip iki uç yer almaktadır. Bu grafik karışımın nerede olduğunu değil, karışım oranlarını yansıtmaktadır. Çalışma alanına ait yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ kompozisyonlarının, yağmur ve deniz suyunun izotop kompozisyonunun uç bileşenler olduğu doğruya göre konumları Şekil 3.17 üzerinde gösterilmiştir. Çalışma alanına ait yeraltı sularının sonbahar kış yağışlı veya topografik olarak üst yüksekliklerden beslenen suların yer aldığı A noktasına yakın yerleşim gösterdiği, karışım doğrusunu ise kesmediği dolayısı ile deniz suyu ile karışımın olmadığı görülmektedir.

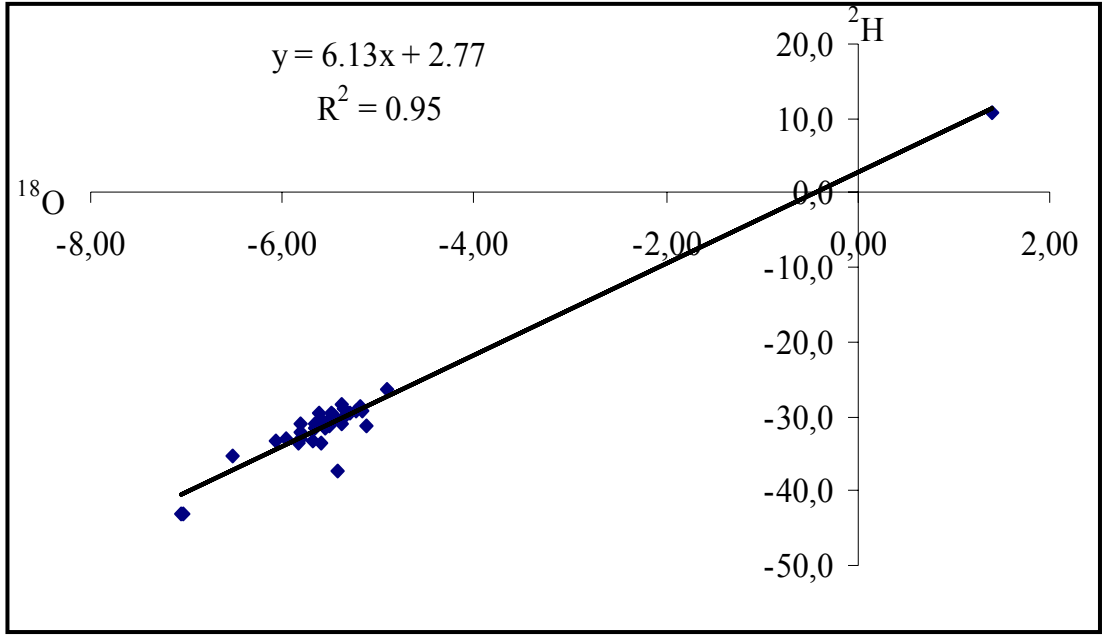
$\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri su- kayaç ilişkisi açısından $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı üzerinde incelenmiştir (Mook, 2001). Çalışma alanına ait yeraltı sularının N63 dışında Meteorik Su Doğrusu üzerinde konumlandığı, bütün örneklelenen suların kayaç mineralleri ile tepkimeye girmeyen bölgede yer aldıkları görölmektedir (şekil 3.18). N63 örnekleme noktası bir keson kuyu olup su seviyesi 10,80 m derinliktedir. Dolayısıyla açık bölgeden buharlaşma bölgesine düşmesi doğaldır.



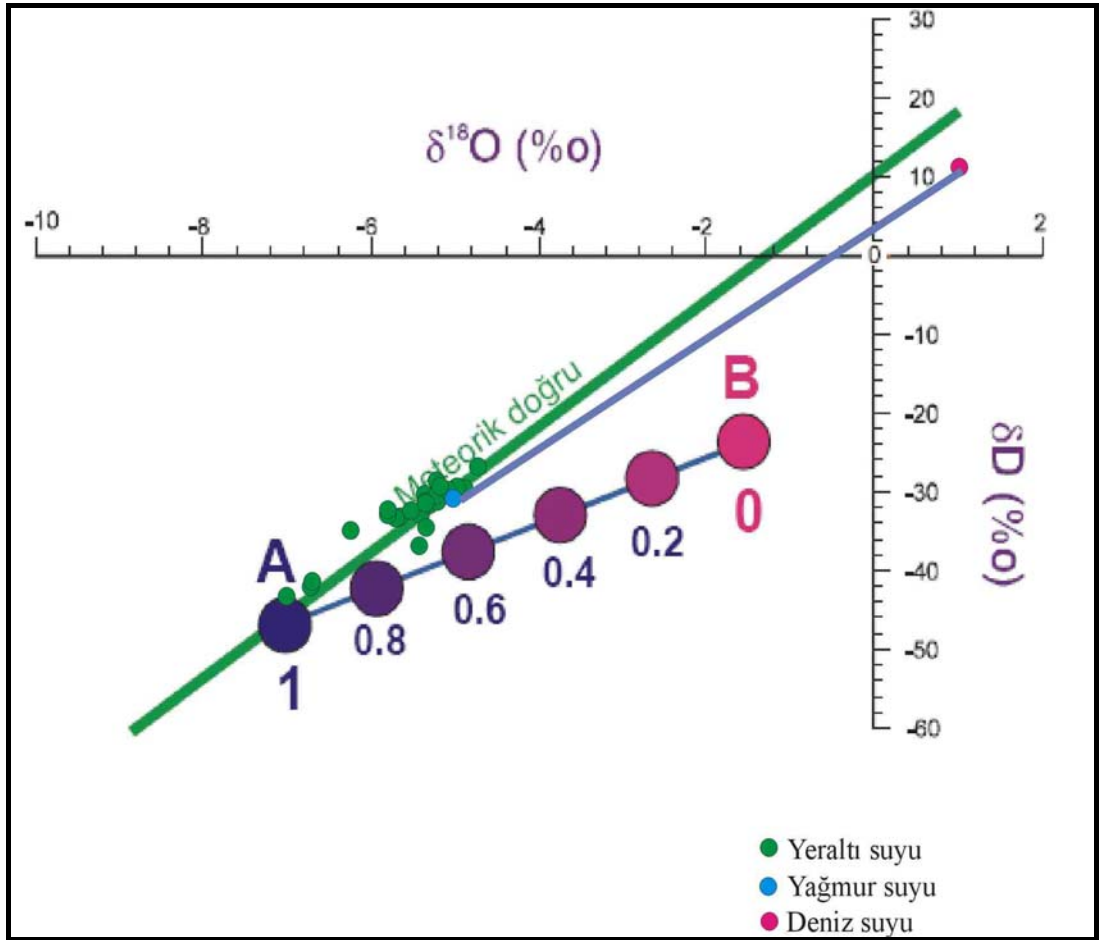
şekil 3.15 çalışma alanı yeraltı sularının standartlara göre bağıl konumu

Tablo 3.15 Çalışma alanına ait suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ‰ (döteryum fazlası) değerleri

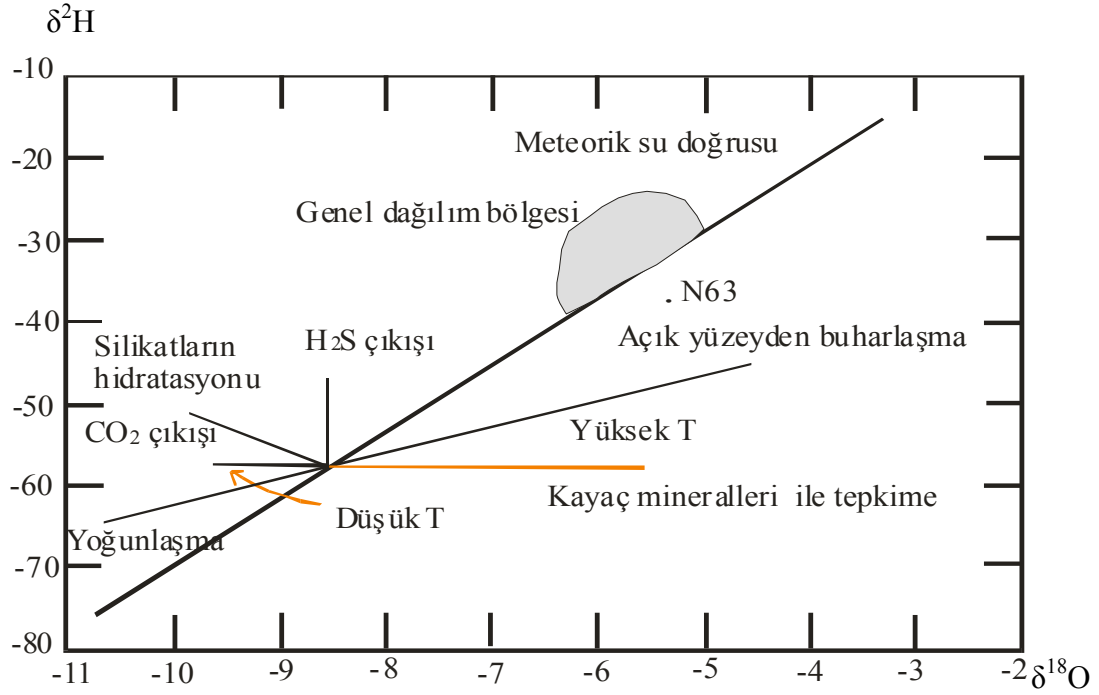
Örnek no	X	Y	Z	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	‰d
K25	523464	4236389	149	-5.69	-33.21	12.30
N05	518110	4224127	50	-5.16	-29.24	12.06
N07	516097	4225548	58	-5.38	-30.91	12.10
N11	514234	4222207	70	-5.39	-28.33	14.79
N15	514467	4224023	55	-4.91	-26.52	12.73
N18	514666	4226385	66	-5.31	-29.51	12.94
N19	513962	4228481	71	-5.59	-33.50	11.20
N21	512716	4227294	78	-5.57	-30.83	13.71
N25	509807	4226045	93	-5.81	-30.88	15.61
N27	510902	4229536	92	-5.63	-30.59	14.44
N30	514089	4230198	84	-5.84	-33.46	13.25
N34	512792	4231945	91	-5.64	-31.01	14.08
N36	511326	4231667	99	-5.66	-30.85	14.45
N42	513289	4232957	100	-5.53	-30.60	13.64
N51	523234	4244791	265	-5.49	-29.63	14.29
N57	521406	4235258	171	-6.06	-33.40	15.12
N62	514754	4234711	100	-5.56	-31.47	13.01
N63	510521	4235833	142	-5.43	-37.43	6.02
N64	507675	4233002	147	-5.46	-29.90	13.77
N65	505242	4231435	176	-5.19	-28.61	12.92
N67	524514	4240998	362	-5.96	-32.91	14.78
N69	518858	4233037	129	-6.51	-35.21	16.87
N70	517731	4235913	130	-5.66	-31.58	13.70
N71	514386	4232121	91	-5.61	-29.68	15.24
N72	513757	4233929	105	-5.65	-30.86	14.34
N73	510753	4233153	109	-5.23	-29.37	12.45
N74	512179	4238200	125	-7.03	-43.06	13.20
N75	512391	4227942	83	-5.81	-32.18	14.28
N76	514985	4229060	71	-7.07	-43.11	13.42
N79	511832	4220924	79	-5.36	-28.93	13.99
N81	516368	4234174	107	-5.51	-31.31	12.77
N84	528391	4240473	336	-5.81	-32.94	13.54
N86	521755	4237257	199	-5.52	-30.93	13.23
N87	520763	4241086	183	-5.37	-30.26	12.69
Yağmur suyu				-5.13	-31.25	9.83
Deniz suyu				1.39	10.78	-0.34



3.16 Çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ korelasyon doğrusu



Şekil 3.17 Yağışlı dönem yeraltı sularının Dünya Meteorik Doğrusu üzerindeki bağıl konumu (Mook, 2001).



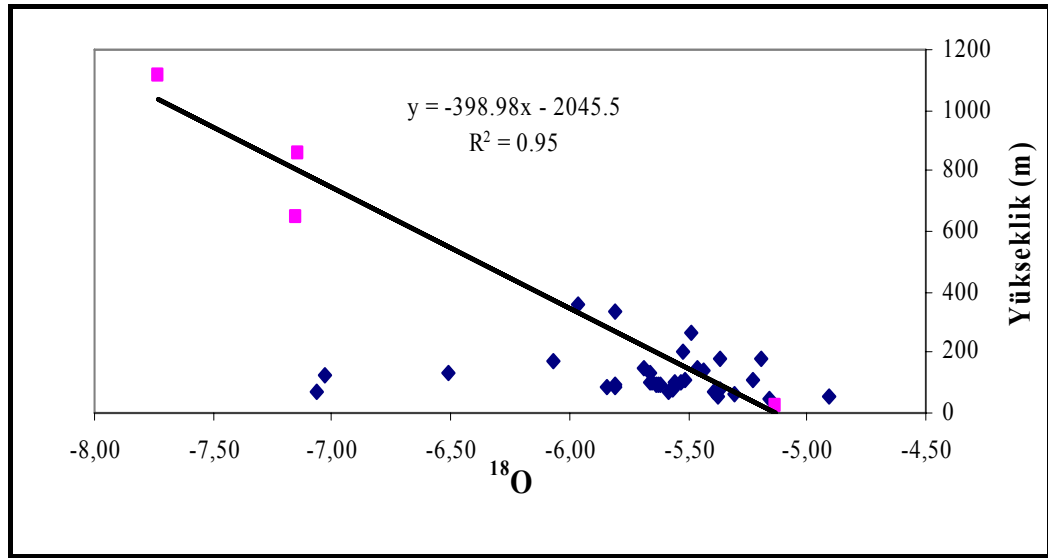
Şekil 3.18 Su-kayaç ilişkisi sürecine ait $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı (Mook, 2001).

3.8.2 $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik Değişimi

Atmosferik su buharının izotopik oranı deniz seviyesinden yükseldikçe ağır izotoplar açısından fakirleşir. Benzer nedenlerle, yaz yağışları kış yağışlarından daha ağır izotopik bileşime sahiptir. Şekil 3.19 da hidrojeoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan izotopların hidrolojik süreç içindeki yeri gösterilmiştir. Sıcaklık, buharlaşmaya etkiyen temel faktörlerden birisi olduğundan sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda ağır izotop zenginleşmesi daha fazla olmaktadır. Okyanus ve denizlerden karalara doğru gidildikçe izotop içeriğinde bir azalma meydana gelmektedir. Yine, yükseklik ile beraber izotop içeriğinde azalma olmaktadır.. Yerel iklim, cephesel yağış sistemleri ve yağışın oluşumunda etkili olan topografyaya bağlı olarak yağış suyunun $\delta^{18}\text{O}$ değeri her 100 m'lik kot artışına karşın % 0.15-0.5 arasında azalma göstermektedir (Clark ve Fritz, 1997). Bu ilişkiden hareketle, belirli bir alanda değişik kotlara düşen yağışların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin bilinmesi durumunda yeraltı suyunun beslendiği ortalama yüksekliğin belirlenmesi mümkündür.

arasındaki korelasyon doğrusunun oluşturulmasında kullanılmıştır (Şimşek ve diğer, 2006). Çalışma alanındaki $\delta^2\text{H} = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$ eşitliğine ait korelasyon katsayısı $R^2 = 0,88$ bulunmuştur. Bu benzerlik çalışma alanındaki suların hızlı buharlaşma ve yağ sisteminden bir beslenme olduğunu işaret etmektedir. Beslenmenin özellikle Kuzeydoğudaki Nif Dağı ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Duraylı izotoplardan döteryum ve oksijen-18 arasındaki ilişki belli yağış rejimleri için zaman içinde değişmez. Bu nedenle, örneklerdeki döteryum fazlası değerleri kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenebilir. Döteryum fazlasının yüksek değerler aldığı noktalarda denizel kökenli yağışlar görülmesine karşılık düşük değerler daha çok karasal kökenli yağışları temsil etmektedir. Ortalama değerler ise her iki kökene ait yağışlardan beslenme ile ilgili olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı yeraltı sularına ait döteryum fazlası % 11.20- % 16.87 arasında değişmektedir (Tablo 3.15). Çalışma alanının verilen aralıkta değişen yüksek döteryum fazlası değerleri denizel kökenli yağışların egemen olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.20 $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik grafiği

İzotop kimyası, İzmir'in Akdeniz iklim koşullarına benzer özellik sunduğunu yansıtmaktadır. Ayrıca alüvyon ve karstik akiferdeki yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ değeri, yağmur sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerine oldukça yakın değer verirken, daha derinde yer alan

konglomeralardaki $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi düşük olup - 6.06 ile -7.07 arasında değişmektedir.

Tablo 3.16 $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine göre hesaplanan beslenim yüksekliği değerleri

Örnek No	X	Y	Z	δO^{18}	Beslenim Yüksekliği (m)
K25	523465	4236389	149	-5.69	224
N05	518110	4224127	50	-5.16	14
N07	516097	4225548	58	-5.38	100
N11	514234	4222207	70	-5.39	105
N15	514467	4224023	55	-4.91	-88
N18	514666	4226385	66	-5.31	71
N19	513962	4228481	71	-5.59	184
N21	512716	4227294	78	-5.57	176
N25	509807	4226045	93	-5.81	273
N27	510902	4229536	92	-5.63	200
N30	514089	4230198	84	-5.84	284
N34	512792	4231945	91	-5.64	203
N36	511326	4231667	99	-5.66	214
N42	513289	4232957	100	-5.53	160
N51	523234	4244791	265	-5.49	145
N57	521407	4235258	171	-6.06	374
N62	514755	4234711	100	-5.56	172
N63	510522	4235833	142	-5.43	122
N64	507675	4233002	147	-5.46	132
N65	505242	4231435	176	-5.19	26
N67	524514	4240998	362	-5.96	333
N69	518859	4233037	129	-6.51	552
N70	517731	4235913	130	-5.66	213
N71	514386	4232121	91	-5.61	195
N72	513757	4233929	105	-5.65	209
N73	510753	4233153	109	-5.23	40
N74	512179	4238200	125	-7.03	761
N75	512391	4227942	83	-5.81	271
N76	514985	4229060	71	-7.07	774
N79	511832	4220924	79	-5.36	95
N81	516368	4234174	107	-5.51	153
N84	528392	4240473	336	-5.81	272
N86	521756	4237257	199	-5.52	157
N87	520763	4241086	183	-5.37	96
P-31	532945	4246821	1116	-7.73	1039
P-9	533970	4249150	861	-7.14	803
P-7	534532	4251955	650	-7.15	807
Yağmur suyu			25	-5.13	

Bu sonuçlar karstik ve alüvyon akiferin hızlı beslendiğini göstermektedir. Buna paralel olarak akiferin beslenme miktarını bulmak için yapılan klorür kütle taşınımı bağıntısına göre yeraltı suyu beslenmesi yıllık bazda 8-240 mm arasında değişmektedir ve en yüksek beslenme değerinin, karstik kireçtaşlarından olduğu belirlenmiştir (Barış ve diğer., 2008).

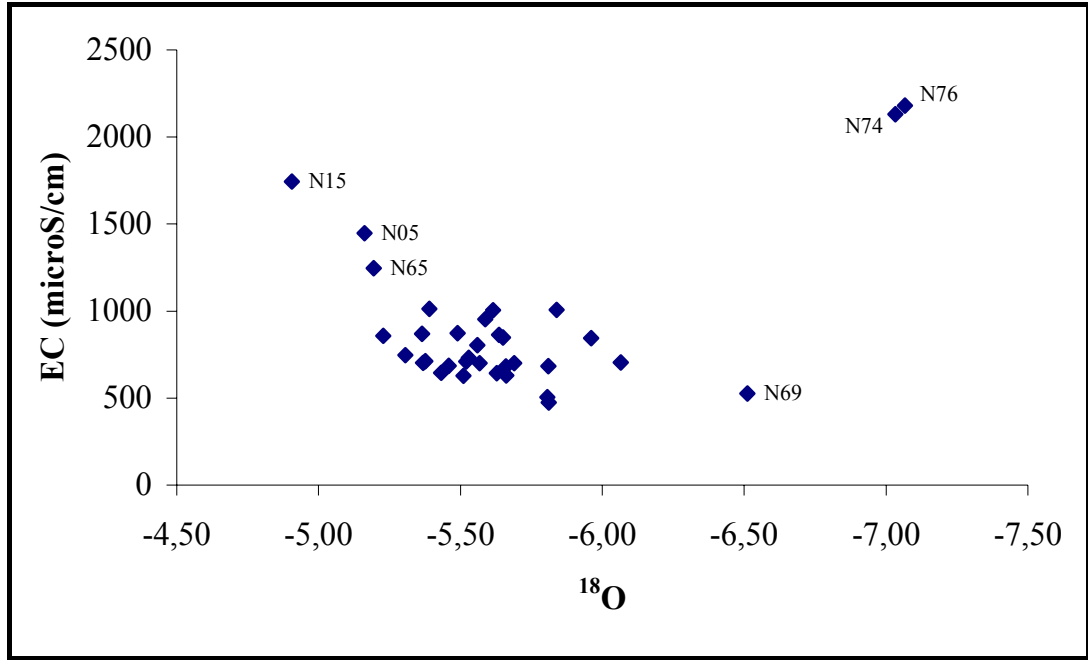
Önemli oranda içme ve sulama suyu sağlanan Tahtalı Baraj Havzası'nda yeraltı sularının kuzeydoğu ve kuzeybatıdan beslendiği ve güney batıya doğru hareket ettiği göz önüne alındığında, havzada yeraltı suyu koruma alanlarının karstik ve alüvyonel alanların bulunduğu kesimlerde yoğunlaştırılması kirlenmeyi önleme açısından önem taşımaktadır. Çalışma alanında her 100 m'lik kot artışına karşın $\delta^{18}\text{O}$ değeri ‰ 0,22 azalma göstermektedir.

3.8.3 $\delta^{18}\text{O}$ - Cl ve $\delta^{18}\text{O}$ - EC Değişimi

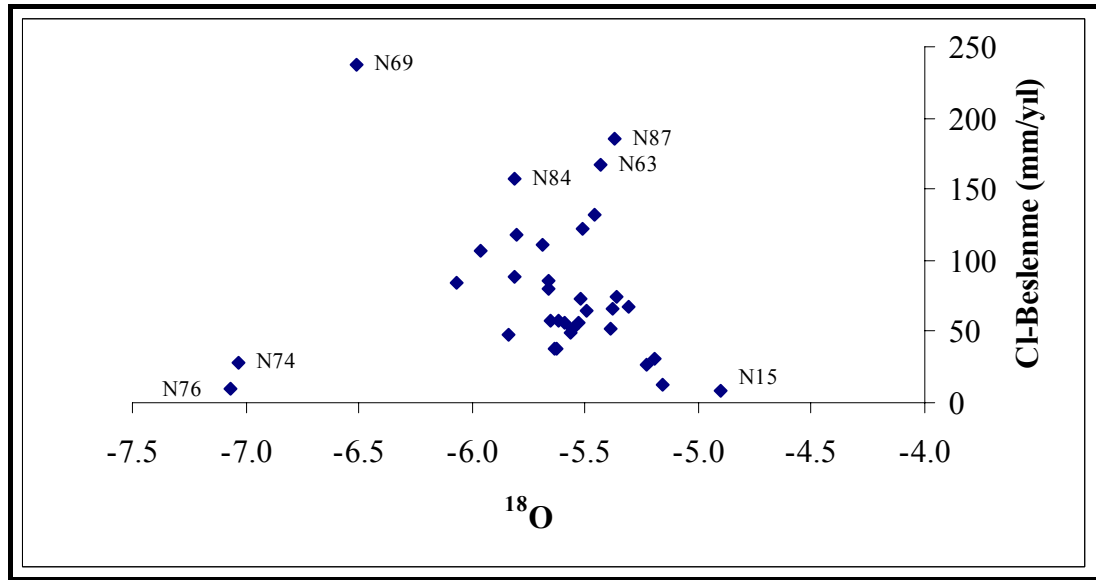
Yeraltı sularının elektriksel iletkenliği (EC) içerdiği iyon miktarı ile doğru orantılıdır. Çalışma alanında bulunan sular Ca-Mg-HCO₃ iyonları açısından zengin olduğundan EC değeri yeraltı sularının karbonatlı kayaçlar ile temas süresi hakkında bilgi verebilir.

δO^{18} ve EC arasındaki ilişki incelendiğinde düşük EC değerlerinin düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine karşılık geldiği görülmekle birlikte aralarında düşük korelasyon bulunmaktadır. Buna neden olarak farklı litolojide akiferlerin varlığı ve su- kayaç reaksiyonunun olmaması gösterilebilir (Şekil 3.22). Düşük EC değerine karşın yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değeri daha sık dolaşımı (N73, N18, N07), denizel yağışların etkili olduğu bir akifer sistemini işaret etmektedir. N69 nolu örnek noktası düşük EC, düşük $\delta^{18}\text{O}$ içeriği ile dikkat çekmektedir. Bu durum üst kotlardan beslenim buna karşın karbonatlı kayaçlarla kısa süreli etkileşim ile açıklanabilir. N15, N05, N65 nolu örnek noktaları ise yüksek EC, yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değeri ile temsil edilmektedir. Bu koşullar alt kotlardan beslenim ve karbonatlı kayaçlarla daha uzun süreli teması göstermektedir. N74 ve N76 örnekleri yüksek EC, düşük $\delta^{18}\text{O}$ içeriği yansıtmakta

dolayısıyla yüksek kotlardan beslenme ve karbonatlı kayaçlarla daha uzun süre teması ifade etmektedir.



Şekil 3.21 EC- $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı



Şekil 3.22 Cl beslenme- $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı

Çalışma alanına ait diğer örnek noktaları 500-1000 microS/cm EC değer aralığı ile 5,2 ile 6,1 $\delta^{18}\text{O}$ (‰) değer aralığının sınırladığı bölge içerisinde kalmaktadır. Bu bölgedeki örnek noktaları için, beslenme yüksekliği değerleri (Tablo 3.16) da

gözetilerek 200-400 m aralığında kotlardan beslenen karbonatlı kayaçlarla uzun süre etkileşim göstermeyen yeraltı suları oldukları sonucu çıkarılabilir.

Çalışma alanı için gerçekleştirilen Cl beslenme- $\delta^{18}\text{O}$ grafiğine (Şekil 3.22) göre beslenmenin daha fazla olduğu bölgelerde $\delta^{18}\text{O}$ değeri düşmektedir. Bu durum karasal yağışlar ve yükseklik artışı ile açıklanabilir. N15 yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerine karşın düşük beslenmeli bir örneği göstermektedir. 45 m su tablası kotunda olan bu kuyu denizel kökenli yağışlarla beslenmekte Neojen kırıntılıları ve sığ alüvyon dolgu üzerinde yer almaktadır. N74 ve N76 düşük beslenmeli ve düşük $\delta^{18}\text{O}$ içeriğine sahiptir. Her ikisi de alüvyon dolgu üzerinde yer almakla birlikte killi seviyeleri kesmeleri nedeni ile düşük beslenmelidir. N69 Oğlananası kuzeyinde yer alan bir kuyudur. Yüksek beslenme düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir. Kuvaterner alüvyon dolguyu Neojen kireçtaşı ve killi kireçtaşları izlemektedir. Dolayısıyla beslenme değeri yüksektir. $\delta^{18}\text{O}$ değerinin çevre kuyulardan düşük olması bağıl olarak daha hızlı bir çevrimi göstermektedir.

3.9 Tahtalı Baraj Havzası Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi

Bir su havzası yüzey drenaj ağının oluşturduğu hidrolojik havza ve jeolojik birimlerin oluşturduğu hidrojeolojik havzadan yapıldır. Girdi ve çıktısı ile bir sistemi oluşturan bu havzalar arasında bir denge bulunmaktadır. Hidrolojik çevrim içinden hidrojeolojik çevrime yağış türleri ile giren bir su girdisi bulunmaktadır. Yüzey suları, yeraltı suları ve kaynaklarla su çıktısı sağlanmaktadır.

Tahtalı Baraj Havzası'nda çalışma alanı Tahtalı Barajı koruma alanları ile sınırlandırılmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi çalışma alanı sınırları su havzasını tam olarak temsil etmemektedir. Örnekleme için seçilen 35 noktadan çalışma alanı sınırları dışında kalan noktalar da bulunmaktadır. Su havzasının yapısını daha iyi anlayabilmek için bu örnek sonuçlarından da yararlanılmıştır.

Çalışma alanındaki yeraltı sularında mevsimsel değişiklikleri saptamak amacıyla, yağışlı (Mayıs-2007) ve kurak dönemi temsil etmesi için (Ekim-2007) iki kez örnekleme yapılarak değişimler saptanmıştır. Değerlendirilen sıcaklık, EC, pH değerleri arazide ölçülmüştür. Analiz sonuçları Aquachem 3.7 programına aktarılmış ve suların sertlik derecesi, SAR ve su fasiyesleri bulunmuştur. Ayrıca Piper, Schoeller, ABD Tuzluluk Laboratuvar Diyagramı oluşturularak yorumlanmıştır. Analizi yapılan yeraltı suyu örnekleri TS266 (2005), WHO (2004) ve EPA (2003) standartları ile karşılaştırması öncelikle TS266 standardı gözetilerek yapılmış, TS266 standardının aşılmadığı durumlarda WHO (2004) ve EPA (2003) standartları ile de karşılaştırması yapılmıştır.

3.9.1 Suların Elektriksel İletkenliği (EC)

Elektriksel iletkenlik direncin karıştıdır ve 25 °C de ki suyun iletkenliğidir, ölçüsü micromho/cm ile ifade edilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1984). İçme ve kullanma sularının sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Tablo 3.17). TS266 (2005) 'ya göre kabul edilebilir EC değeri 2500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)'dir. Çalışma alanındaki yeraltı sularının tamamı TS266 (2005), WHO (2004) ve EPA (2003)'nın maksimum değerlerini aşmamaktadır. EC değerleri; yağışlı dönem için 474-2180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kurak dönem için 445-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişim göstermektedir.

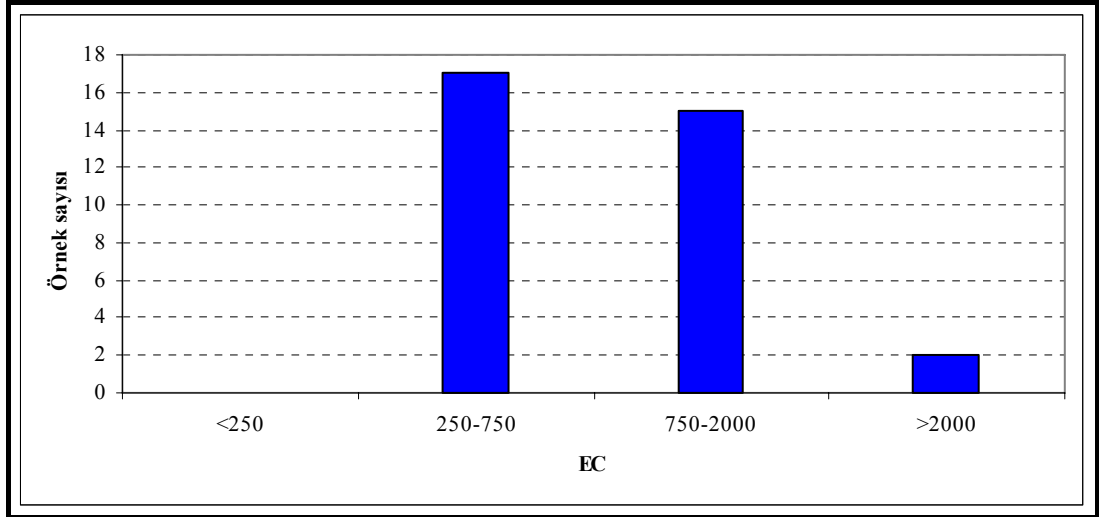
Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının EC değerlerinin genel olarak düşük değerler yansıttığı EC dağılım haritası (Şekil 3.25) ve frekans dağılım değerlerinden görülmektedir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24). Yağışlı dönem için EC değeri, 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olan örnek sayısı 17, 750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olan örnek sayısı 15, >2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değerde olan örnek sayısı ise 2'dir (Şekil 3.23). Yüksek EC değerleri alüvyonal sahalarda ve yerleşim alanlarında gözlenmektedir. Yağışlı ve kurak döneme ait EC değerleri karşılaştırıldığında K25, N07, N11, N18, N25, N51, N74, N81 örnekleme noktalarına ait EC değerlerinin kurak dönemde arttığı gözlenmektedir (Şekil 3.24).

Yüksek EC değeri taşıyan örneklerin Adnan Menderes Havaalanı ve Develi köyü civarı bölgeyi temsil ettikleri görülmektedir. TS266 (2005)'ya göre sulamada 2000

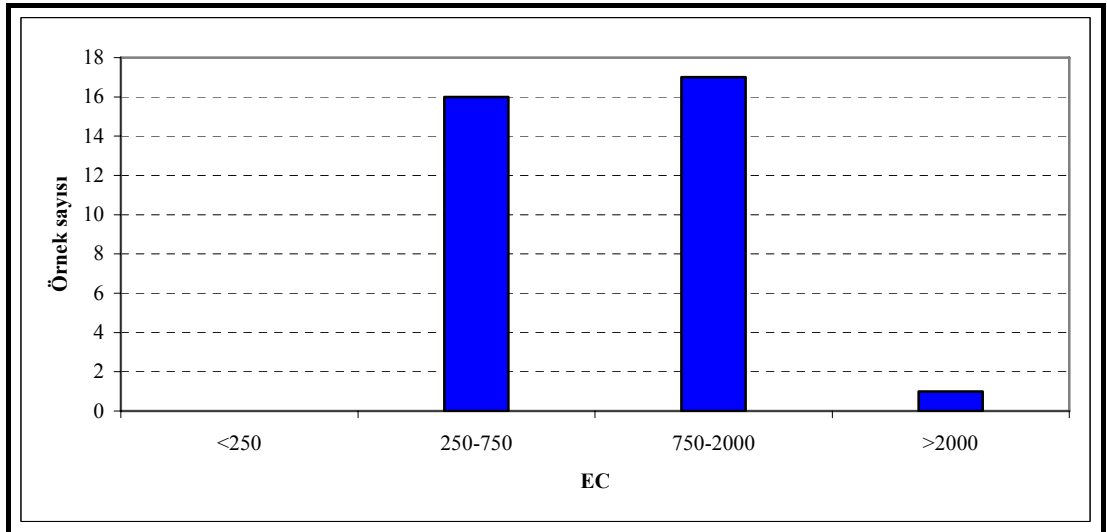
($\mu\text{S}/\text{cm}$), içme sularında 600 ($\mu\text{S}/\text{cm}$); EPA'ya göre 1250 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri sınır değerlerdir. N74 ve N76'da TS266 standardı olan sulama suyu maksimum değeri 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri aşılmıştır. Bu değerlerin sulamada aşılması durumunda bitkilerde yanma ve kurumalara neden olmaktadır.

Tablo 3.17 Suların EC' ye göre sınıflaması (Şahinci, 1991)

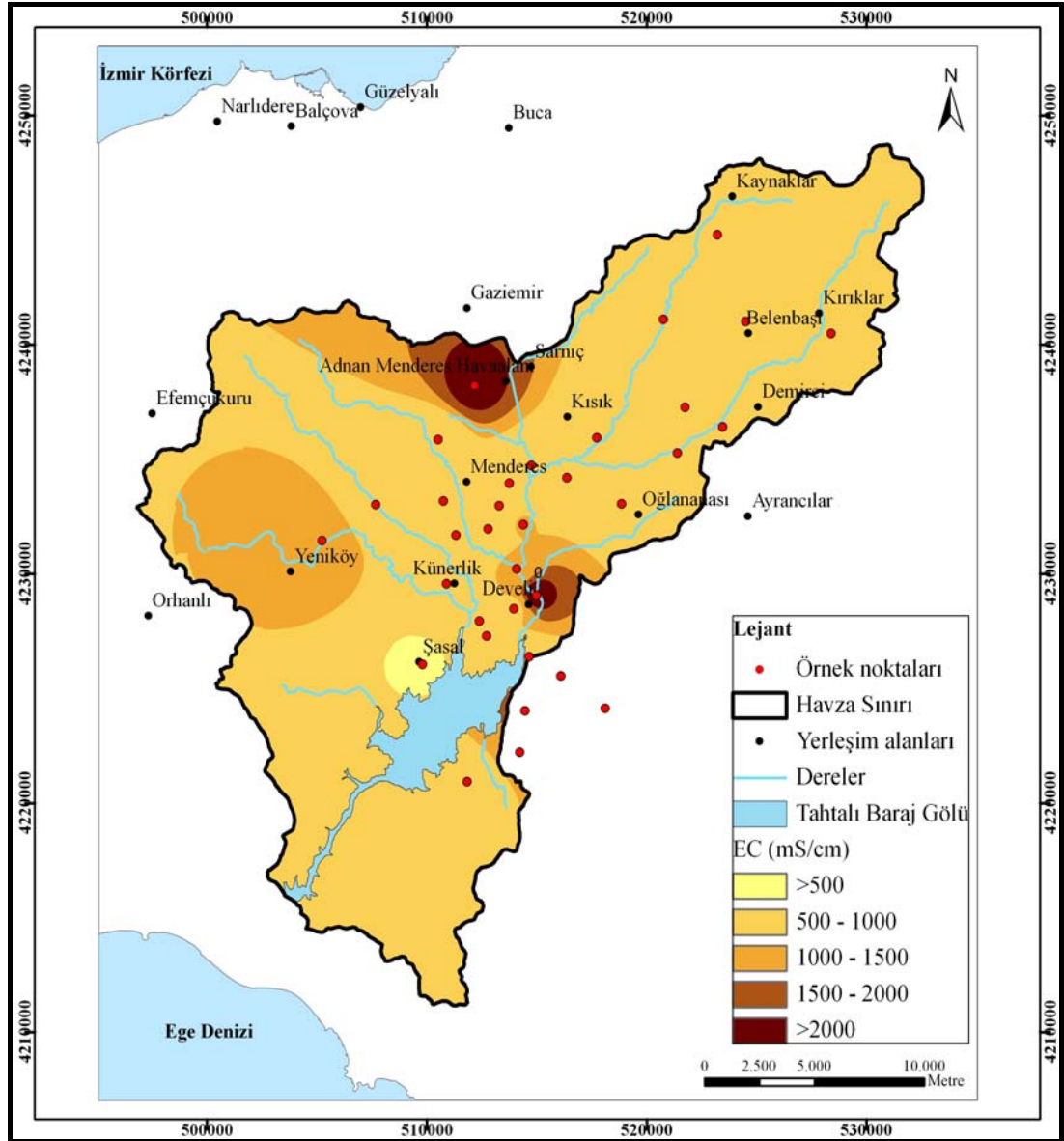
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Su sınıfı
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılamaz



Şekil 3.23 Yağışlı dönem EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) frekans değerleri



Şekil 3.24 Kurak dönem EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) frekans değerleri



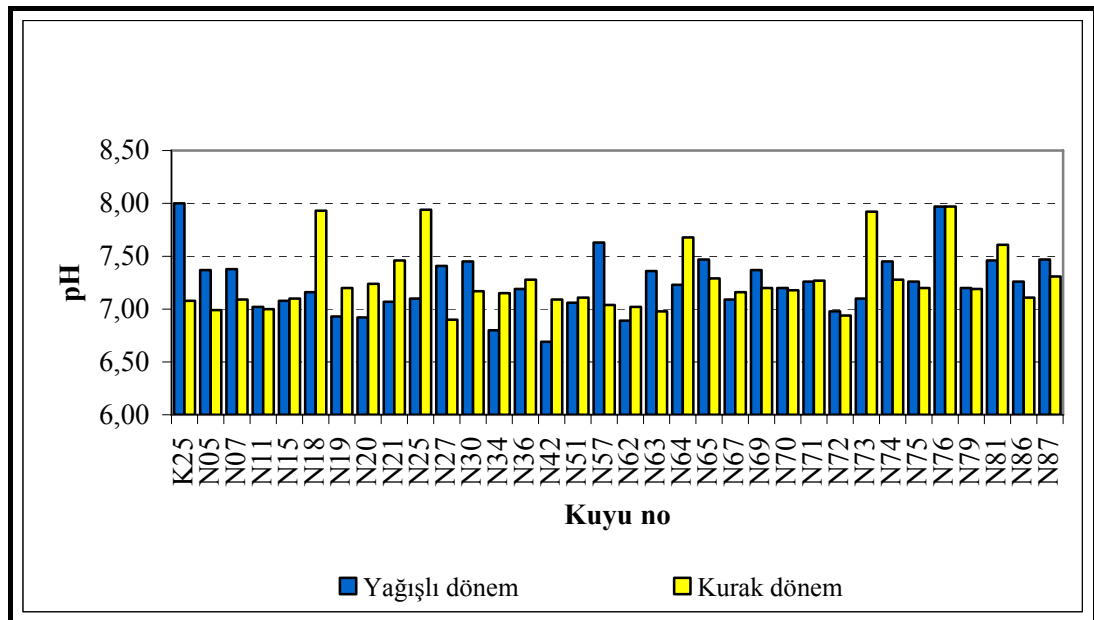
Şekil 3.25 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının yağışlı dönem (Mayıs 2007) EC (mS/cm) dağılım haritası

3.9.2 Suların pH Değerleri

Suyun içerdiği hidrojen iyonu aktivitesinin 10 tabanına göre negatif logaritması suyun pH'ı olarak tanımlanmaktadır. pH'ın 7 değeri suyun nötr, 7'den küçük değeri asidik, 7'den büyük değerleri ise alkalın özellikte olduğunu gösterir. pH'ın 6,5'in altında olduğu düşük pH'lı sular metal boruları korozyona uğratar ve suya metalik bir tat verir. pH'ın 8,5'den büyük olduğu yüksek pH'lı sular suya kayganlık hissi ve soda tadı verir (EPA, 2003). Soğuk yeraltı sularının pH değeri 4-9 arasında değişmektedir. Düşük pH'larda egemen karbonat türü H_2CO_3 , yüksek pH'larda ise CO_3^{2-} 'dir (Fetter,

2001). Yeraltı sularının pH'ı çoğunlukla CO_2 -($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) dengesinin etkisindedir. CO_2 gazının suda çözünme miktarı, basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle çalışma alanına ait suların pH değerleri arazide ölçülmüştür.

Çalışma alanındaki yeraltı sularının pH değeri yağışlı dönemde 6,69-8,00 arasında değişmekte en düşük değeri N42, en yüksek değeri K25 örnekleme noktası göstermektedir (Tablo 3.19). Kurak dönem pH değerleri 6,90-7,97 arasında değişim göstermektedir (Tablo 3.20). Hem yağışlı ve hem kurak dönem pH ortalaması 7,26'dır. Kurak dönemde N19, N20, N21, N25, N27, N30, N34, N42, N62, N65, N67, N73, N81 yağışlı döneme göre daha yüksek pH değerlerine sahiptir (Şekil 3.26).

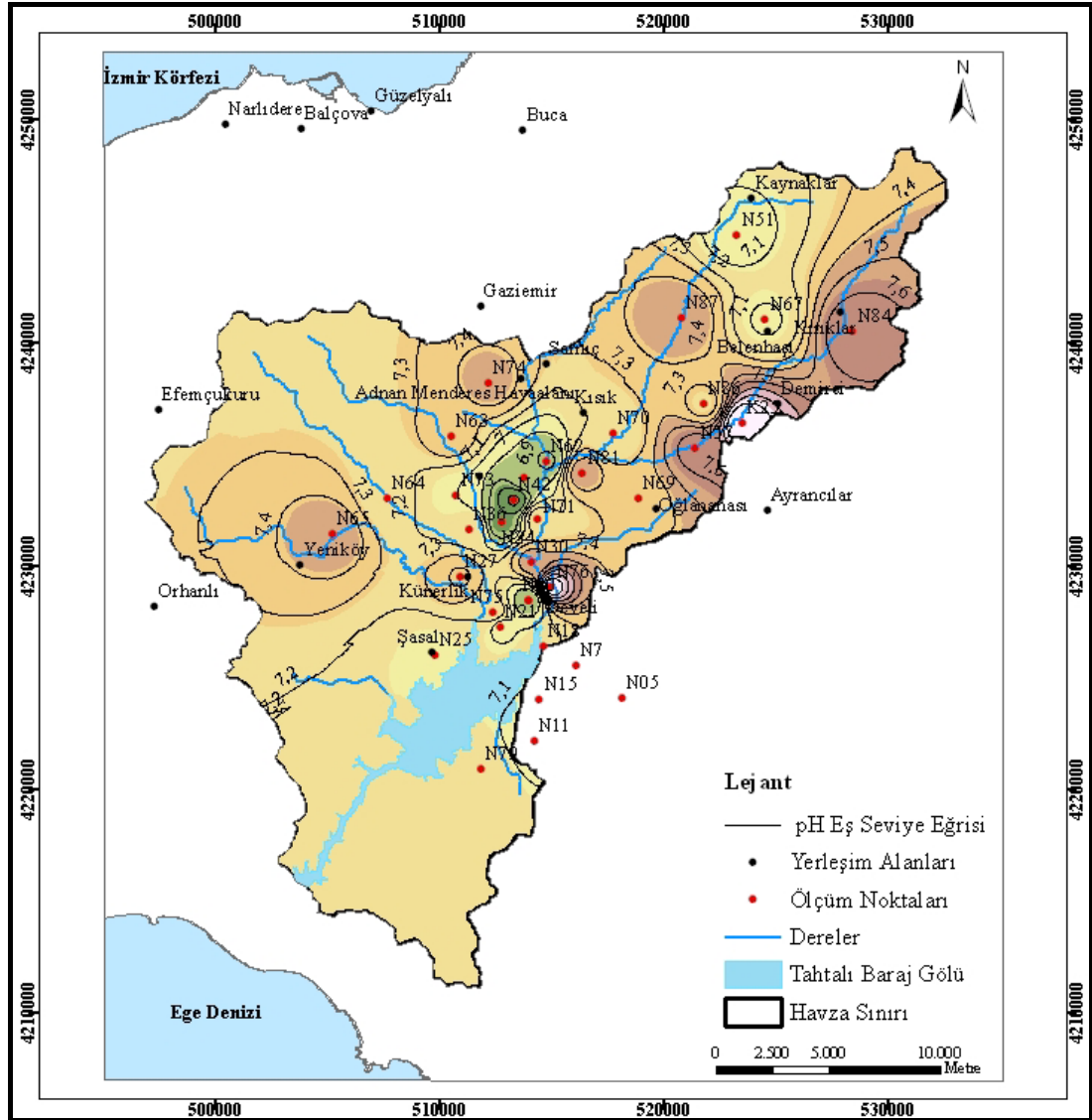


Şekil 3.26 Yağışlı ve kurak dönem yeraltı suyu örneklerinin pH grafiği

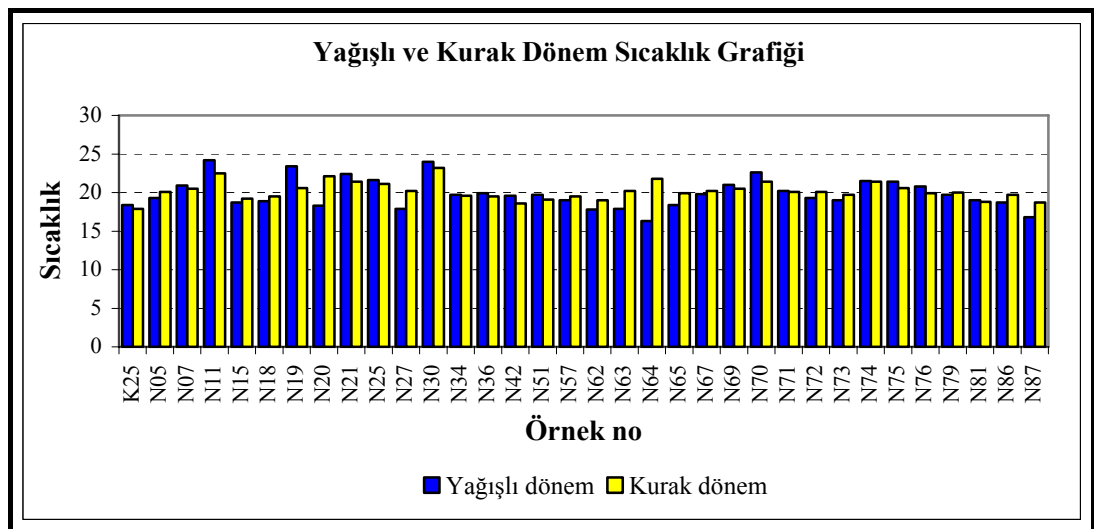
Yağışlı dönem pH eş seviye haritasına göre (Şekil 3.27) Kırıklar, Demirci, Adnan Menderes Havaalanı, Develi ve Yeniköy'de yeraltı sularında nötr ve zayıf alkalin pH değerleri görülmektedir.

3.9.3 Sıcaklık

Yağışlı ve kurak döneme ait sıcaklık grafiği incelendiğinde kuyuların çoğunda kurak dönemde yağışlı döneme göre bir artış gözlenmektedir (Şekil 3.28). Bu yeraltı sularının yüzey sularından etkilenen sığ dolaşımli sular olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.27 Yağışlı dönem yeraltı suyu örneklerinin pH eş değeri haritası



Şekil 3.28 Yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem sıcaklık (°C) grafiği

K25, N07, N11, N19, N21, N25, N30, N34, N42, N51, N69, N70, N75 ve N76 kurak dönemde, yağışlı döneme göre ortalama 0,22 °C düşüş göstermekte, N71 ve N74'de değişim olmamaktadır. Bu söz konusu suların mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen daha derin dolaşımli sular olduklarını ifade etmektedir.

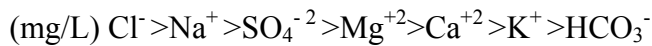
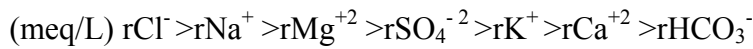
3.10 Yeraltı Sularının Sınıflaması ve Kimyasal Özellikleri

Havzaların su potansiyeli yanında kimyasal özellikleri de önem taşır. Geniş yayılım gösteren akiferlerde açılan kuyuların su analizleri noktasal özellikleri yansıtır. Çok sayıdaki su tahlilinden ilk bakışta havzada oluşan jeokimyasal değişimleri, kirlenme alanlarını, olağan dışı kimyasal değişim gösteren bölgeleri saptamak zordur. Jeokimyasal haritalar ile yeraltı suyu eş seviye eğrileri, jeofizik, jeoloji çalışmalarının ışığında, su tablasında yatay ve düşey yönde meydana gelen litolojik, geçirgenlik gibi özellikler saptanabilir.

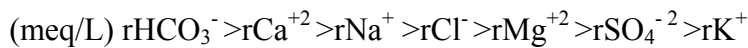
Su molekülünü oluşturan Hidrojen ve Oksijenin dışında, doğal sularda bulunan elementlerin başında Na, Ca, C, Cl ve S gelir. Bu elementlerin sularda miktarları ve önem sıraları değişiktir (Şahinci, 1991). Potasyum deniz suyunda başlıca elementler arasında olmasına karşın yeraltı sularında ikincil durumdadır.

Deniz suyunda ve tatlı sularda meq/L (r) ve mg/L olarak başlıca iyonların sıralanışı aşağıdaki gibidir;

Deniz suyu



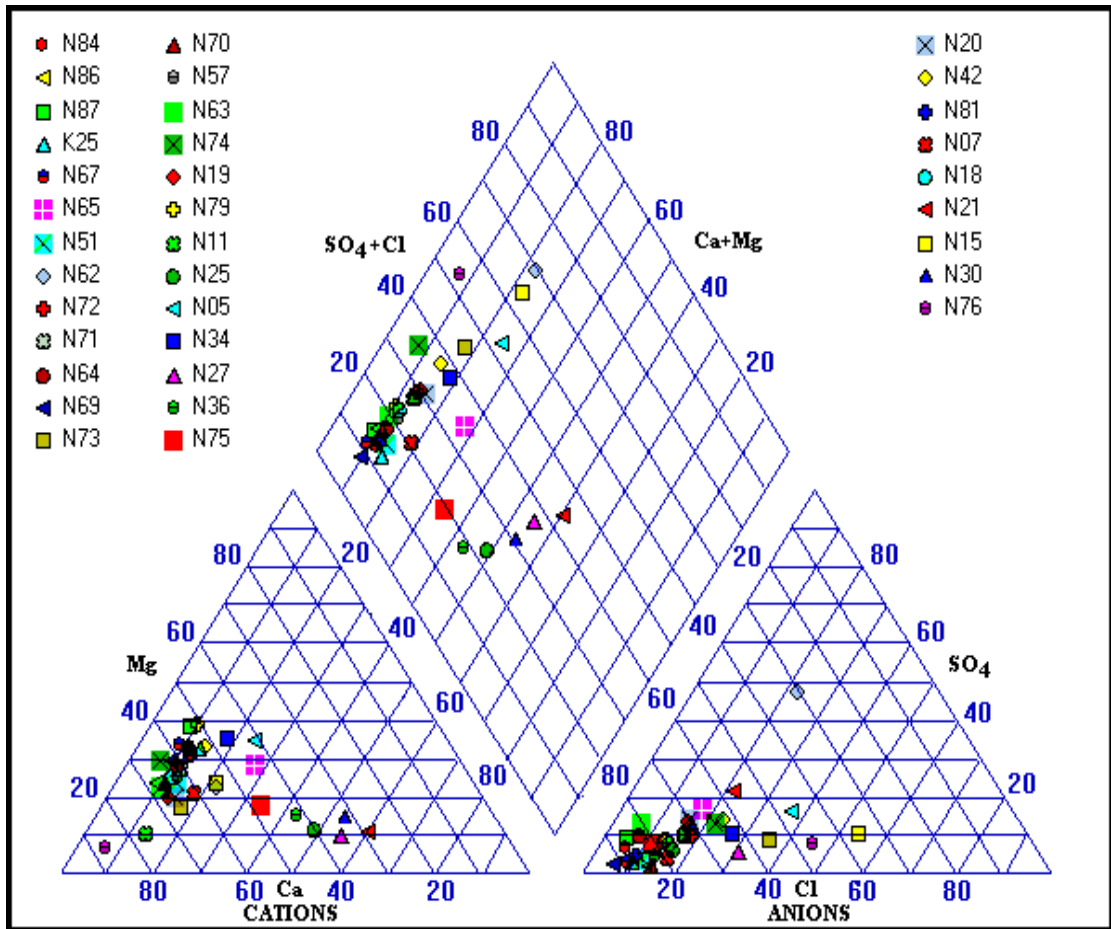
Tatlı sular



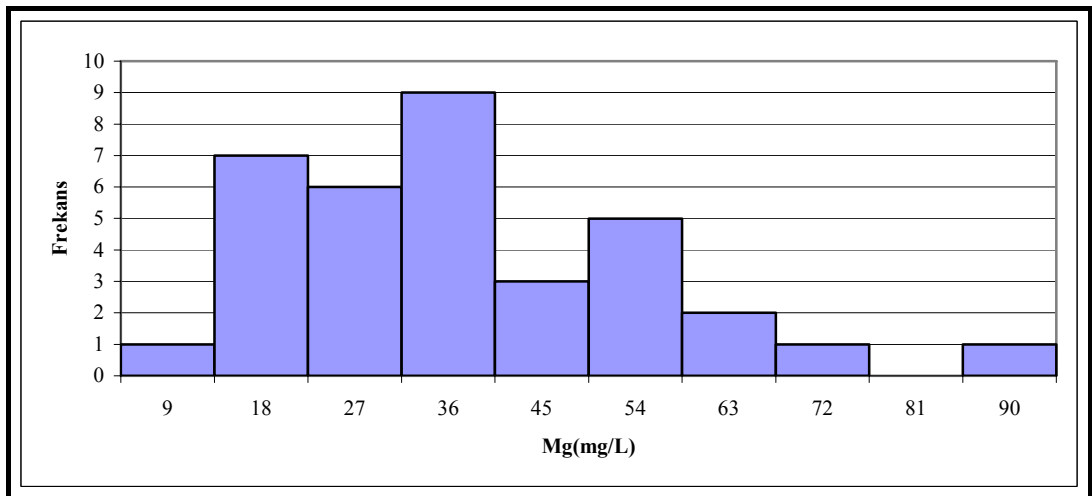
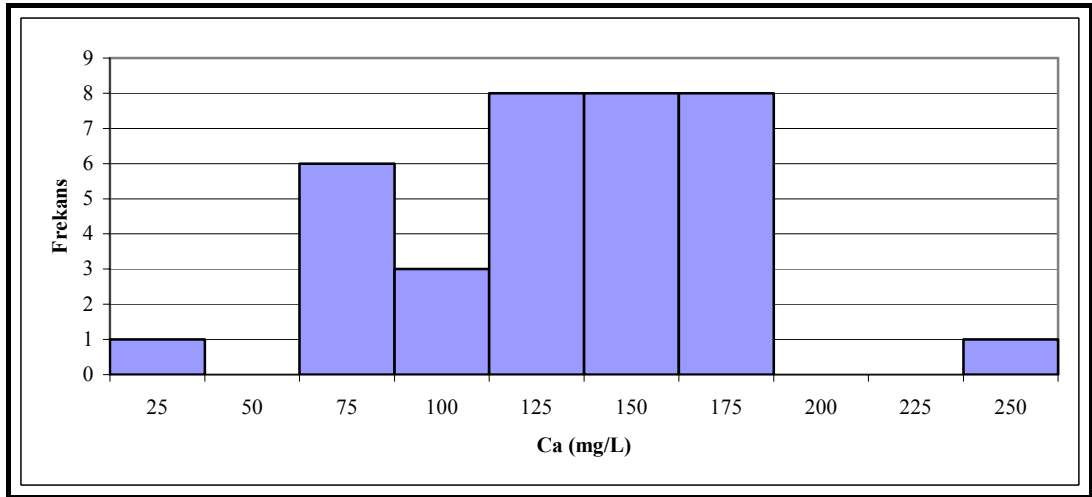
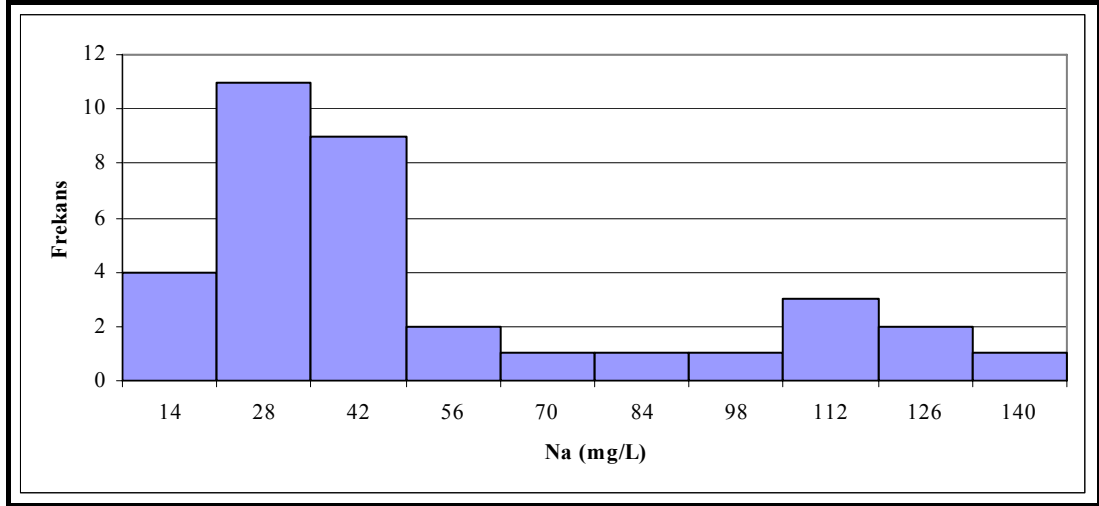
Çalışma alanındaki yeraltısuları $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ özelliği gösterir ve baskın olarak Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir havzanın alüvyonla kaplı bölgesinin

büyük bölümüne ait yeraltı sularını temsil ederler. Analiz sonuçlarına göre yeraltı suyu örneklerinde katyonlar açısından Ca (Şekil 3.30); anyonlar açısından ise HCO_3 (Şekil 3.31) egemendir. Piper diyagramında (Şekil 3.30) N62, N76, N15, N05 nolu örnekler Ca-HCO_3 fasiyesindedir bu örnekler Çatalca formasyonunun yüzeylettiği alanlarda yayılım göstermektedir. N25, N27, N36, N75, N21, N30 nolu örnekler Na-Ca-HCO_3 fasiyesindedir ve Tahtalı Baraj Gölü'nün kuzeyindeki alüvyonal alandadır.

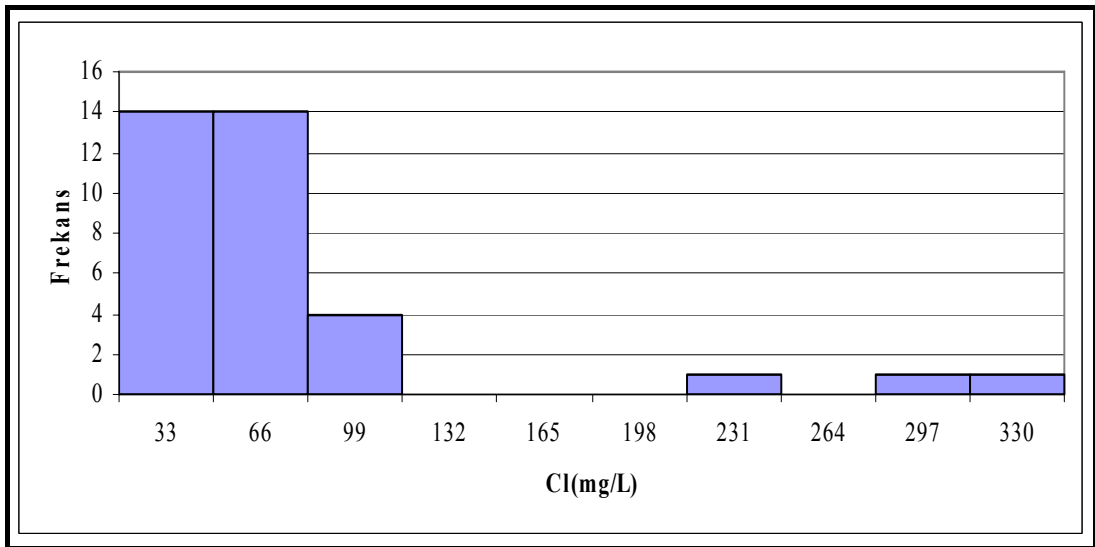
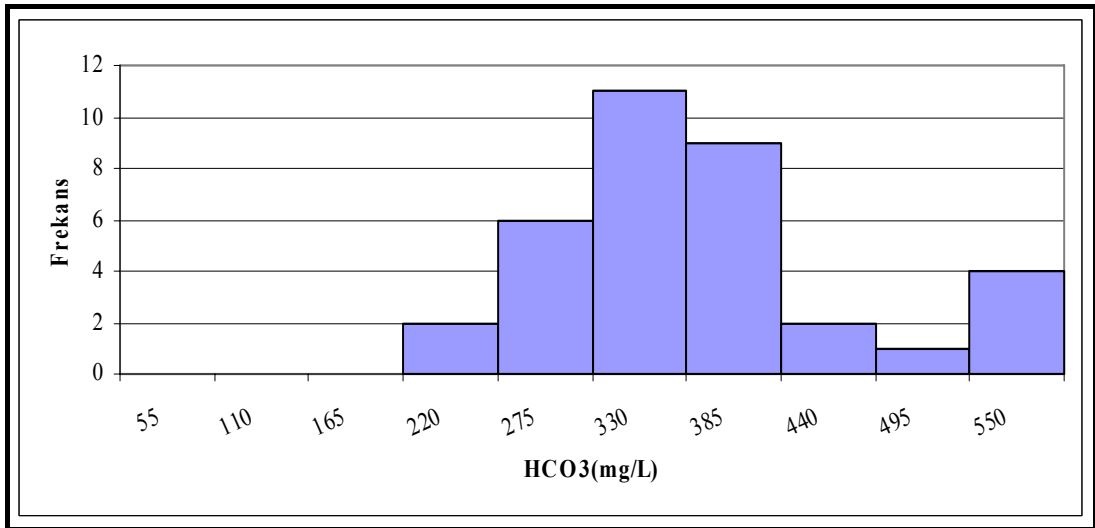
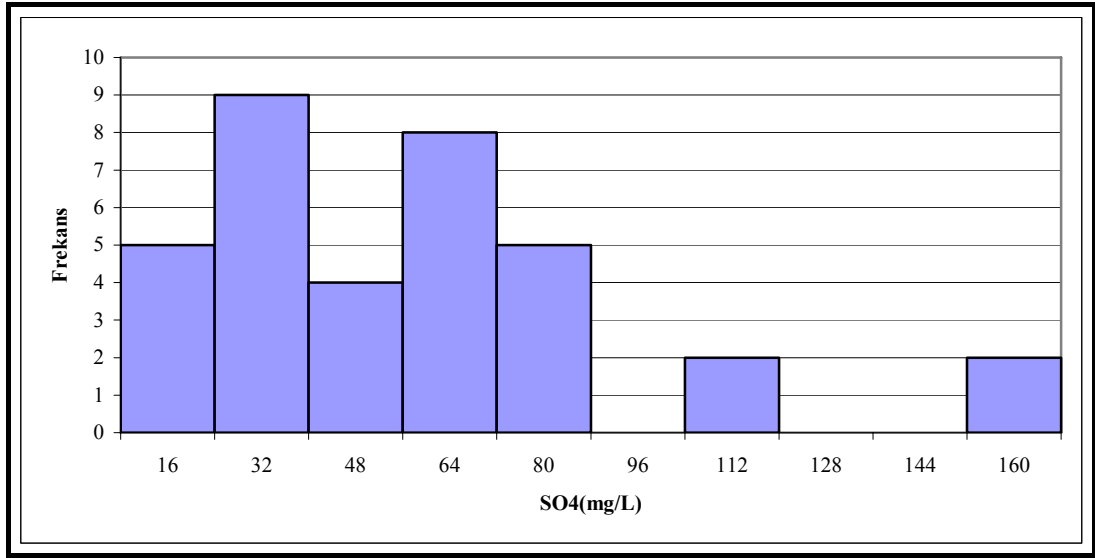
Çalışma alanına ait fasiyes haritası örneklenen yeraltı sularının fasiyeslerine göre ArcGIS 9.2 programında yapılmıştır (Şekil 3.32). Buna göre Na-Ca-HCO_3 fasiyesindeki, Ca-HCO_3 fasiyesindeki sular Yeniköy ve Çatalca formasyonlarının bulunduğu alana, Ca-Mg-HCO_3 fasiyesindeki sular Paleozoyik yaşlı mermer, Kretase yaşlı allokton kçt ve alüvyonda yer almaktadır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının ağırlıklı karbonatlı, killi ve şeylli birimlerde dolaşım yaptığı ve iyon derişimini bu kayalardan aldıkları söylemek mümkündür.



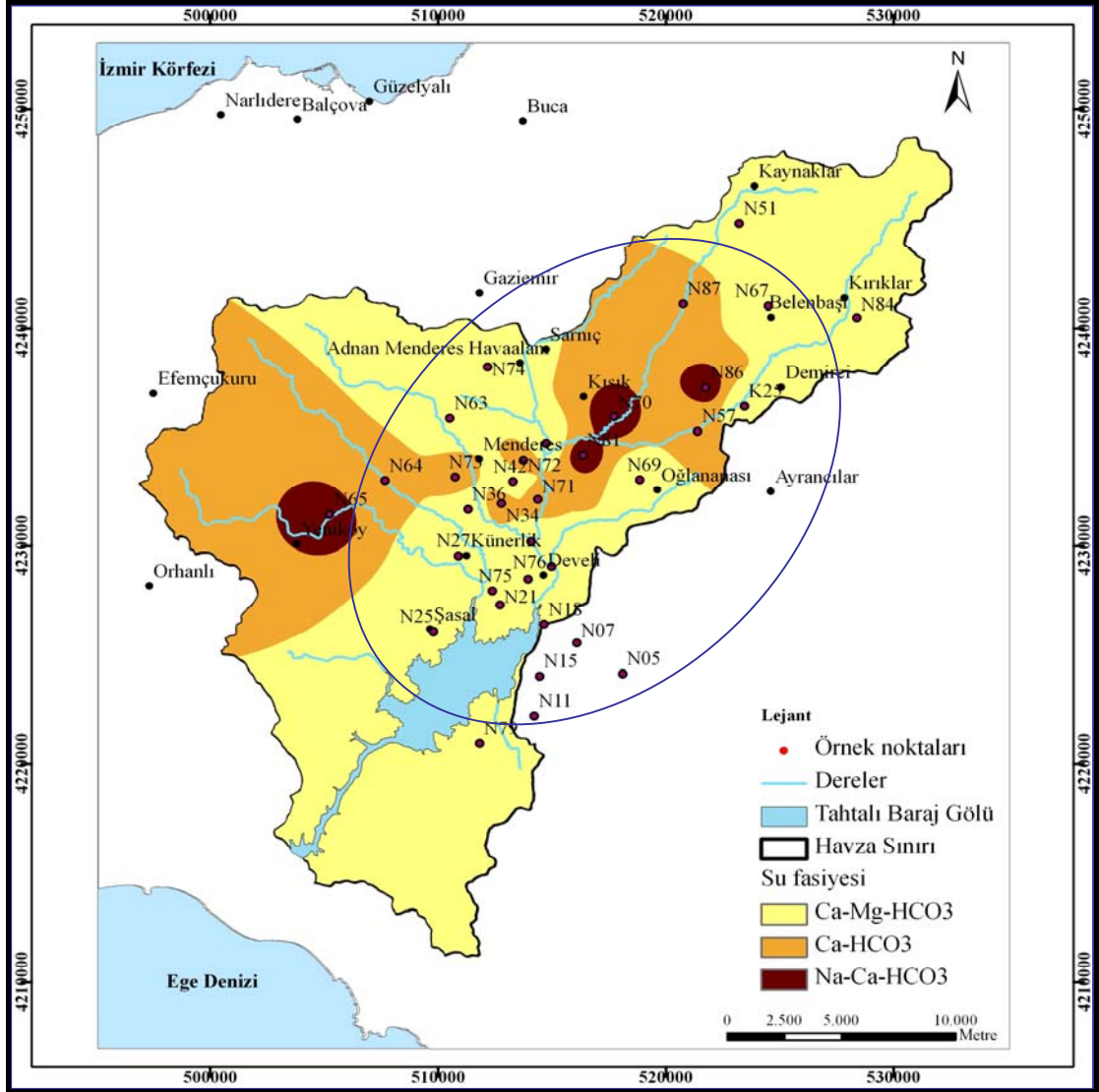
Şekil 3.29 Çalışma alanındaki yeraltısularının yağışlı döneme ait Piper diyagramı (Piper, 1944)



Şekil 3.30 Tahtalı Baraj Havzası yeraltısularının majör katyon dağılım grafikleri



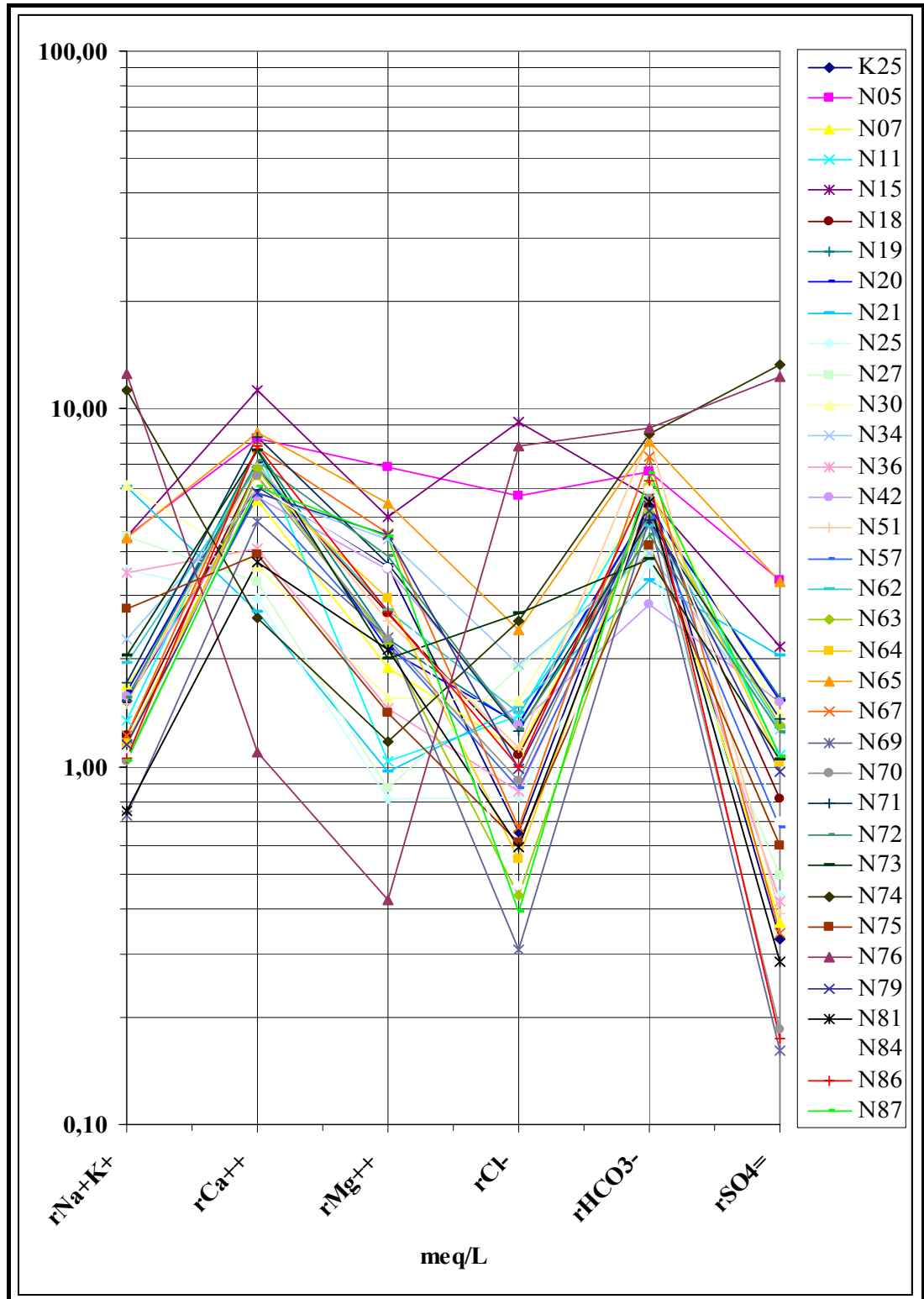
Şekil 3.31 Tahtalı Baraj Havzası yeraltısularının majör anyon dağılım grafikleri



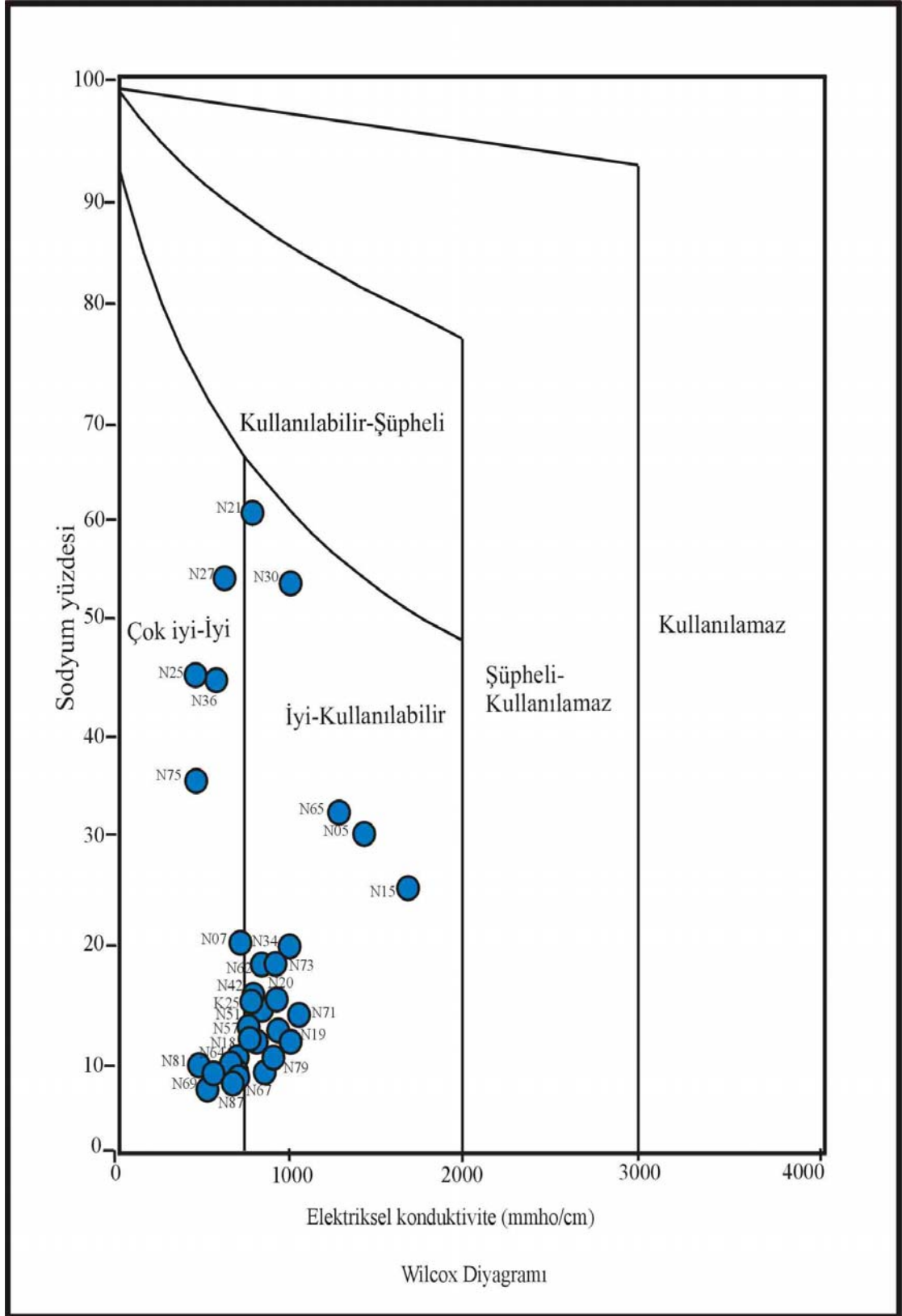
Şekil 3.32 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı suyu fasiyes haritası (Elips dışında kalan bölge veri eksikliği nedeniyle güvenilirliği düşük olan bölgedir.)

Çalışma alanına ait yeraltı suları Schoeller Diyagramında (Şekil 3.33) karşılaştırıldığında N05, N15 ve N76 nolu örneklerde Cl iyonunun yüksek olduğu görülmektedir. N74 ve N76 yüksek SO_4 iyonu içeriği ile diğer örneklerden ayrılmaktadır. N25, N27, N36, N75, N21, N30 yüksek Na+K değerine sahiptir.

Wilcox suların sulama amacıyla kullanılmasını sınıflayan, düşey ekseninde %Na miktarını, yatay ekseninde EC değerini gösteren bir diyagram geliştirmiştir. Wilcox diyagramı olarak adlanan bu diyagrama göre (Şekil 3.34) çalışma alanına ait yeraltı suları “çok iyi- iyi” ve “iyi- kullanılabilir” sulama suyu sınıflarında dağılım göstermektedir.

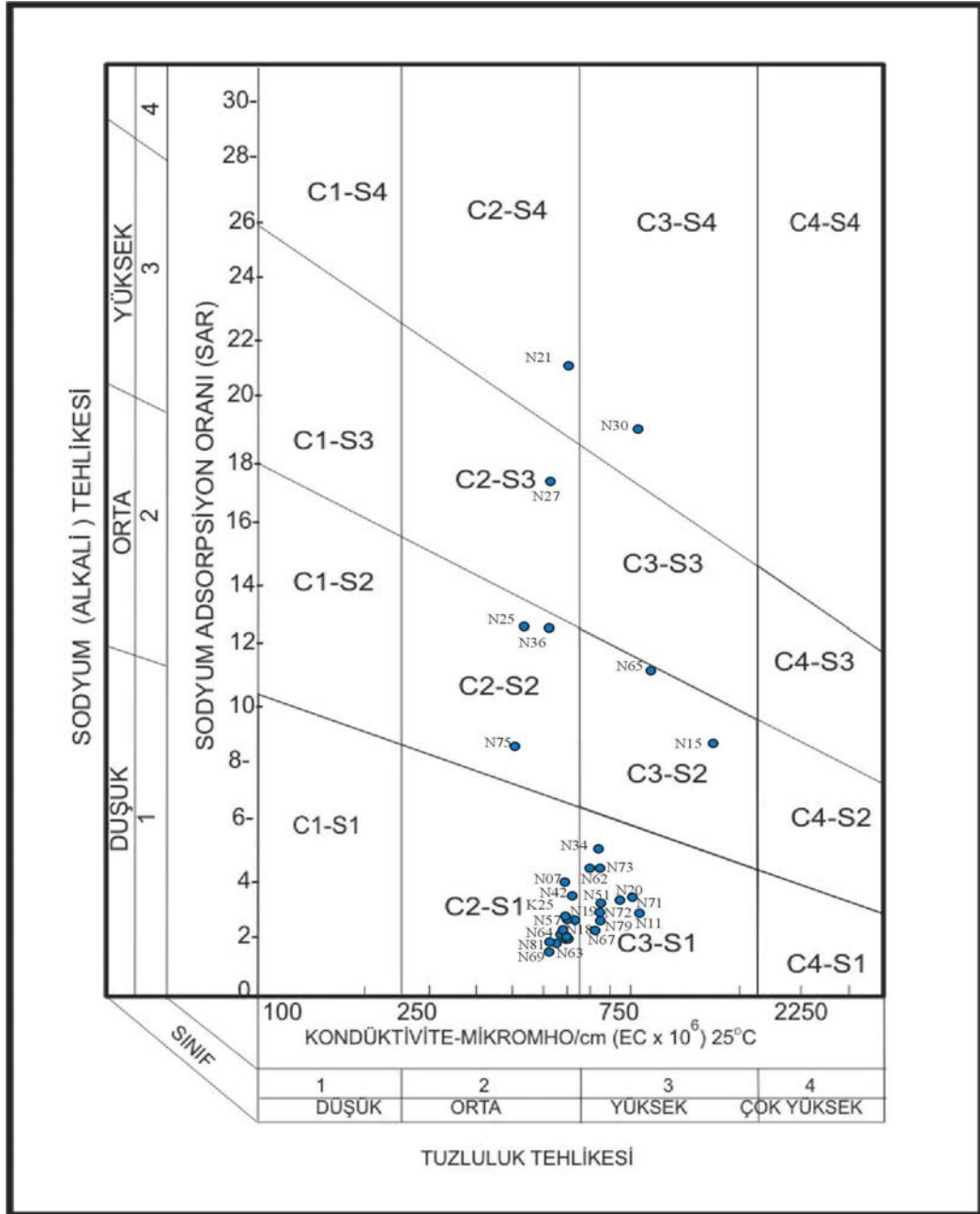


Şekil 3.33 Tahtalı Baraj Havzası yeraltısularının schoeller diyagramı



Tablo 3.34 Çalışma alanı sularına ait Wilcox Diyagramı

Çalışma alanı sularına ait ABD Tuzluluk diyagramına göre (Şekil 3.35) bölgedeki suların büyük bölümü, C2-S1 ve C3-S1 bölgesine düşmektedir. Bu tür sular her türlü sulamada kullanılabilen sular sınıfına girmektedir. N25, N36, N75; C2-S2 bölgesinde yer almaktadır. Orta tuzluluk özelliğine sahip bu sular geçirgen ve bol jipsli arazilerde kullanılabilir. N15 ve N65; C3-S2 bölgesinin sınırladığı alanda kalmakta tuzlu sular grubuna dahil olan bu sularda geçirgen ve jipsli arazilerde kullanılabilecek sulardır.



Şekil 3.35 Çalışma alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

C2-S3 bölgesinde yer alan N27 orta tuzlu olmakla birlikte bir çok toprak türünde Na tehlikesi yaratacak özelliktedir. N21; C2-S4'ün sınırladığı alanda yer almakta genel olarak sulama için uygun olmamakla birlikte suyun toplam tuz miktarının düşük olduğu durumlarda sulamada kullanılabilir. N30; C3-S4 sınıfının ifade ettiği tuzlu, sulamada kullanılması uygun olmayan sular grubundadır.

Sulama sularında sodyum miktarı önemli bir yer tutar. Toprağın yapısını bozarak, geçirgenliğini azaltan ve sulamadan sonra zeminin üst seviyelerinde soğrulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur ve bitki köklerinin havalanması engellenir. Ayrıca, sodyum, bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Cinsine bakılmaksızın, sodyumca doymuş topraklarda bitkiler çok az gelişir veya gelişemez (Şahinci 1991). SAR değerine ait eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{SAR (Sodyum Adsorption Ratio)} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

şeklinde. Bağlantıda iyonlar mek/l alınmaktadır. SAR'a göre sulama sularının sınıflaması Tablo 3. 18 'de verilmektedir.

Tablo 3.18 SAR değerine göre suların sınıflaması (Şen, 1995)

Suyun Sınıfı	SAR (%)
Çok İyi Kalitede Sulama Suları	< 10
İyi Özellikte Sulama Suları	10- 18
Orta Özellikte Sulama Suları	18- 26
Fena Özellikte Sulama Suları	26 >

Çalışma alanı yeraltı suları SAR (Sodium Absorbition Ratio) açısından değerlendirildiğinde, havzanın büyük bölümünün SAR değerinin (Ek. 5) “çok iyi kalitede sulama suları” sınıfında olduğu görülmektedir (Tablo 3.19).

Sertlik, su içinde çözülmüş halde bulunan Ca ve Mg bileşiklerinden gelen bir özellik olup çoğunlukla kalsiyum ve magnezyumun oluşturduğu bikarbonatlar, sülfatlar, klorürler ve nitratlardır. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlardan karbonat sertlik (geçici sertlik), kalsiyum ve magnezyum sülfat, klorür ve nitrattan, karbonat olmayan sertlik (kalıcı sertlik) oluşur. Suların kaynatılmasıyla karbonat sertlik

giderilebilir. Karbonat ve karbonat olmayan iyonlardan ileri gelen sertliğin tümüne toplam sertlik denir.

Tablo 3.19 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının SAR değerine göre sulama suyu sınıfı

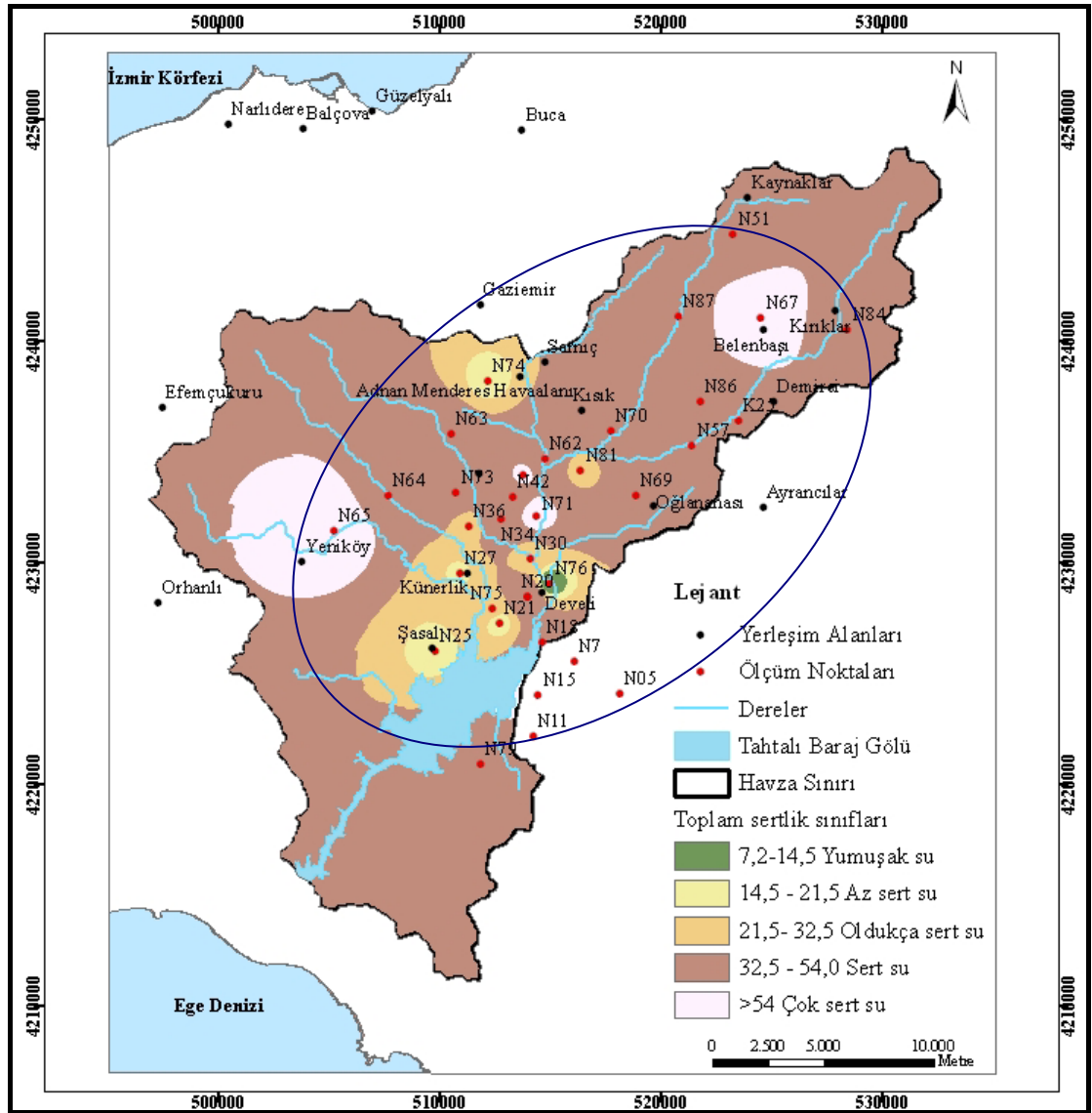
Örnek no	X	Y	SAR	Sulama sınıfı
K25	523465	4236389	0,6	Çok iyi kalitede
N05	518110	4224127	1,71	Çok iyi kalitede
N07	516097	4225548	0,77	Çok iyi kalitede
N11	514234	4222207	0,51	Çok iyi kalitede
N15	514467	4224023	1,52	Çok iyi kalitede
N18	514666	4226385	0,47	Çok iyi kalitede
N19	513962	4228481	0,57	Çok iyi kalitede
N20	513962	4228481	0,64	Çok iyi kalitede
N21	512716	4227294	3,95	Çok iyi kalitede
N25	509807	4226045	2,31	Çok iyi kalitede
N27	510902	4229536	3,28	Çok iyi kalitede
N30	514089	4230198	3,45	Çok iyi kalitede
N34	512792	4231945	0,9	Çok iyi kalitede
N36	511326	4231667	2,33	Çok iyi kalitede
N42	513289	4232957	0,63	Çok iyi kalitede
N51	523234	4244791	0,6	Çok iyi kalitede
N57	521407	4235258	0,5	Çok iyi kalitede
N62	514755	4234711	0,79	Çok iyi kalitede
N63	510522	4235833	0,35	Çok iyi kalitede
N64	507675	4233002	0,44	Çok iyi kalitede
N65	505242	4231435	1,97	Çok iyi kalitede
N67	524514	4240998	0,4	Çok iyi kalitede
N69	518859	4233037	0,29	Çok iyi kalitede
N70	517731	4235913	0,4	Çok iyi kalitede
N71	514386	4232121	0,62	Çok iyi kalitede
N72	513757	4233929	0,53	Çok iyi kalitede
N73	510753	4233153	0,84	Çok iyi kalitede
N74	512179	4238200	0	Çok iyi kalitede
N75	512391	4227942	1,55	Çok iyi kalitede
N76	514985	4229060	0	Çok iyi kalitede
N79	511832	4220924	0,43	Çok iyi kalitede
N81	516368	4234174	0,33	Çok iyi kalitede
N84	528392	4240473	0,36	Çok iyi kalitede
N86	521756	4237257	0,38	Çok iyi kalitede
N87	520763	4241086	0,35	Çok iyi kalitede

Suların sertlik sınıflaması; Fransız, Alman ve İngiliz sertliklerine göre yapılmaktadır. Ca ve Mg iyonlarının meq/L değerlerinin toplamının 5 ile çarpılmasından bulunan Fransız sertlik derecesine göre yapılan sınıflama, Tablo 3.21’de verilmiştir. Toplam sertlik aşağıda verilen (4) eşitliği ile bulunur.

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 * (r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}) \dots \dots \dots (4)$$

Tablo 3.20 Fransız sertliğine göre suların sınıflaması (Şen, 1995)

Fransız sertliği	Su sınıfı
0-7,2	Çok yumuşak
7,2-14,5	Yumuşak
14,5-21,5	Az sert
21,5-32,5	Oldukça sert
32,5-54,0	Sert
>54	Çok sert

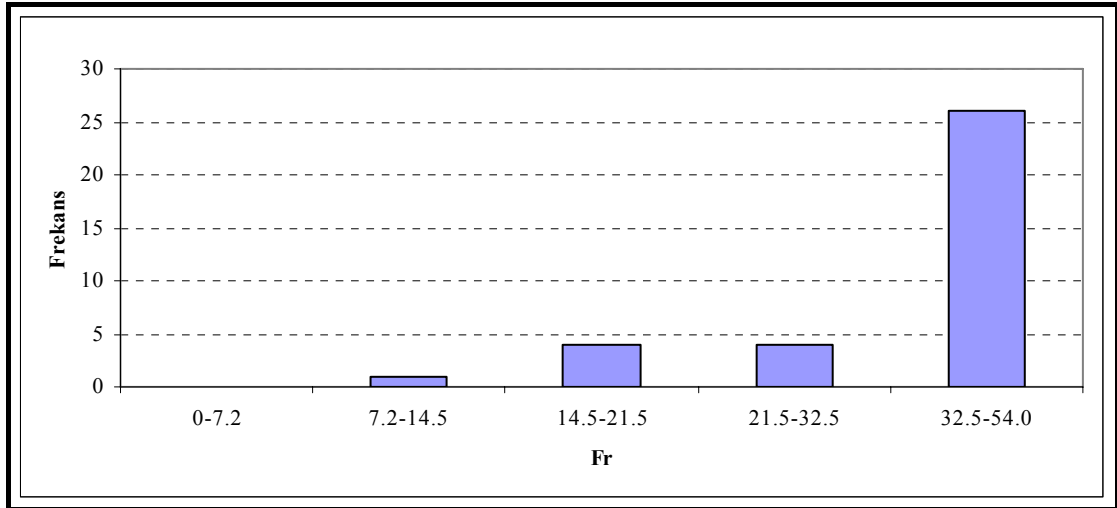


Şekil 3.36 Çalışma alanındaki suların Fransız sertliğine göre sınıflaması (Elips dışında kalan bölge veri eksikliği nedeniyle güvenilirliği düşük olan bölgedir.)

Çalışma alanındaki suların sertliği 7,63 - 83,97 Fr arasında değişmektedir (Tablo 3.21). Tablodan elde edilen verilere göre çalışma alanındaki sular, sert su sınıfında yoğunlaşmaktadır (Şekil 3.36 ve Şekil 3.37).

Tablo 3.21 Çalışma alanı yeraltı sularının Fransız sertlik dereceleri

Örnek no	Toplam sertlik(Fr)	Sertlik sınıfı
K25	48.448	Sert su
N05	75.519	Çok sert su
N07	37.094	Sert su
N11	44.129	Sert su
N15	83.977	Çok sert su
N18	47.489	Sert su
N19	50.027	Sert su
N20	46.057	Sert su
N21	18.330	Az sert su
N25	18.826	Az sert su
N27	20.735	Az sert su
N30	25.886	Oldukça sert su
N34	50.649	Sert su
N36	27.585	Oldukça sert su
N42	46.058	Sert su
N51	47.995	Sert su
N57	39.652	Sert su
N62	48.210	Sert su
N63	45.105	Sert su
N64	46.432	Sert su
N65	70.266	Çok sert su
N67	61.625	Çok sert su
N69	35.878	Sert su
N70	43.701	Sert su
N71	60.094	Çok sert su
N72	55.198	Çok sert su
N73	48.322	Sert su
N74	18.948	Az sert su
N75	26.686	Oldukça sert su
N76	7.631	Yumuşak su
N79	51.160	Sert su
N81	29.233	Oldukça sert su
N84	48.349	Sert su
N86	52.697	Sert su
N87	52.418	Sert su



Şekil 3.37 Çalışma alanındaki suların Fransız sertliğine göre frekansları

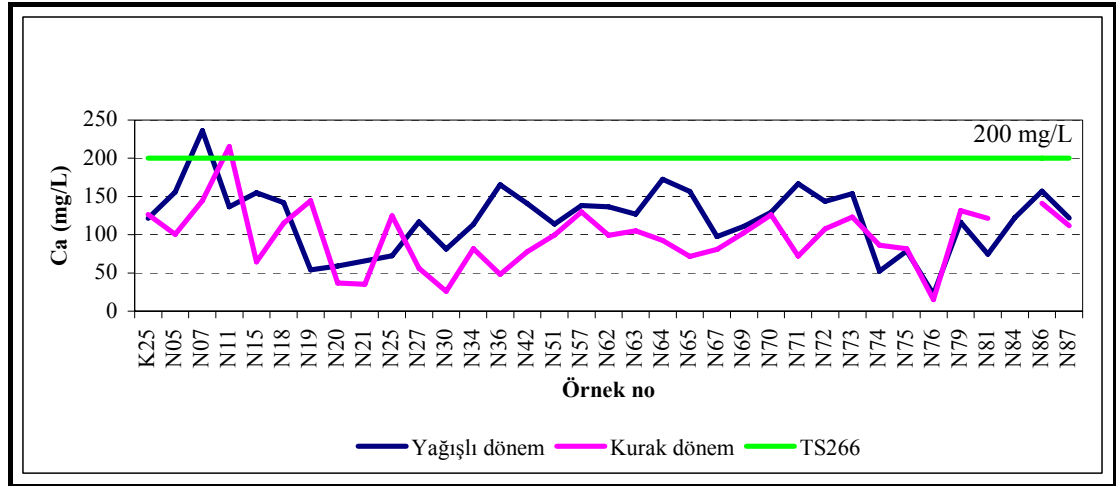
3.10.1 Anyon ve Katyonlar

3.10.1.1 Kalsiyum

Yeraltı sularında kalsiyumun kökeni kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir. Bunlardan başka magmatik ve metamorfik kaya mineralleri olan apatit, vollastonit, flüorit, amfibol ve piroksen grupları ile bazı feldispatların bozunumundan ortaya çıkan kalsiyum iyonu yeraltı sularına geçer. Kalsiyum, evriminin büyük bölümünü yeraltı sularında geçirir; hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarda bulunur. Yeraltı suları çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı, daha az ise jips yataklarından gelen kalsiyum sülfatlı sulardır. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ değişik yollarla oluşabilir. Benzer kimyasal yapıda iki suyun karşılaşması, kalsiyum iyonlarının ortamda çoğalmasını etkileyebilir. Sudaki sodyum ve potasyum tuzları kalsitin çözünmesini yükseltir. pH artarsa, $\text{CO}_3^{2-} / \text{HCO}_3^-$ oranı büyür, kalsitin çökmesi izlenir. Yeraltı sularında kalsiyum iyonu genellikle 10-100 mg/L arasındadır. Kalsiyum iyonlarının fizyolojik etkisi bulunmamakla birlikte, suda 1000 mg/L' yi aştığında, damar sertliği ve böbrek taşlarının oluşmasına neden olduğu sanılmaktadır (Şahinci, 1991).

Ca^{+2} konsantrasyonu içme sularında kabul edilebilir değeri TSE 266 ya göre 200 mg/L olarak düzenlenmiştir. Çalışma alanında kalsiyum konsantrasyonu 22,02-236,10 mg/L arasındadır (Tablo 3.22 ve Şekil 3.38). Sadece yağışlı dönemde N07

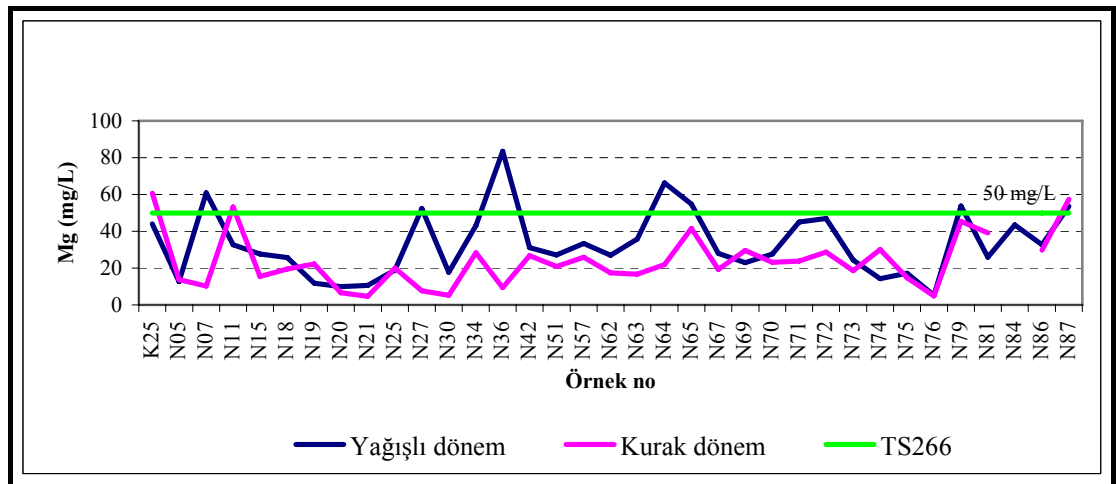
numaralı örneğin, kurak dönemde de N11 nolu örneğin (Tablo 3.23) kalsiyum değeri TSE 266'nın kabul edilebilir değerinin üzerindedir.



Şekil 3.38 Yeraltı sularının yağışlı döneme ait Ca miktarı grafiği

3.10.1.2 Magnezyum

Yeraltı sularında magnezyumun kaynağı, dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan (serpantin, talk, diopsit, tremolit) minerallerdir. $MgCO_3$ 'ın suda çözünmesi CO_2 miktarına bağlıdır. Yeraltı sularında genellikle 1 mg/L ile 40 mg/L arasında magnezyum bulunur (Şahinci, 1991). Çalışma alanı yeraltı sularına Mg miktarı grafiği (Şekil 3.39) incelendiğinde mg/L değeri ile 5.186 mg/L değeri ile en az N76'da, 83.438 mg/L değeri ile en çok N36'da bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.39 Yeraltı sularının yağışlı ve kurak döneme ait Mg^{+2} miktarı grafiği

Kurak dönem Mg değerleri, havza genelinde yağışlı döneme göre azalma göstermektedir. TS266'nın 50 mg/L olan maksimum değeri yağışlı dönemde N07, N27, N36, N64 ve N79'da aşılmaktadır. Kurak dönemde K25 ve N87'de TS266 standardı aşılmaktadır (Şekil 3.39).

3.10.1.3 Sodyum ve Potasyum

Sodyum doğada yaygın bulunan alkali bir metaldir. Sodyum bileşikleri suda kolay çözünür. Sodyum en fazla deniz suyunda bulunmaktadır ve NaCl şeklindedir. Yeraltı sularının sodyum içeriği 6-130 mg/L arasında değişir (WHO,2004). Deniz suyunda bu miktar 10.000 mg/L civarındadır. Çoğunlukla yeraltı sularına, plajiyoklasların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, evaporitler sodyum içeren başlıca kayaç mineralleridir. Magmatik ve metamorfik kayalar içinden çıkan bazı kaynaklarda 1-20 mg/L sodyum bulunmaktadır. Yeraltı sularında sodyum mineral cinsine ve miktarına, pH'a bozunum süresine, yeraltı suları akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır (Şahinci, 1991). Yeraltı suları sulama amaçlı kullanıldığında, özellikle killi topraklar için sodyum miktarı çok önemlidir.

Potasyum yerkabuğunun %2,5'ini oluşturur ve daha çok feldispatlarda (ortoklaz, mikroklin), mikalarda, kil minerallerinde bulunur. Doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın, doğal sularda birkaç mg/L civarında bulunur. Kum ve kumtaşlarından gelen sularda genellikle rNa iyonları rCa'dan fazladır (Şahinci 1991). Bölgede şeyl türü killi kayalar yaygın olarak bulunmaktadır. Şeyller içerisindeki kil mineralleri Ca^{++} iyonlarını soğururlar ve suya Na^+ iyonlarını bırakırlar ve her Ca^{++} iyonu yerine iki Na^+ iyonu geçerek sudaki Na^+ miktarının artmasına neden olur (Şahinci, 1991, Tood ve Mays, 2004).

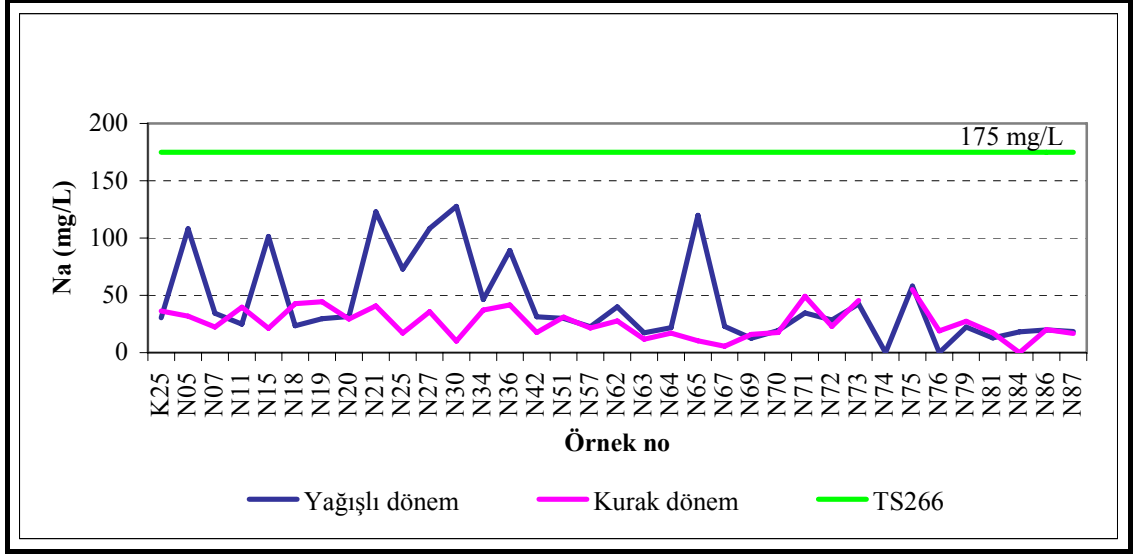
Çalışma alanında N21, N25, N27, N30, N65 Na iyonu açısından zengindir (Tablo 3.22). kum ve kumtaşlarından veya killi marnlı kayalardan yada şeyl türü kayalardan türedikleri söylenebilir. Her iki döneme ait yeraltı sularının Na miktarı TS 266 maksimum değeri olan 175 mg/L'nin altında bulunmaktadır (Şekil 3.40).

Tablo 3.22 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının yağışlı dönem majör iyon konsantrasyonları (mg/L) (n.a: ölçülemedi)

Örnek no	T(°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
K25	18,4	8,00	701	121,54	44,07	30,42	7,89	370,88	23,37	33,71	15,77
N05	19,9	7,37	1448	165,29	83,44	108,22	9,26	407,48	202,57	24,74	159,38
N07	21	7,38	713	110,84	22,90	34,22	7,31	322,08	39,18	42,06	17,56
N11	19,3	7,02	1013	155,79	12,64	24,81	10,25	363,56	49,28	111,03	51,50
N15	20,9	7,08	1744	236,10	60,88	101,51	9,60	346,48	326,44	58,88	104,26
N18	24,2	7,16	747	136,31	32,72	23,44	8,09	324,52	38,06	65,05	39,18
N19	18,7	6,93	982	154,74	27,67	29,51	9,47	322,08	46,59	123,32	74,48
N20	18,9	6,92	954	142,01	25,75	31,70	9,21	326,96	46,88	122,39	73,16
N21	23,4	7,07	700	54,07	11,75	122,83	11,20	202,52	52,36	33,98	97,99
N25	18,3	7,10	474	59,09	9,89	72,86	15,55	224,48	29,08	1,54	20,93
N27	22,4	7,41	643	65,67	10,53	108,45	14,57	239,12	66,97	8,90	23,74
N30	21,6	7,45	1006	72,35	19,03	127,65	16,40	366,00	54,07	58,68	67,35
N34	17,9	6,80	863	116,82	52,32	46,49	10,16	241,56	68,65	102,02	61,25
N36	24	7,19	629	81,33	17,70	89,13	11,26	312,32	30,23	7,79	20,12
N42	19,7	6,69	731	113,54	43,12	31,32	8,33	173,24	46,33	130,72	72,65
N51	19,6	7,06	873	140,82	31,21	30,02	7,62	509,96	40,01	0,17	18,58
N57	19,7	7,63	705	113,99	27,21	22,66	7,13	300,12	30,92	66,02	32,39
N62	19	6,89	804	138,19	33,33	39,82	8,05	287,92	49,95	76,82	61,53
N63	17,8	7,36	646	136,31	26,91	17,20	11,59	312,32	15,52	19,38	62,49
N64	17,9	7,23	685	126,97	35,84	21,81	8,28	366,00	19,65	8,24	49,34
N65	16,3	7,47	1246	172,42	66,28	119,89	9,03	495,32	85,30	11,30	157,96
N67	18,4	7,09	845	156,78	54,73	22,84	8,93	448,96	24,09	43,98	16,48
N69	19,8	7,37	526	97,58	28,02	12,55	7,23	300,12	10,93	13,30	7,75
N70	22,6	7,20	682	129,52	27,63	19,39	7,58	341,60	32,50	21,47	8,89
N71	20,2	7,26	1005	166,58	45,02	34,69	8,25	297,68	44,77	174,95	65,16
N72	19,3	6,98	848	143,84	46,94	28,56	12,16	270,84	45,24	109,74	59,79
N73	19	7,10	858	153,51	24,27	42,47	7,28	231,80	95,46	58,61	50,00
N74	21,5	7,45	2130	52,38	14,28	n.a.	11,21	517,28	90,73	0,16	25,00
N75	21,4	7,26	505	78,65	17,14	58,11	8,77	253,76	21,84	19,75	29,03
N76	20,8	7,97	2180	22,02	5,19	n.a.	17,37	539,24	278,02	0,53	25,00
N79	19,7	7,20	869	116,42	53,82	22,41	7,02	317,20	34,91	142,88	46,38
N81	19	7,46	627	74,46	25,90	12,96	7,27	334,28	21,07	34,14	13,64
N84	17,5	7,65	683	122,17	43,45	18,20	11,28	361,12	16,41	29,40	33,77
N86	18,7	7,26	710	157,05	32,78	19,90	7,45	383,08	35,37	39,40	8,34
N87	16,8	7,47	703	121,96	53,50	18,42	9,04	402,60	13,94	4,98	51,12

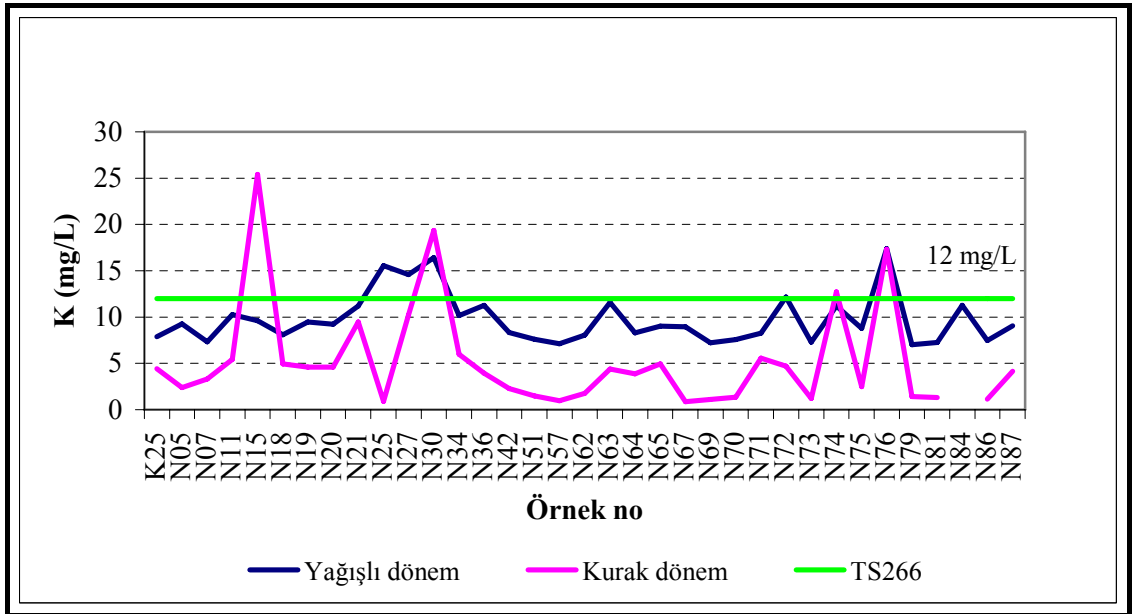
Tablo 3.23 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının kurak dönem majör iyon konsantrasyonları (mg/L) (n.a: ölçülemedi)

Örnek no	T(°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
K25	17,9	7,08	740	41,80	16,29	12,68	0,60	153,72	23,23	43,72	14,96
N05	20,1	6,99	846	128,36	57,75	75,33	5,02	256,2	180,18	16,13	150,34
N07	20,5	7,09	1810	51,44	12,71	23,52	1,15	141,52	43,06	69,27	13,43
N11	22,5	7	1826	128,78	9,74	17,13	2,53	158,6	37,56	61,73	24,07
N15	19,2	7,1	1032	167,99	87,99	74,69	5,78	141,52	380,81	51,50	133,26
N18	19,5	7,93	1376	57,61	13,88	305,76	13,20	483,12	289,28	1,95	163,59
N19	20,6	7,2	535	73,63	17,54	52,50	3,41	207,4	50,10	110,90	85,62
N20	22,1	7,24	451	87,83	21,19	34,54	3,32	148,84	53,82	170,12	92,36
N21	21,4	7,46	608	69,41	12,60	142,14	6,50	146,4	28,95	122,25	38,30
N25	21,1	7,94	1154	32,48	4,25	48,76	6,43	214,72	24,45	3,17	15,50
N27	20,2	6,9	769	90,59	12,29	66,47	10,71	244	72,89	7,42	20,45
N30	23,2	7,17	622	58,68	11,01	200,99	20,75	390,4	56,23	17,99	122,57
N34	19,6	7,15	687	51,62	26,78	30,78	5,21	219,6	60,60	36,75	21,30
N36	19,5	7,28	1456	125,32	21,21	101,19	7,12	200,08	31,50	26,01	19,88
N42	18,6	7,09	795	78,34	23,06	15,97	1,73	178,12	33,29	88,23	57,31
N51	19,1	7,11	760	32,41	20,67	25,92	1,13	231,8	34,62	0,12	10,38
N57	19,5	7,04	812	56,70	19,78	14,38	0,61	201,3	22,90	50,91	23,24
N62	19	7,02	682	63,45	16,89	24,45	1,51	146,4	42,53	56,45	53,97
N63	20,2	6,98	711	45,57	16,07	9,84	3,75	183	14,69	1,33	45,58
N64	21,8	7,68	1032	34,86	20,93	15,43	3,51	219,6	19,91	16,02	34,95
N65	19,9	7,29	445	70,60	60,37	116,71	4,86	439,2	47,13	0,91	48,87
N67	20,2	7,16	614	42,84	14,52	3,96	0,61	197,64	5,42	5,16	5,13
N69	20,5	7,2	737	35,97	21,08	10,18	0,69	278,16	15,94	24,25	4,24
N70	21,4	7,18	687	39,90	16,06	11,15	0,82	151,28	32,53	18,45	7,32
N71	20,1	7,27	800	66,99	21,58	42,57	4,36	248,88	31,96	61,90	23,96
N72	20,1	6,94	839	68,99	24,70	16,84	3,53	190,32	33,94	105,05	55,82
N73	19,7	7,92	879	90,97	15,46	32,54	0,83	146,4	86,05	88,61	49,40
N74	21,4	7,28	2300	71,84	20,33	363,85	4,71	427	257,16	0,23	532,50
N75	20,6	7,2	535	48,02	10,15	32,24	1,40	234,24	17,75	12,75	19,58
N76	19,9	7,97	1464	11,34	3,42	286,90	8,19	414,8	218,51	0,30	127,08
N79	20	7,19	850	47,26	35,99	18,57	0,92	202,52	31,06	116,24	38,18
N81	18,8	7,61	701	31,92	27,46	11,03	0,74	200,08	21,15	29,87	12,86
N86	19,7	7,11	710	39,85	19,24	11,76	0,70	183	28,37	27,12	6,10
N87	18,7	7,31	726	51,74	38,61	9,88	2,35	336,72	12,64	0,43	33,37



Şekil 3.40 Yeraltı sularının yağışlı ve kurak döneme ait Na^+ (mg/L) miktarı grafiği

Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarda bulunurken; magmatik kayalarda sodyum, çökel kayalarda ise potasyum egemendir. Deniz suyundaki sodyum, potasyumun yaklaşık 28 katıdır. Yer kabuğunda potasyum miktarının büyük bir kısmı feldispatlarda bulunur (Şahinci, 1991). K^+ miktarı yağışlı dönemde N25, N27, N30, N76'da; kurak dönemde N15, N30, N74 ve N76'da TS 266'nın üzerine çıkmıştır (Şekil 3.41).

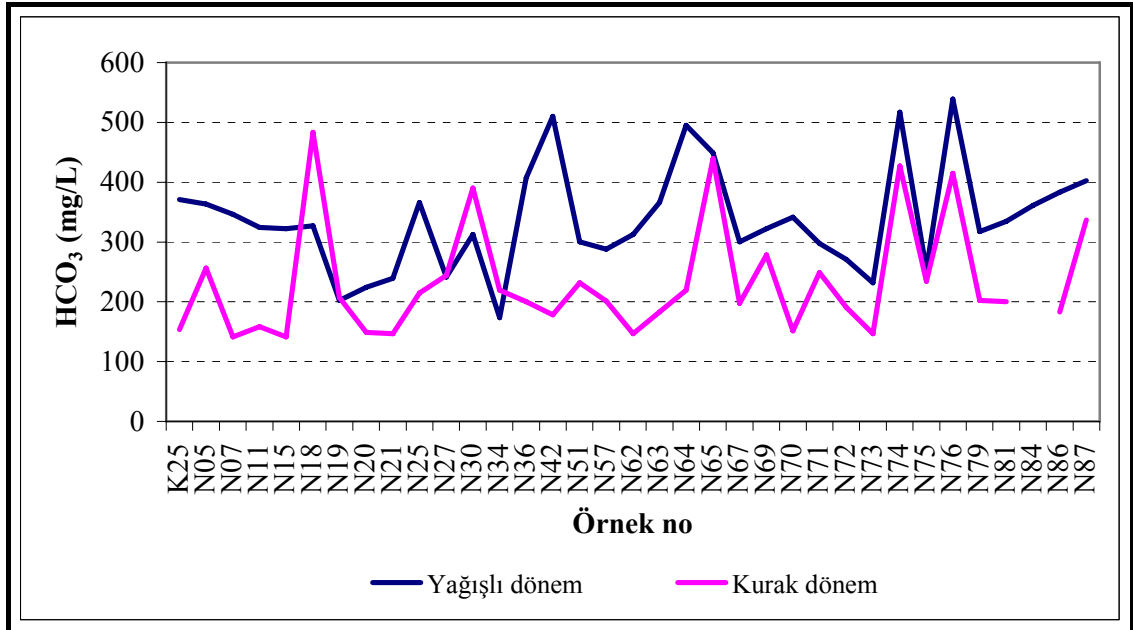


Şekil 3.41 Yeraltı sularının yağışlı ve kurak döneme ait K^+ (mg/L) miktarı grafiği

3.10.1.4 Karbonatlar

Karbonat bileşiklerinin çözünürlüğünün incelenmesi, karbonat çökmesi, yeraltı sularının kökeni gibi konuların açıklanmasına yardım eder. Soğuk yeraltı sularında egemen karbonat türü, düşük pH'larda H_2CO_3 , yüksek pH'larda CO_3^{2-} , normal pH (6-9) aralığında ise HCO_3^- 'tür (Fetter, 2001). Soğuk yeraltısularının pH değeri 4-9 arasında olduğundan, yeraltı sularında egemen karbonat türü HCO_3^- 'tür. Suların pH'ı ve alkalitesi düşükse su çürütücü özelliktedir. Yeraltı sularında HCO_3^- miktarı 10-800 mg/L arasında değişmekle birlikte ender olarak 400 mg/L'yi aşmaktadır. Bünyesindeki karbonat ve bikarbonat miktarları 300-500 mg/L arasında olan sular içilebilir (Fetter, 2001) .

Çalışma alanındaki yeraltı sularında N42; 173,24 mg/L değeri ile en az, N76; 539,24 mg/L değeri ile en yüksek HCO_3^- miktarına sahip bulunmaktadır (Şekil 3.42). TS266'da standart değer gösterilmediğinden standartlarla karşılaştırılması yapılmamıştır.



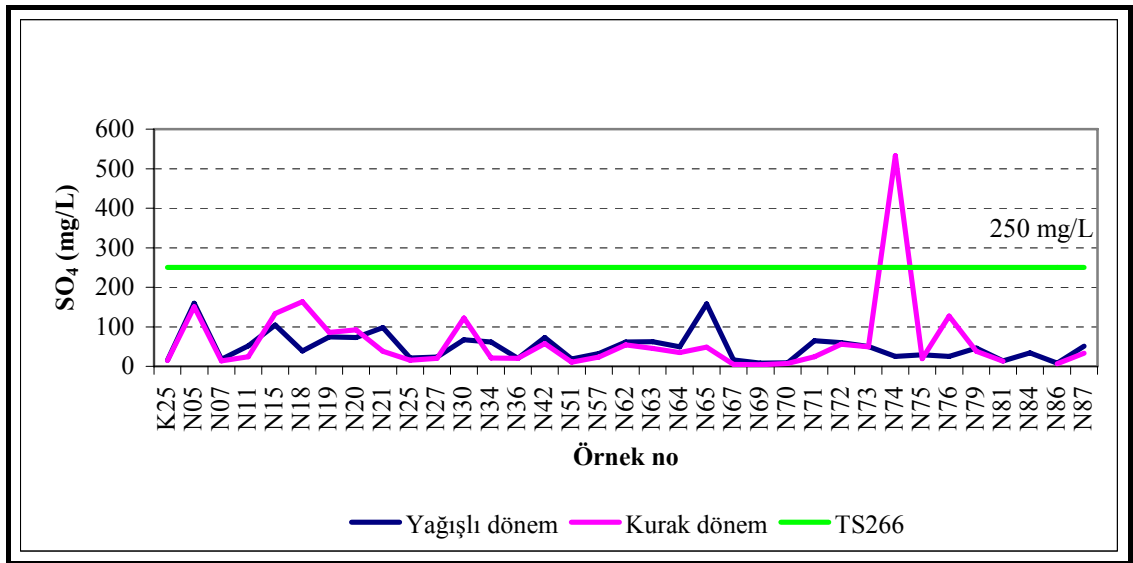
Şekil 3.42 Çalışma alanındaki yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem HCO_3^- (mg/L) grafiği

Çalışma alanı kurak dönem HCO_3^- miktarı, N18 dışındaki tüm örneklerde düşüm göstermektedir (Şekil 3.42).

3.10.1.5 Sülfat

Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygındır. Sülfür mineralleri su ile temas ederek bozunduklarında oksitlenerek, sülfat iyonları oluşur ve suya geçer. Doğal sulardaki sülfatın başlıca kaynağı, sedimanter kayalar (jips, anhidrit, şeyl), magmatik kayalar ve organik maddelerdir. İçme sularındaki sülfat miktarı, TS 266'ya göre 25-250 mg/L arasındadır. İçme sularında 200-300 mg/L'den fazla sülfat miktarı, mide ve bağırsak rahatsızlıklarına neden olur (McNeely ve diğer, 1979).

Çalışma alanında yeraltı sularının sülfat miktarı yağışlı dönemde 7,8-159,4 mg/L aralığında değere sahiptir ve TS266 standardı olan 250 mg/L'yi hiçbir noktada aşmamaktadır (Şekil 3.43). Kurak dönem yeraltı sularındaki sülfat miktarı 3,80-532,5 mg/L arasına değerler vermektedir. Kurak dönemde sülfat miktarı sadece N74'de standartlar aşarak 532,5 mg/L değerine ulaşmıştır. Bu sülfatlı gübrelerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Standartları aşmamakla birlikte N18, N05, N30 ve N76'da yağışlı döneme göre sülfat miktarında artış görülmektedir. Buna neden olarak yine tarımsal aktivitenin artmasına paralel olarak artan sülfatlı gübreler gösterilebilir.



Şekil 3.43 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem SO_4^{2-} (mg/L) miktarı grafiği

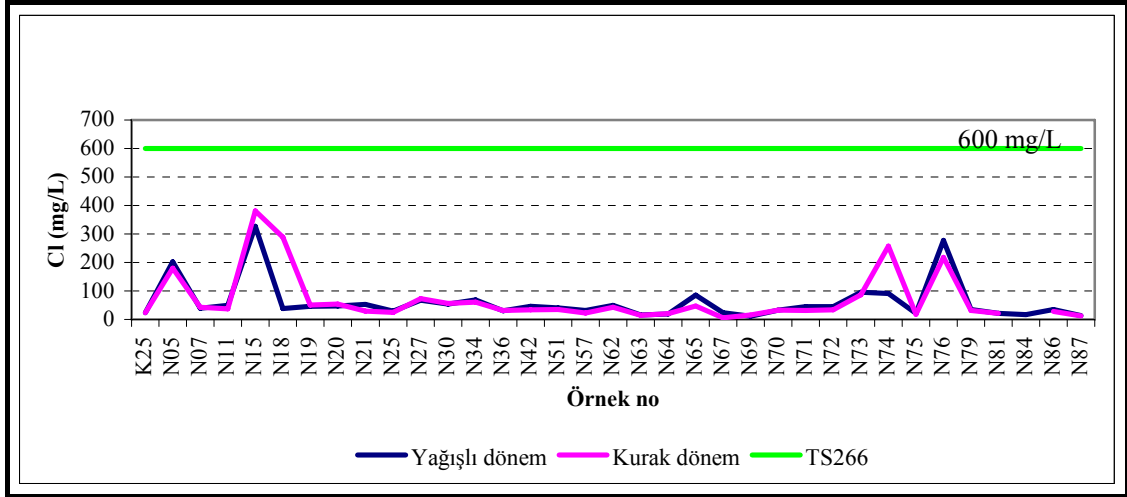
3.10.1.6 Klorür

Yeraltı sularındaki klorür miktarı suların geçtiği kaya cinsi ile yakından ilgilidir. İnce daneli tortul kayalarda klorür miktarının fazla olması muhtemelen bu oluşuklar fosil deniz sularında çöktüğü içindir (Tablo 3.24). Klorür doğada geniş bir yayılıma sahiptir. Genellikle sodyum klorür, kalsiyum klorür, potasyum klorür şeklinde bulunur. Denizlerde de büyük miktarda klorür bulunur. Yağmur sularında klorür miktarı 1- 25 mg/L arasında olup deniz sularında 20000 mg/L'ye ulaşır (Şahinci, 1991). Hidrolojik çevrim sırasında iyi korunan klorür iyonu iyi bir izleyici olarak bilinir. TS266'ya (2005) göre içme sularında 600 mg/L maksimum klorür miktarıdır (Tablo 3.26). İçme sularında aşırı klorür oranı, bebek ve genç yaştaki çocuklarda anemi ve sinir sistemi bozukluğuna neden olmaktadır (WHO, 2004; EPA 2003; TS266 2005). Kritik değerleri aşan suların sulamada kullanılması bitkilerde yanma ve kurumalara yol açmaktadır (Ayers ve Westcot, 1985).

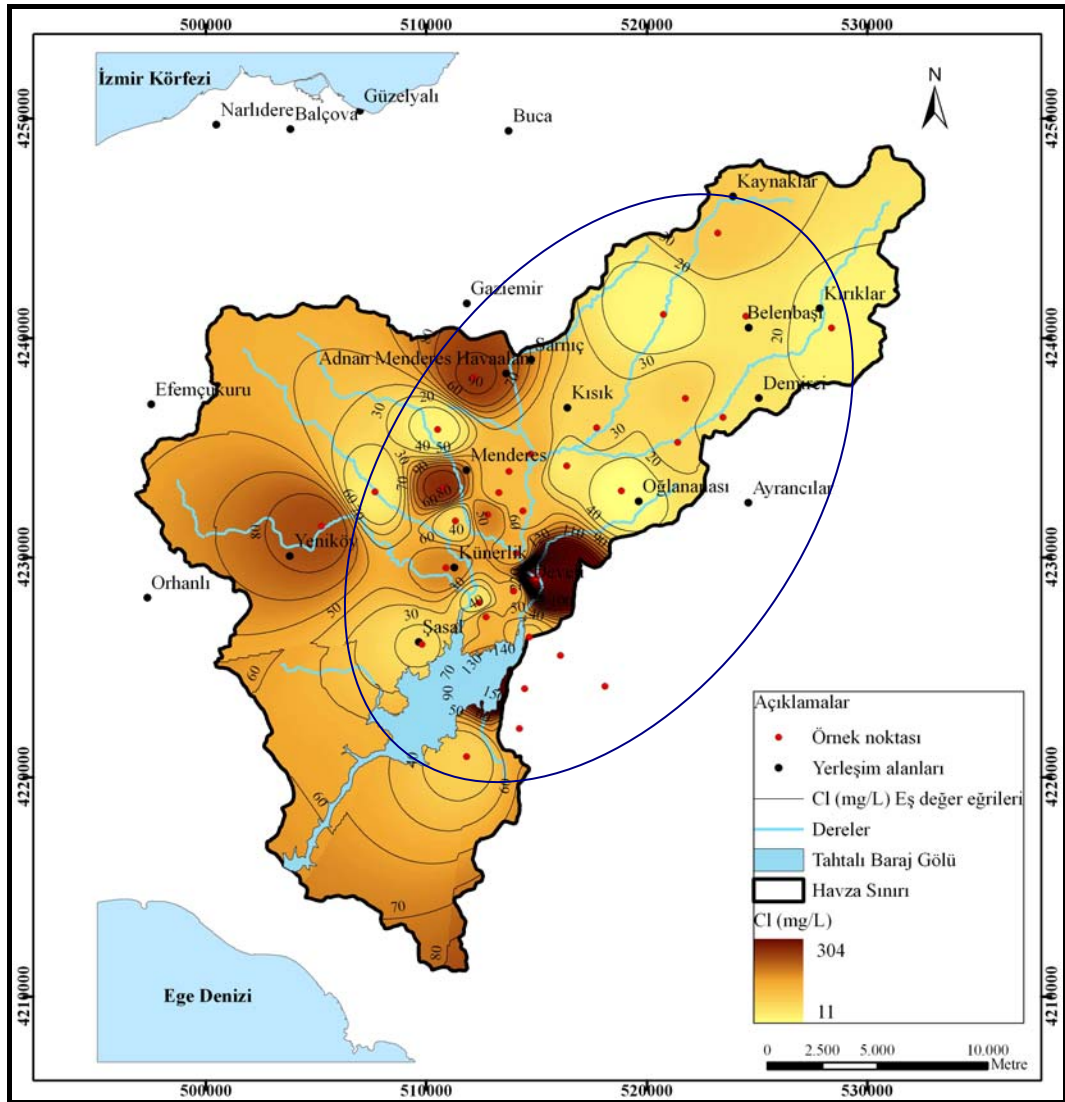
Çalışma alanındaki yeraltı sularının klorür miktarı yağışlı dönemde 10,9- 278,1 mg/L arasındadır. Kurak dönemdeki Cl miktarı 1,53- 380,81 mg/L değerleri arasında değişim gösterir. Her iki dönemde de yeraltı sularının hiçbirisi karşılaştırılan standartlara ait maksimum değerleri geçmemektedir (Şekil 3.44). Cl eş seviye eğrilerini gösteren Şekil 3.45'den de görülebileceği gibi eş Cl seviye eğrileri Tahtalı Baraj Gölü'nün batı kesiminde ve Çatalca ile Görece tarafında sıklaşmakta ve artan değerler göstermektedir.

Tablo 3.24 Bazı kayalardan gelen yeraltı sularında klorür miktarları (Şahinci 1991)

Kayalar	Aralık (ppm)	Ortalama (ppm)
Granit, riyolit	1,2-193	37,5
Gabro, bazalt, ultramafik	0,7-75	22,5
Andezit, diyorit, siyenit	0,8-8,8	4,35
Kumtaşı, arkoz, grovak	1,5-442	37,5
Silttaşı, çamur, şeyl	2-1710	209,2
Kireçtaşı	1,8-112	19,7
Dolomit	1-17	6,92
Kuvarsit, mermer	0,8-9,9	5,59
Diğer metamorfikler	0,4-106	23,2
Sıkışmamış kum, çakıl	1,3-1820	23,47



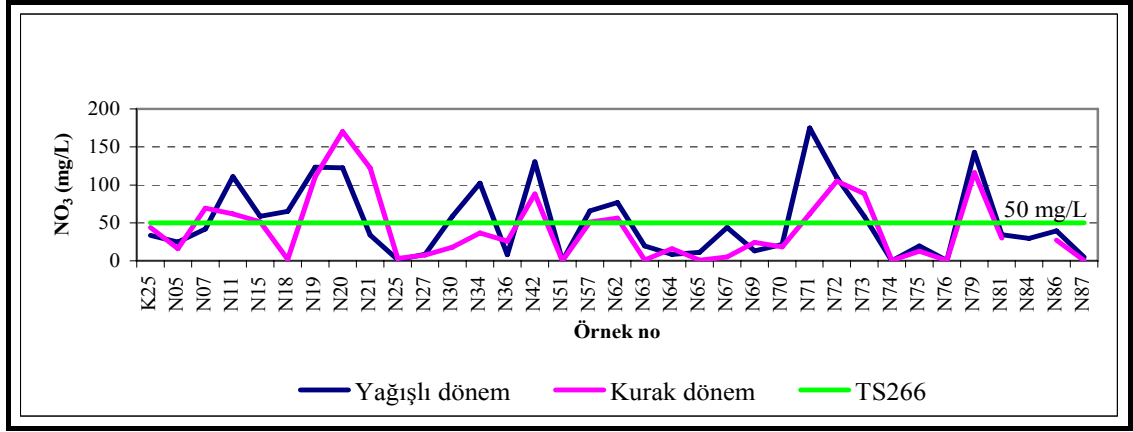
Şekil 3.44 Çalışma alanındaki yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem Cl- (mg/L) miktarı grafiği



Şekil 3.45 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının klorür dağılım haritası (Elips dışında kalan bölge veri eksikliği nedeniyle güvenilirliği düşük olan bölgedir.)

3.10.1.7 Nitrat

Yeraltı sularının kirlenmesinde azotlu bileşikler oluşturarak nitrat (NO_3), nitrit ve amonyumun yağmur suları ile kolayca yeraltı sularına karıştığı bilinmektedir (Eryurt ve diğer. 2001). Nitrat yüksek çözünme özelliğine sahip olması nedeniyle özellikle tarımda kullanılan azotlu gübrelerden yağışlarla yeraltı sularına geçer. İçme sularında yüksek olması “mavi bebek hastalığı” olarak adlandırılan, çocuklarda gelişim sırasında çıkan ölümcül hastalıklara neden olmaktadır. Yağışlı ve kurak dönemde karşılaştırılan her üç standarda ait maksimum değerler birçok noktada (N11, N15, N18, N34, N42, N57, N62, N71, N72, N79) aşılmaktadır (Şekil 3.46). Nif Dağı’nda 2006 yılında yapılan çalışmada da yüksek nitrat değerleri saptanmıştır (Polat, ve diğer. 2007).



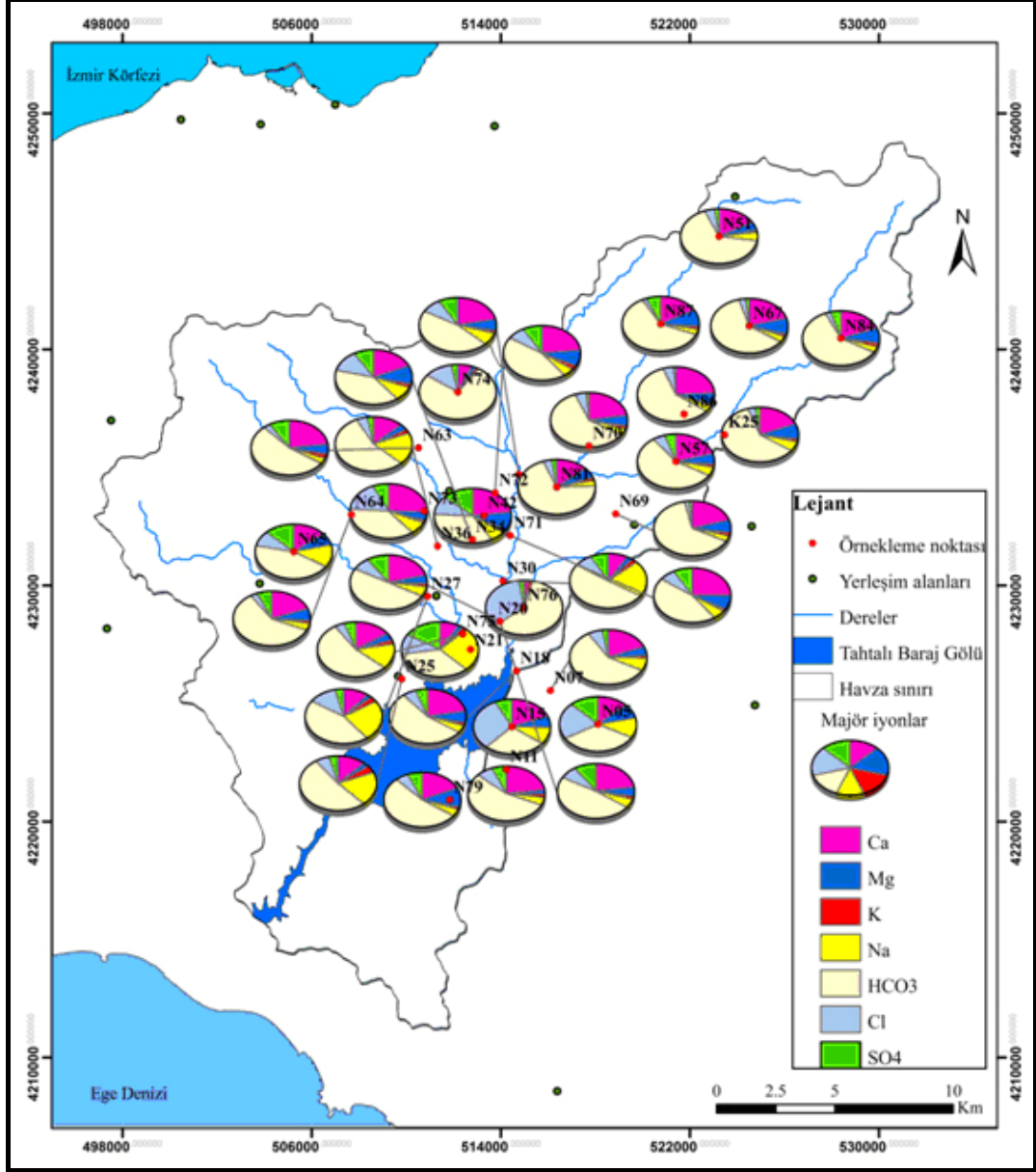
Şekil 3.46 Çalışma alanındaki yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem NO_3^- (mg/L) grafiği

Yukarıda değerlendirmesi yapılan Tahtalı Baraj Havzası yağışlı dönem yeraltı sularına ait majör anyon ve katyonlarının tümüne ait dairesel grafik Şekil 3.47’de verilmiştir.

3.10.2 Sulardaki Ağırmetaller

Birincil dağılım bölgelerinde magmatik, metamorfik kayalarda, magmatik ve hidrotermal maden yataklarında yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında oluşan elementler duraylı halde bulunurlar. Bu kayalar ve maden yatakları içerisinde hareket eden akışkan, çevresi ile sürekli etkileşim halindedir. Etkileşim süresine ve fizikokimyasal koşullara bağlı olarak elementler birincil dağılım bölgelerinden ikincil

dağılım bölgelerine toprak ve sulara geçerek yeraltı ve yüzey sularının kalitelerini ve kullanma özelliklerini etkilerler.



Şekil 3.47 Tahtalı Baraj Havzası yağışlı dönem yeraltı sularının majör iyonlarının dairesel grafiği

İçme suyundaki minör ve iz inorganik bileşenler için tavsiye edilen sınır değerleri insan sağlığına doğrudan zarar verme yerine başka nedenlerden dolayı konmuştur. Örneğin demir ve mangan insan vücudu için gereklidir ve bu elementlerin içme suyu ile vücuda giren miktarı vücut gereksiniminin çok küçük kısmını oluşturur. Standartlarda bu metallerle getirilen tavsiye sınır değerleri bu metallerin oksitleri çok zor

çözündüğünden su kullanımı sırasında leke oluşturma veya çökelme gibi nedenlerle sadece kullanımdan kaçınmak amacıyla getirilmiştir (Şahinci, 1991).

Yeraltı sularının kullanımının belirlenmesi amacıyla kaliteleri bazı standartlara göre sınıflandırılmışlardır. Bu standartlar kimyasal analiz sonuçlarına dayalı olarak suyun değişik amaçlı kullanımlara elverişliliğini değerlendirmede kullanılmaktadır. Bu standartların en önemlisi içme suyu için geliştirilmiş olanlardır. İçme sularında tavsiye edilen izin verilebilir sınır değerleri verilen majör bileşenler, toplam çözünmüş katı madde, sülfat ve klorür konsantrasyonlarını aşan suların insanlar tarafından tüketilmesinde genellikle bir tehlike bulunmamaktadır.

Tablo 3.25 ve 3.27’de içme ve kullanma sularında fazla miktarda bulunması istenmeyen elementlerin çalışma alanı yeraltı sularındaki miktarları ve Tablo. 3.26’da karşılaştırıldıkları standartları ve yağışlı döneme ait istatistiksel değerleri verilmiştir.

3.10.2.1 Bakır (Cu)

Yerkabuğundaki kayalarda nabit bakır, bakır sülfürler (kalkopirit, kalkozin) ve karbonat mineralleri (malahit, azurit) halinde bulunur (Goldschmidt, 1958). Bununla birlikte bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan sulardaki bakır miktarının çok az kısmı doğal kökenlidir. (Hem, 1985)

Fizyolojik fonksiyonların pek çoğunda bakıra gereksinme duyulduğu halde fazlası zehirleyici etki yapar. Kemiklerin, sinir sisteminin ve bağ dokularının gelişiminde önemli bir rolü vardır. Aşırı dozda bakır alımı böbrek, merkezi sinir sistemi ve sindirim sisteminde rahatsızlıklara yol açar (WHO, 2004).

İçme ve kullanma sularında çok fazla bulunması istenmeyen elementlerden olan bakır elementi için kabul edilebilir sınır değerler Tablo 3.26’de verilmiştir. Örneklerden hiçbiri TS266’nın maksimum değeri olan 2000 µg/L’yi aşmamıştır.

3.10.2.2 Çinko (Zn)

Kıtasal kabukta ortalama 80 ppm kadar çinko bulunur. En önemli minerali çinkoblend ve simitsonit'tir. İlksel silikat ve oksitlerin yapısında izlenen çinko, bu minerallerin kimyasal bozunumu ile suda iyonlaşır. Çinko sülfidlerin kimyasal bozunumu oksidasyon tarafından kontrol edilir. Sülfidlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları demir çelik sanayi ve diğer endüstriyel atıkların, kömür ve kül tozlarının yüzey sularına karışması sonucu yüzey ve yeraltı sularında çinko konsantrasyonunun artmasına sebep olur (Şahinci, 1991).

Çinko bazı enzimlerin fonksiyonu için gerekli olduğundan insanlar, hayvanlar ve bitkiler açısından temel elementlerden biridir (McNeeely ve diğer, 1979). Besin maddeleri insanın çinko alımındaki en büyük kaynaktır. Vücutta çinko eksikliği gelişme yavaşlaması ve kansızlığa neden olur (WHO, 2004).

İçme ve kullanma sularında fazla bulunması istenmeyen elementlerden olup maksimum 5mg/L kadar izin verilebilir (Tablo 3.26). Çalışma alanındaki yağışlı ve kurak dönem tüm örneklerde, içme ve kullanma suları için belirlenen üst limitlerin altında çinko konsantrasyonları bulunmuştur (Tablo 3.25 ve Tablo 2.27).

3.10.2.3 Demir (Fe)

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalarındaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Piroksen, amfibol, biyotit, magnetit ve olivinlerde demir içeriği oldukça yüksektir. Sedimanter kayalarda hematit, magnetit ve götit mineralleri şeklinde görülür. Artıca kükürt cevherlerinde ve kömür damarlarında demir sülfid olarak bulunur (Rankama ve Sahama, 1964; Hem, 1985).

Yüzey ve yeraltı sularında bulunan demir; kayalardan, endüstriyel atıklardan, kömür küllerinden, kömür yatakları drenaj sularından, asidik madenlerin drenaj sularından, madencilik endüstrisi atıklarından, çeşitli alanlarda kullanılan demir ve çelik malzemenin korozyonundan kaynaklanır. Demir sularda Fe^{+2} ve Fe^{+3} şeklinde bulunur. Yeraltı sularında en yaygın olarak Fe^{+3} şeklinde bulunur (Hem, 1985). Yeraltı

suyunun demir içeriğini etkileyen en önemli faktörlerin başında oksidasyon-redüksiyon koşulları ve suyun pH özelliği gelir (Hatwa, 1989).

Demir insan besinlerinde bulunan ana elementlerden biridir. İnsanın günlük demir gereksinmesi yaş ve cinsiyete bağlı olarak 7-14 mg/L arasında değişir. İnsan vücuduna alınan demirin %10'u absorbe edilerek çeşitli organlarda kullanır. Absorblanan demirin %60-70'i kanda bulunan hemoglobinin üretiminde kullanır (WHO, 2004).

Demir hayvan ve bitki metabolizmasında rol oynayan ana elementlerdendir (Hem, 1985). Demir içeriği 20 mg/L aşan suların bitkiler üzerinde zehirleyici etkisi bulunmaktadır.

İçme ve kullanma sularında bulunan demirin bazı olumsuz etkileri de görülmektedir. Kuyu ve şebeke borularında paslanmalara ve kabuklanmalara neden olur. Sularda fazla bulunması halinde acımsı buruk bir tat verir. İçme ve kullanma sularında çok fazla bulunması istenmez, standartlara göre maksimum 200 µg/L-300 µg/L kadar izin verilebilir (Tablo 3.26).

Örneklenen su noktalarında yağışlı dönemde 794,70µg/L. 232,70 µg/L ve 221,50µg/L demir konsantrasyonu sırasıyla N07, N62, N72 bulunmuştur (Şekil 3.48). Kurak dönem örnekleri 27,7 µg/L-1649 µg/L aralığında demir konsantrasyonuna sahiptir. N18'de 1649 µg/L, N42'de 1334 µg/L ve N63'de 363,8 µg/L, N76'de 301,8 µg/L değeri ile karşılaştırmalarda kullanılan standartların tümü aşılmıştır.

Örneklenen noktaların yağışlı dönem demir konsantrasyonları Şekil 3.49'da dairesel gösterimle verilmiştir. demir konsantrasyonu dairesel gösterimde üç gruba ayrılarak verilmiştir. En büyük çaplı dairelerin görüldüğü Menderes'te ve Develi güneyinde TS266 üst limitinin aşıldığı görülmektedir. Standartları aşmamakla birlikte bir çok noktada 50 µg/L-200 µg/L aralığında değişim gösteren demir konsantrasyonu izlenmektedir.

Tablo 3.25 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının yağışlı dönem ağır metal konsantrasyonları (µg/L)

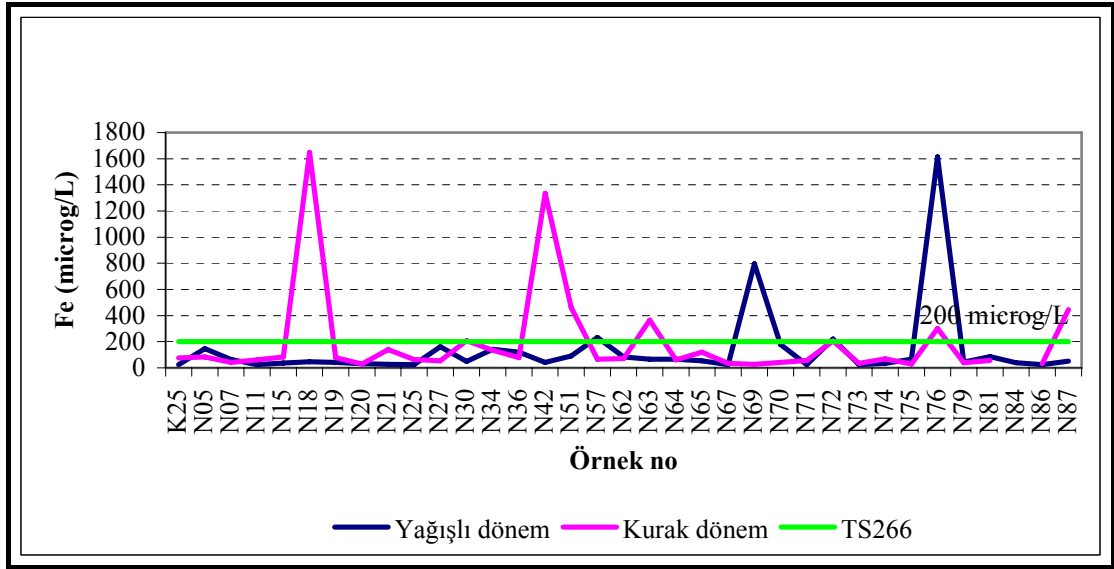
Örnek no	X	Y	Z	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
K25	523465	4236389	149	68.05	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	<12.5	20.60	29.44
N05	518110	4224127	50	79.22	93.84	<10	<10	<10	120.40	19.06	<10	21.15	21.11	<25
N07	516097	4225548	58	338.70	<25	<10	<10	31.00	794.70	108.10	<10	14.38	<10	35.58
N11	514234	4222207	70	90.62	<25	<10	<10	<10	146.50	<10	<10	15.18	21.37	674.70
N15	514467	4224023	55	98.20	<25	<10	<10	<10	64.38	<10	<10	28.97	21.04	276.60
N18	514666	4226385	66	72.31	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	17.63	17.06	59.34
N19	513962	4228481	71	93.72	<25	<10	<10	<10	37.32	<10	<10	<12.5	19.93	53.91
N20	513962	4228481	71	87.59	27.95	<10	<10	<10	45.34	<10	<10	13.33	19.10	136.50
N21	512716	4227294	78	48.79	25.45	<10	<10	<10	42.11	<10	<10	<12.5	<10	140.70
N25	509807	4226045	93	43.89	30.73	<10	<10	<10	31.55	10.13	<10	<12.5	14.49	<25
N27	510902	4229536	92	47.75	<25	<10	<10	<10	26.70	<10	<10	<12.5	<10	26.15
N30	514089	4230198	84	65.18	151.60	<10	<10	<10	25.17	<10	<10	<12.5	<10	26.45
N34	512792	4231945	91	156.50	<25	<10	<10	<10	160.60	22.38	<10	<12.5	<10	39.73
N36	511326	4231667	99	149.80	36.37	<10	<10	<10	47.85	17.54	<10	<12.5	11.10	93.95
N42	513289	4232957	100	156.30	<25	<10	<10	19.56	141.60	22.51	<10	15.22	13.67	104.90
N51	523234	4244791	265	85.65	<25	<10	18.03	<10	41.22	32.91	<10	12.86	28.91	25.61
N57	521407	4235258	171	82.00	<25	<10	<10	<10	90.40	<10	<10	<12.5	<10	140.10
N62	514755	4234711	100	86.10	<25	<10	<10	<10	232.70	<10	<10	<12.5	17.77	81.51
N63	510522	4235833	142	80.07	<25	<10	<10	<10	84.47	<10	<10	<12.5	15.22	459.30
N64	507675	4233002	147	84.07	<25	<10	<10	<10	66.30	<10	<10	<12.5	19.03	78.07
N65	505242	4231435	176	86.10	<25	<10	<10	<10	66.99	607.60	<10	<12.5	12.90	118.50
N67	524514	4240998	362	130.40	<25	<10	<10	<10	55.02	28.53	<10	<12.5	13.78	95.85
N69	518859	4233036.7	129	60.98	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	<12.5	14.66	111.80
N70	517731	4235913	130	260.80	<25	<10	<10	<10	178.70	44.99	<10	<12.5	17.47	62.35
N71	514386	4232121	91	68.34	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	<12.5	<10	36.66
N72	513757	4233929	105	181.60	25.87	<10	<10	<10	221.50	53.55	<10	<12.5	13.93	78.74
N73	510753	4233153	109	74.01	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	<12.5	12.18	99.87
N74	512179	4238200	125	83.55	<25	<10	<10	<10	34.56	13.54	<10	13.98	16.56	57.60
N75	512391	4227942	83	86.93	<25	<10	<10	<10	66.34	<10	<10	<12.5	<10	54.88
N76	514985	4229060	71	498.80	240.50	<10	<10	<10	161.4	140	<10	20.81	19.24	<25
N79	511832	4220924	79	94.97	<25	<10	<10	<10	44.07	33.96	<10	13.30	<10	<25
N81	516368	4234174	107	62.19	56.31	<10	<10	<10	86.33	<10	<10	<12.5	11.47	54.77
N84	528392	4240473	336	94.63	<25	<10	<10	<10	39.20	<10	<10	<12.5	15.52	128.70
N86	521756	4237257	199	74.50	<25	<10	<10	<10	<25	<10	<10	<12.5	<10	258.70
N87	520763	4241086	183	69.23	500.40	12.08	<10	<10	50.49	<10	<10	<12.5	18.85	224.70

3.26 Çalışma alanı yağışlı dönem yeraltı sularının bazı istatistik değerleri ve karşılaştırmada kullanılan standartlar (* Bu parametreler için minimum değerler ICP cihazının alt ölçüm limitidir. ** Bu parametreler için ortalama ve standart sapma değerleri, ICP cihazının alt limiti olan değerin üzerindeki ölçümler dikkate alınmıştır. ¹ İTASHY (2005); ² EPA (2003); ³ WHO (2004))

Parametre	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma	İTASHY ¹	EPA ²	WHO ³
Sıcaklık	°C	16.30	24.20	19.82	1.93	25	-	-
pH	-	6.69	8.00	7.26	0.29	6.5-9.2	6.5-8.5	6.5-8.5
EC	µS/cm	474	2180	899	403	2500	-	-
K ⁺	mg/L	7.02	17.37	9.75	2.71	12	-	-
Ca ⁺²	mg/L	22.02	236.10	120.20	42.94	200	-	-
Mg ⁺²	mg/L	5.19	83.44	33.37	17.95	50	-	-
Na ⁺	mg/L	1.74	127.65	42.94	37.84	175	-	200
SAR	-	0.05	3.94	0.97	1.00	-	-	-
Cl ⁻	mg/L	10.93	326.44	60.76	69.60	250	250	250
NO ₂ ⁻	mg/L	0.02	0.11	0.07	0.06	0.5	-	-
NO ₃ ⁻	mg/L	0.16	174.95	51.43	47.68	50	44.3	50
SO ₄ ⁻²	mg/L	0.00	159.38	47.77	38.66	250	250	250
HCO ₃ ⁻	mg/L	173.24	539.24	337.56	88.14	-	-	-
Al	µg/L	43.89	498.80	112.62	89.65	200	200	200
As	µg/L	25.00*	500.40	118.90**	151.36**	10	10	10
Cd	µg/L	10.00*	12.08	12.08**	-	5	5	3
Cr	µg/L	10.00*	18.03	18.03**	-	50	100	50
Cu	µg/L	10.00*	31.00	25.28**	8.09**	2000	1300	2000
Fe	µg/L	25.00*	1614.00	160.57**	314.40**	200	300	200
Mn	µg/L	10.00*	607.60	82.49**	155.69**	50	50	400
Pb	µg/L	12.50*	28.97	16.98**	4.92**	50	15	10
Sb	µg/L	10.00*	28.91	17.08**	4.02**	10	6	20
Zn	µg/L	25.00*	674.70	124.70**	137.10**	5000	5000	5000

Tablo 3.27 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı sularının kurak dönem ağır metal konsantrasyonları (µg/L) (n.a ölçülemedi)

Örnek no	X	Y	Z	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
K25	523465	4236389	149	10,45	5,982	1,665	3,243	n.a	76,23	1,482	0,561	8,444	10,57	7,138
N05	518110	4224127	50	45,59	72,87	3,361	2,504	2,843	84,3	15,32	1,228	6,83	13	14,05
N07	516097	4225548	58	1,634	7,877	1,497	3,632	3,845	40,55	1,086	2,346	6,379	8,72	47,54
N11	514234	4222207	70	11,05	7,244	1,791	4,485	n.a	60,87	3,153	1,29	7,274	8,24	830,7
N15	514467	4224023	55	6,578	0,197	1,601	2,667	n.a	82,84	4,243	2,193	8,666	11,14	42,99
N18	514666	4226385	66	381,6	76,91	4,042	5,343	2,324	1649	75,4	11,35	11,5	12	275,3
N19	513962	4228481	71	34,28	20,37	2,047	2,833	n.a	77,18	4,864	0,888	10,25	8,968	17,43
N20	513962	4228481	71	n.a	12,9	1,794	3,079	n.a	28,8	0,762	1,52	6,262	6,485	163,9
N21	512716	4227294	78	40,85	13,94	2,05	3,602	n.a	138,4	6,125	1,602	9,045	9,76	33,24
N25	509807	4226045	93	22,31	22,52	2,205	2,165	n.a	63,33	18,02	4,083	8,625	12,02	19,19
N27	510902	4229536	92	11,19	21,44	2,004	3,162	n.a	54,42	4,444	n.a	9,223	11,17	25,98
N30	514089	4230198	84	268,2	598,3	17,24	2,954	1,768	209	26,66	2,021	7,63	12,43	14,81
N34	512792	4231945	91	82,29	11,9	1,745	3,119	n.a	135,4	19,7	0,991	8,257	9,047	12,78
N36	511326	4231667	99	55,5	19,78	2,331	2,775	n.a	78,62	7,619	0,441	5,464	8,771	16,93
N42	513289	4232957	100	873,4	1,739	1,781	6,755	59	1334	345,2	17,12	17,23	11,36	56,44
N51	523234	4244791	265	21,38	n.a	1,608	3,31	n.a	461,9	52,33	0,783	6,796	10,38	20,7
N57	521407	4235258	171	18,43	0,055	1,686	2,273	0,176	65,78	1,147	0,674	7,835	11,94	47,04
N62	514755	4234711	100	52,17	18	1,85	5,983	n.a	70,33	3,327	1,371	11,67	10,83	9,88
N63	510522	4235833	142	11,93	5,032	1,5	2,765	n.a	363,8	145,1	2,539	5,526	11,61	21,46
N64	507675	4233002	147	30,37	3,748	1,89	3,595	n.a	61,72	3,416	1,377	4,647	13,08	117,7
N65	505242	4231435	176	24,44	9,82	1,786	2,456	n.a	118,9	93,45	3,198	7,673	10,71	21,79
N67	524514	4240998	362	13,5	2,252	1,558	2,53	n.a	33,71	1,623	0,82	10,7	10,4	14,19
N69	518859	4233036,7	129	12,3	6,801	1,834	4,52	n.a	27,7	0,158	1,438	7,968	15,38	11,81
N70	517731	4235913	130	20,74	6,076	1,683	3,802	n.a	40,59	1,003	1,288	12,03	13,76	76,56
N71	514386	4232121	91	28,25	131,1	5,038	4,402	n.a	56,01	1,096	1,574	7,06	12,99	30,84
N72	513757	4233929	105	176,4	155,1	5,697	5,949	n.a	204,8	11,29	2,905	6,221	12,38	16,02
N73	510753	4233153	109	21,99	1,917	1,693	2,294	n.a	34,7	1,381	0,57	9,171	13,87	7,779
N74	512179	4238200	125	49,24	6,88	1,761	2,878	n.a	67,8	6,142	1,65	10,74	14,4	24,54
N75	512391	4227942	83	12,53	12,26	2,539	4,283	n.a	30,59	0,532	0,195	9,709	14,16	238
N76	514985	4229060	71	27,87	161,4	5,258	2,125	n.a	301,8	16,13	1,402	8,775	12,78	15,79
N79	511832	4220924	79	25,49	n.a	1,8	3,241	n.a	40,19	1,376	1,443	5,327	13,83	8,549
N81	516368	4234174	107	25,62	40,36	3,118	4,299	4,087	56,31	1,042	0,907	7,151	13,84	19,17
N86	521756	4237257	199	19,5	0,062	2,158	4,202	n.a	32,72	0,414	1,465	8	16,42	264,1
N87	520763	4241086	183	22,16	548,4	15,64	3,02	n.a	445,7	11,32	4,447	8,884	15,15	46,15

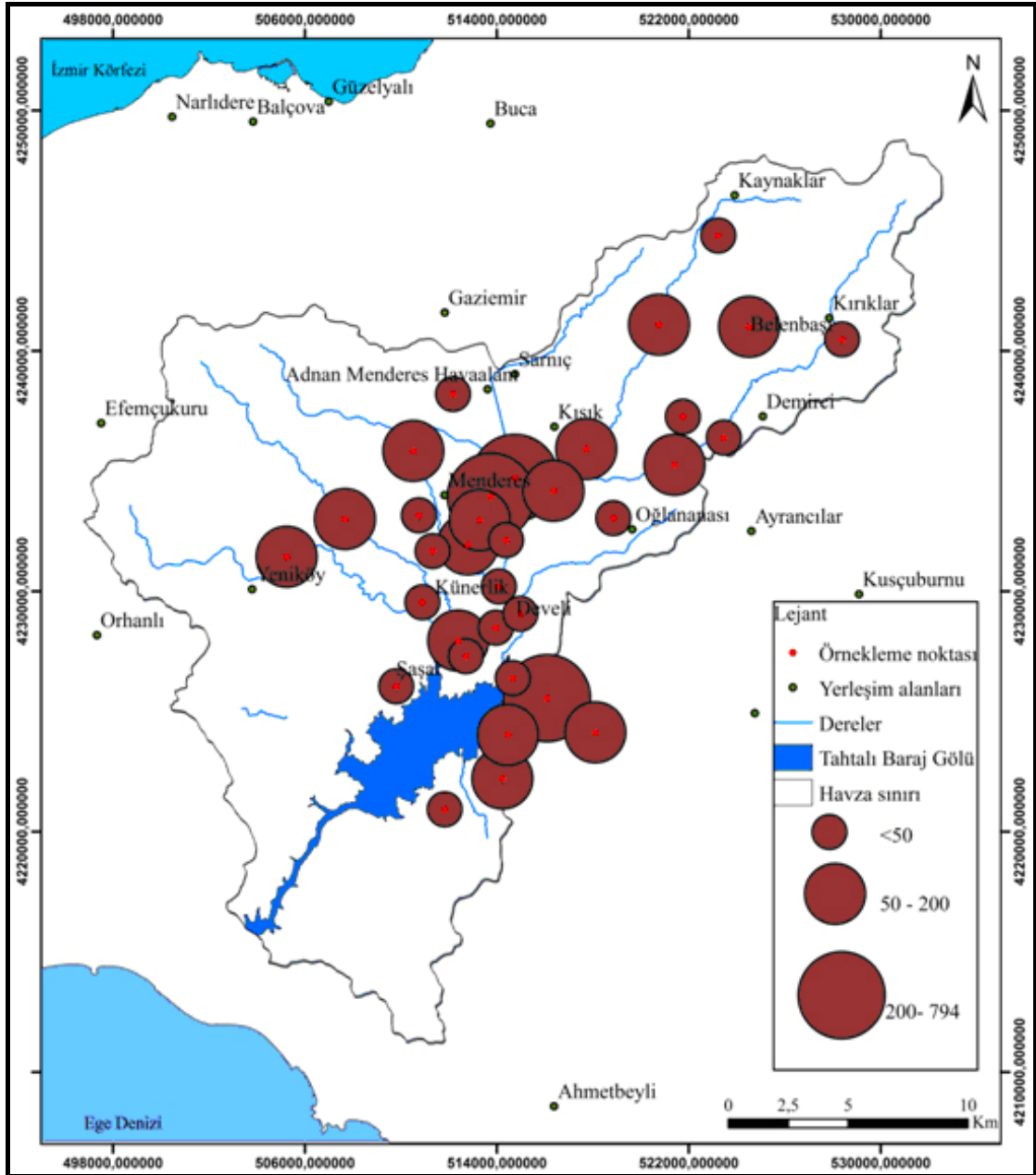


Şekil 3.48 Örneklenen su noktalarının yağışlı ve kurak dönem demir ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu grafiği

3.10.2.4 Mangan (Mn)

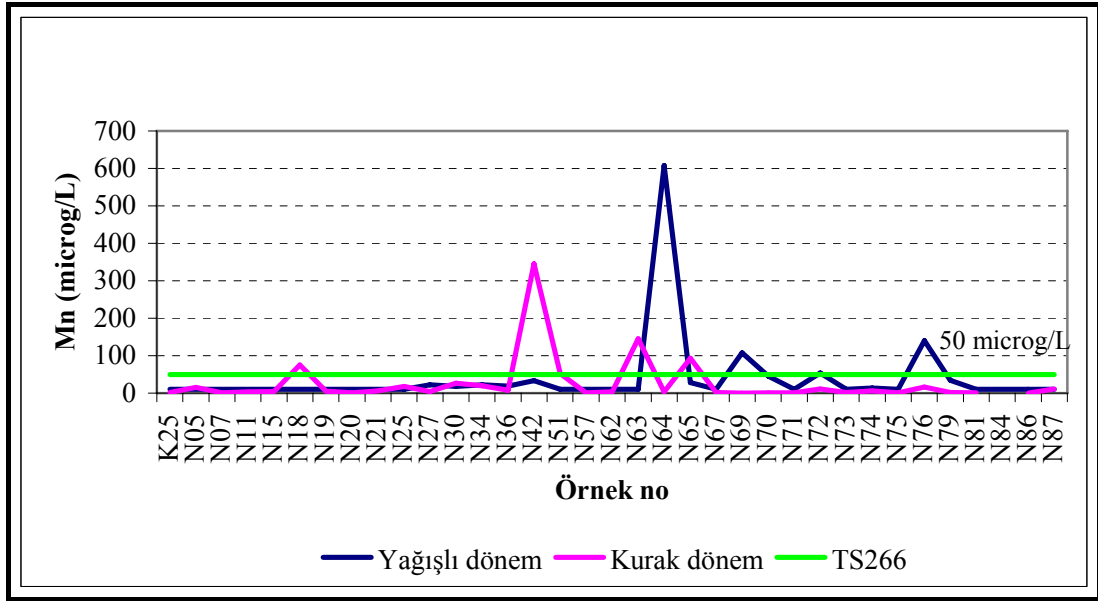
Kimyasal davranışları demire benzer ve minerallerin yapısında çoğunlukla demir ile beraber bulunur. Yerkabuğunda 1000 ppm kadar bulunan manganezin 171 minerali bulunmakla beraber en önemli mineralleri hausmanit, braunit, pyrolusit, manganit, vernadit, pisilomelan, rodokrozit, manganokalsit ve laurittir. Manganezin çözünürlüğünü geniş ölçüde Eh-pH etkiler. Asidik ve hafif alkali sularda Mn^{+2} , alkali ortamlarda Mn^{+4} iyonu şeklinde bulunur. Yeraltı sularında 200 ppm'den az mangan bulunur. Sıcak sularda daha fazla olabilir (Şahinci, 1991). Yüksek mangan içeren yeraltı sularının çoğu termal kaynaklıdır (Hem, 1985).

İnsan ve hayvan beslenimlerinden biri olan mangan bazı enzimler, hemoglobin ve kolesterolün sentezinde ve birçok metabolik süreçte önemli rol oynar. Vücutta mangan eksikliği büyüme yavaşlaması, sinir sistemi bozuklukları, kansızlık, çocuklarda kemik bozukluğu gibi rahatsızlıklara neden olur (WHO,2004). Bitkilerin metabolizması için önemli olan mangan içme sularında çok fazla istenmeyen elementler arasında yer alır maksimum $50\mu\text{g/L}$ kadar izin verilebilir (TSE 266, 2005). WHO, 2004'e göre bu değer $400\mu\text{g/L}$ 'dir.



Şekil 3.49 Örnekleme noktaları yağışlı dönem Demir($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu dairesel diyagramı

Çalışma alanında TS266 ve EPA'nın $50 \mu\text{g/L}$ maksimum değerleri, yağışlı dönem örneklerinden N07, $108,10 \mu\text{g/L}$; N65, $607,60 \mu\text{g/L}$; N72, $53,55 \mu\text{g/L}$; N76, $140 \mu\text{g/L}$ değerleri ile aşılmıştır. WHO, 2004'ün $400 \mu\text{g/L}$ maksimum değerini sadece N65 aşmaktadır (Şekil 3.50). Kurak dönem örneklerinden N42, N63, N65; $50 \mu\text{g/L}$ olan TS266 standardını aşmıştır (Şekil 3.50). Şekil 3.51'de görüldüğü gibi demirdeki konsantrasyon dağılımına benzer dağılım izlenmektedir.

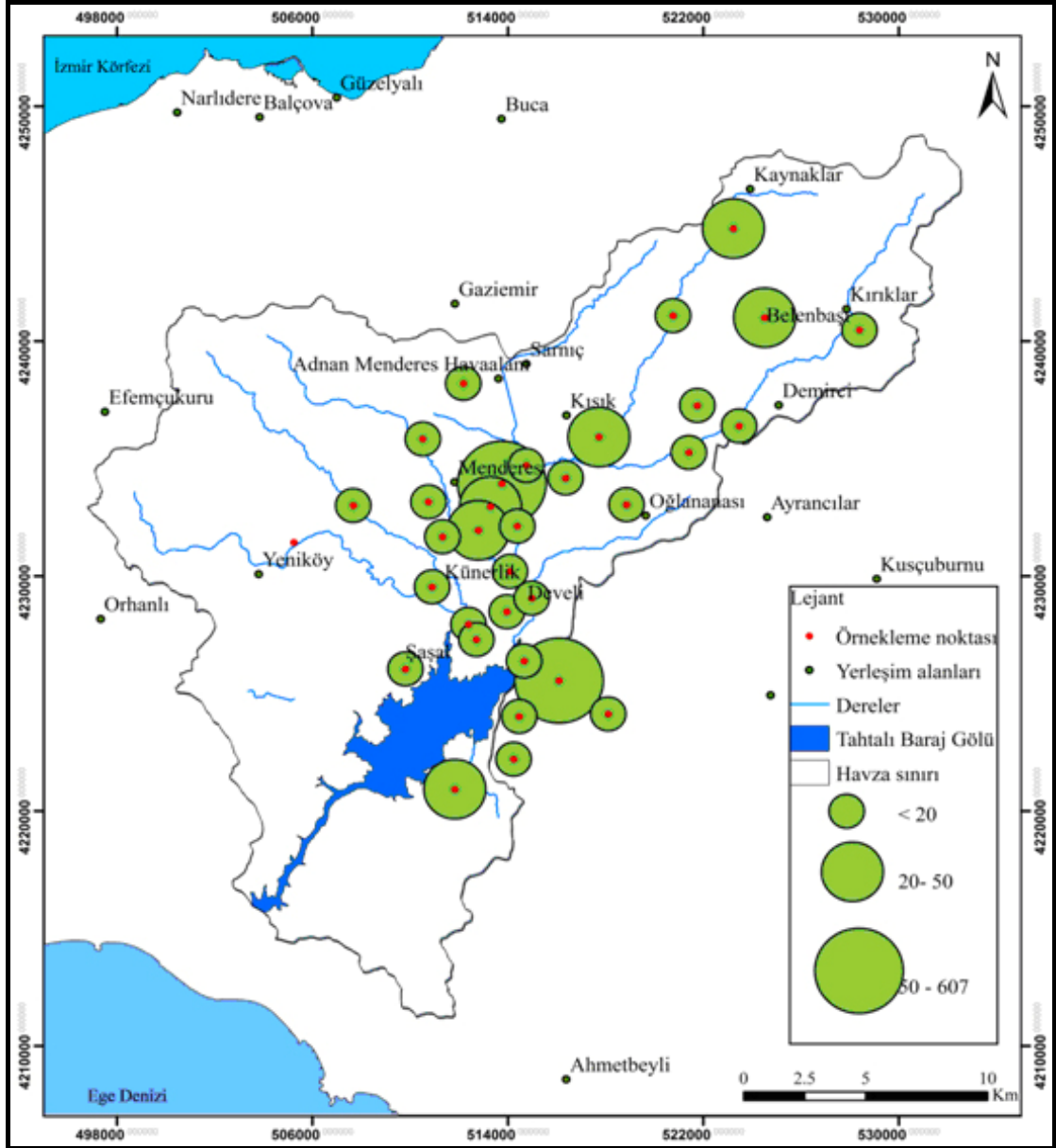


Şekil 3.50 Örneklenen su noktalarının Mangan ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu grafiği

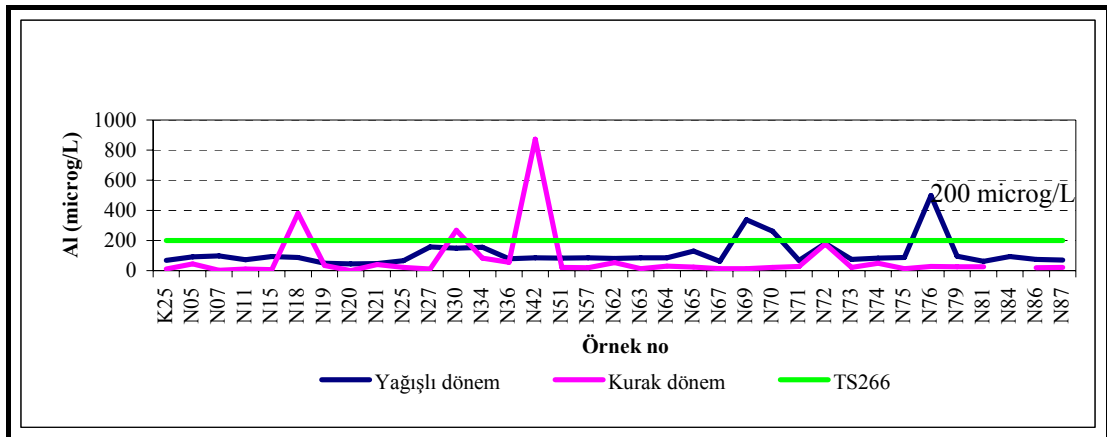
3.10.2.5 Alüminyum (Al)

Alüminyum yer kabuğunda önemli miktarlarda bulunmasına karşın (%8,6) az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. Alüminyum pH 5-9 arasında sularda 1 ppm'den azdır. Yeraltı sularında genellikle 0,005-0,3 ppm arasında alüminyum izlenir. Asit sularda bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1991). Standartlara göre sularda bulunmasına izin verilen maksimum değer 200 ($\mu\text{g/L}$)'dir.

Yağışlı dönem örneklerinde Al, N07 338,70 ($\mu\text{g/L}$); N70 260,80 ($\mu\text{g/L}$), N76 498,80 ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyon değerleri ile standartların üzerinde seyreden pikler vermekte (Şekil 3.52) bunların dışındaki tüm örnekler standartların altında kalmaktadır. Alüminyum konsantrasyonunun aşıldığı yerler Develi ve Kısık çevresidir (Şekil 3.53). Kurak dönem örneklerinde N18, N30 ve N42'de TS266 standardı aşılmıştır (Şekil 3.52).



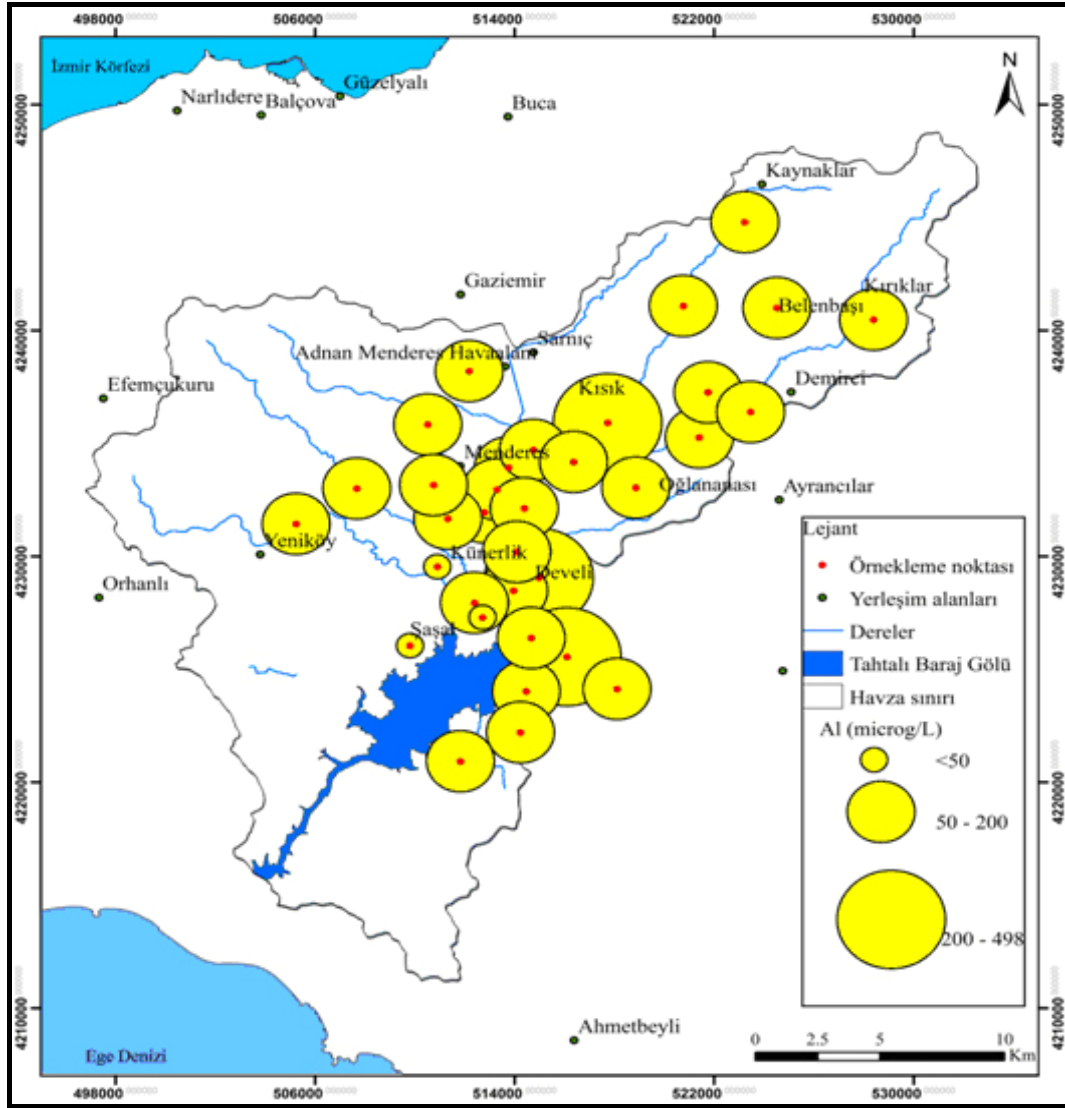
Şekil 3.51 Örnekleme noktaları yağışlı dönem Mangan ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu dairesel diyagramı



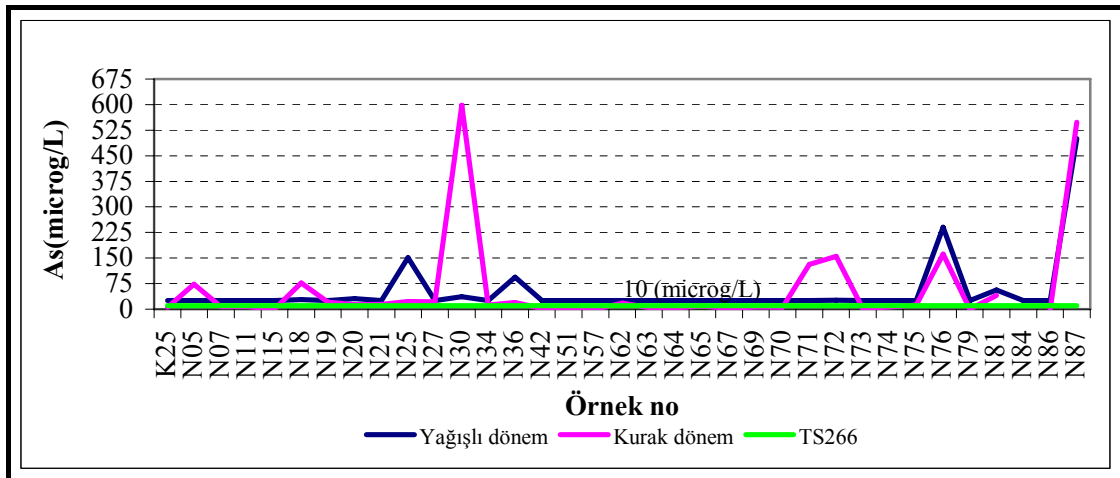
Şekil 3.52 Yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönem Alüminyum ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu grafiği

3.10.2.6 Arsenik (As)

Arsenik kalkofil bir element olup hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co gibi elementlerle, Ni-Co sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda ve oksitlerde izlenir. Çok zehirli olan arsenik elementi içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 50 µg/L'ye kadar müsaade edilebilir değer düşürülerek 10 µg/L'ye (TSE 266, 2005) indirilmiştir. EPA 2003 ve WHO 2004 de de bu değer 10 µg/L'dir. Dünyanın bir çok yerinde yeraltı sularında As kirliliği bilinmektedir (Smith ve diğer., 2000, Çolak ve diğer., 2004). Yeraltı sularındaki As oluşumu için bir çok mekanizma önerilmiştir. Örneğin oksidasyon (Das ve diğer., 1995), indirgenme (Bhattacharya ve diğer., 1997), anyon etkisi (Acharyya ve diğer., 1999), indirgenme ve yeniden yükseltgenme (Mukherjee ve Fryar, 2008) bu konuda öne sürülmüş mekanizmalardır. Tayvan'da yapılan çalışmalar, yeraltı sularında As kaynağı olarak demir hidroksitlerin çözünmesini (Wang ve diğer., 2007) göstermektedir. Jeokimyasal verilerin istatistiksel analizleri, arseniğin özellikle pirit oksidasyonu ve siderit çözünmesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Lin ve diğer., 2006). Hindistan ve Bangladeş'te ki çalışmalar düşük hidrolik gradyana sahip akiferlerde demir hidroksitlerin bakteriyel indirgenmesi ile açığa çıkabileceğini göstermiştir (Polizzotto ve diğer., 2005, Nath ve diğer., 2008b). Yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonunun en önemli nedeni fillosilikat, demiroksit ve sülfid minerallerinden ayrılan arseniktir (Ayers, ve Westcot, 1985, Pal ve diğer., 2002 a,b). As farklı bitkilerde farklı oranlarda, özellikle bitki yapraklarında kolayca depolanır. Bu bitkiler tüketildiğinde insan sağlığı için toksik etkisi vardır (Farid ve diğer., 2003). Çalışma alanındaki yağışlı dönem örneklerinde TSE 266'nın 10 µg/L maksimum değeridir ancak ölçüm hassasiyeti 25 µg/L değerine alt sınır olarak analiz ettiği için N20, N21, N25, N30, N36, N72, N76, N81, N87'de 25 µg/L değeri aşılmıştır (Şekil 3.54 ve Şekil 3.55). Yağışlı dönemde Kurak dönem örneklerine ait As değerleri (Şekil 3.56), 10 µg/L olan TSE 266, EPA ve WHO'nun değerleri kurak dönemde bir çok örnek noktasında aşılmıştır (Şekil 3.54). Kurak dönemde daha fazla noktada standartların aşılması kurak dönem nedeniyle konsantrasyon artışı ile açıklanabilir. Bölgede yaygın şeyl ve kumtaşları doğal arsenik kaynağı olarak gösterilebilir. Çatalca formasyonuna ait kömürlü seviyeler de As içeriği ve yeraltı sularına etkisi açısından irdelenmelidir.

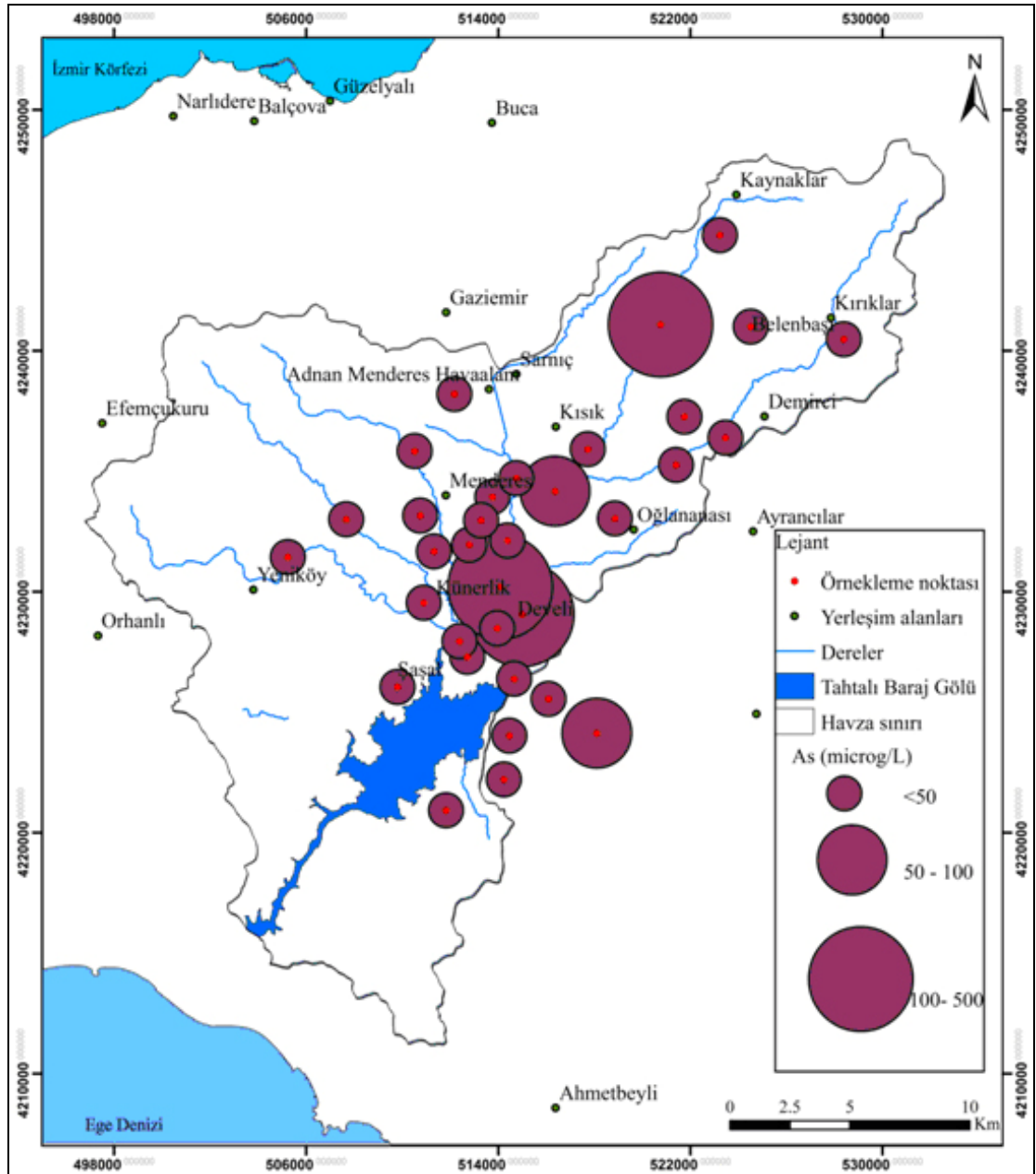


Şekil 3.53 Yağışlı dönem Alüminyum ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu dairesel diyagramı



Şekil 3.54 Yağışlı ve kurak dönem Arsenik ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyon grafiği

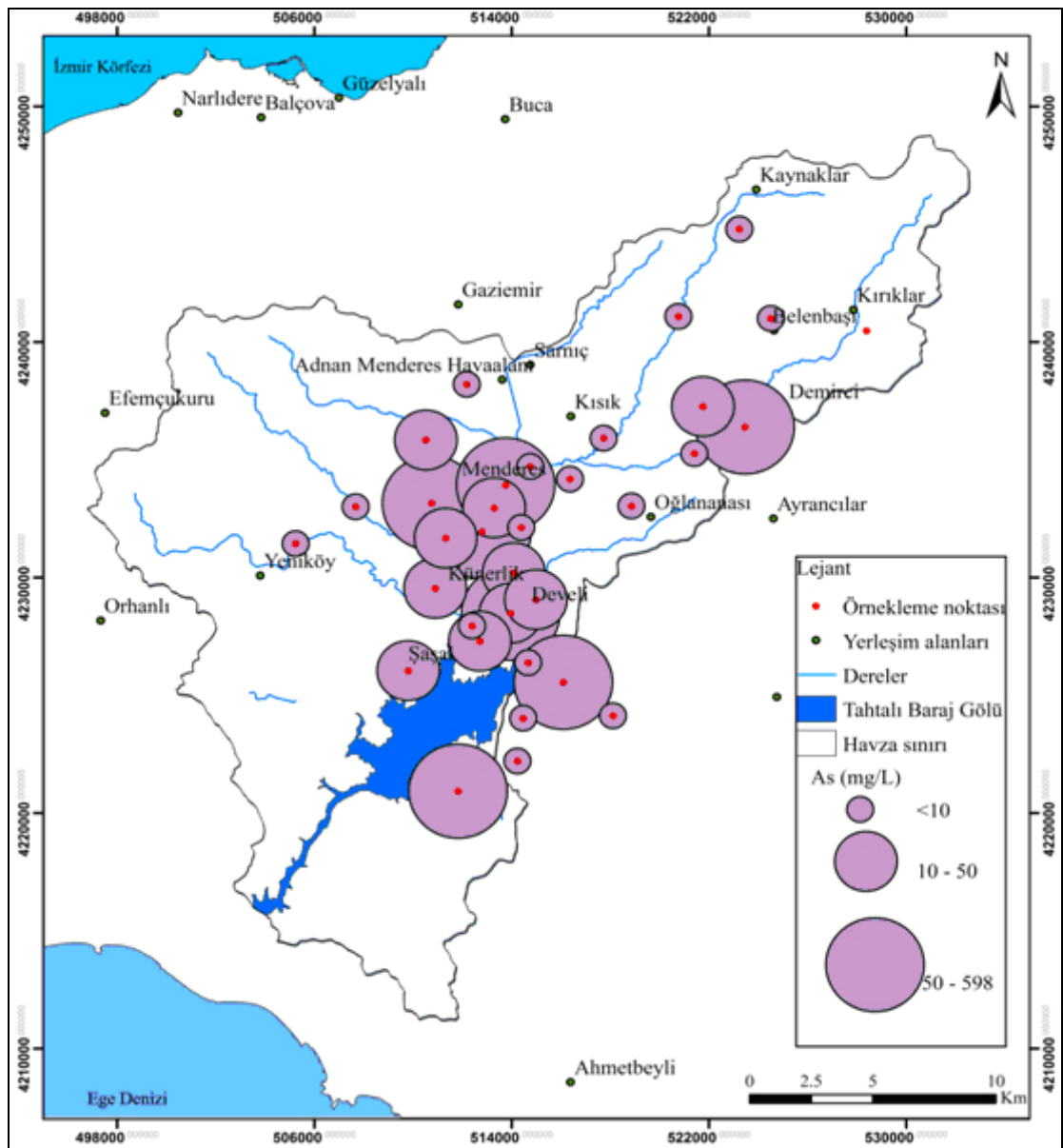
Seferihisar yükselimi üzerindeki Bornova Karmaşığı'na ait birimleri kesen KD-GB ve KB-GD tektonik hatları boyunca yerleşmiş olan subvolkanik riyoit daykları ile birlikte ve onları keser şekilde gelişmiş Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Mn cevherleşmeleri (Mutlu, 2004) bulunmaktadır. Çalışma alanına sözü edilen bölgeden de bir beslenme olması As konsantrasyonu üzerinde etkili olabilir. İleri ve diğer., (2007) 'de bölgedeki yeraltı sularında yüksek As konsantrasyonuna dikkat çekmektedir.



Şekil 3.55 Örnekleme noktaları yağışlı dönem Arsenik ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu dairesel diyagramı

3.10.2.7 Antimon (Sb)

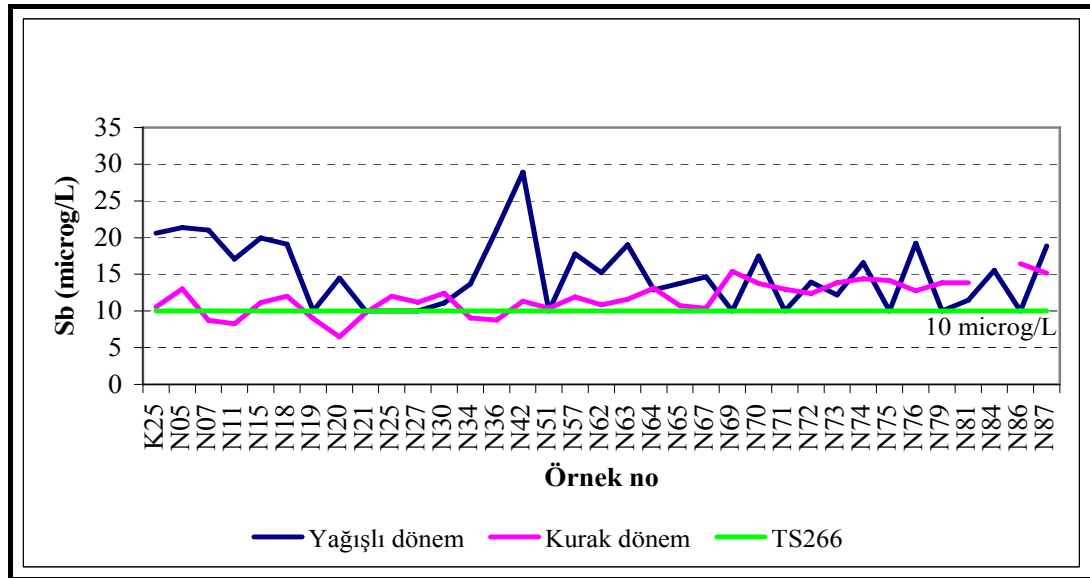
Antimonun birçok minerali hidrotermal damarlarda ve bunların oksitleşme zonlarında bulunur. Arsenikle her ortamda karışarak arsenik-antimon alaşımlarını oluştururlar. Toksik bir element olup içme sularında istenmeyen elementlerdendir. Akut zehirlenmelerinde ağızda metalik tat, gastrointestinal irritasyon, bulantı, kusma diare, vücut ısısının düşmesi, solunum yavaşlaması ve kalp yetmezliği sonucu ölümler oluşur (Şahinci, 1991).



Şekil 3.56 Örnekleme noktaları kurak dönem Arsenik ($\mu\text{g/L}$) konsantrasyonu dairesel diyagramı

Toksik bir element olan antimon elementi içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 10 µg/L kadar müsaade edilebilir (TSE 266, 2005). EPA, 2003'e göre 6 µg/L, WHO, 2004'e göre 20 µg/L değerleri maksimum müsaade edilebilir değerlerdir.

Çalışma alanında bir çok örnekte yağışlı ve kurak dönemde antimon için verilen TSE 266 sınır değerleri aşılmaktadır (Şekil 3.57). Yağışlı dönemde K25, N05, N15, N11, N51'de WHO'nun 20 µg/L değerini de aşmakta, kurak dönemde WHO standardı hiçbir örnek noktasında aşılmamaktadır.



Şekil 3.57 Örneklenen su noktalarındaki antimon (µg/L) konsantrasyon grafiği

3.10.2.8 Kadmiyum (Cd)

Doğada kadmiyum yalnızca bileşikler halinde bulunur ve bazı durumlarda diğer bir kısım elementlerin yerini alır. Kadmiyum mineralleri genellikle çinko yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyonları tarafından oluşturulur. Kadmiyumun kimyası çinkoya benzer bu nedenle çoğu kez sfalerit kadmiyum içerir (Şahinci, 1991).

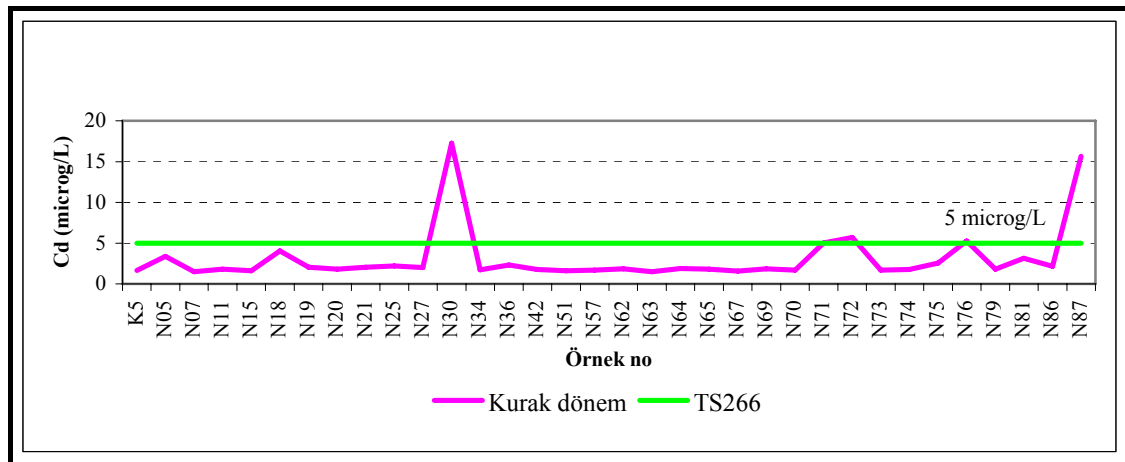
Doğal yollar dışında insan faaliyetleri sonucu su, hava, toprağa kadmiyum katılımı olmaktadır. Elektrolizle metal kaplama işlemleri, bakır ve nikel metalurjisi, fosil

yakıtların kullanımı, boyalar, nikel kadmiyumlu piller, elektronik malzemeler, motor yağları, fotoğraf malzemeleri, cam, seramik, tarım ilaçları, süperfosfat gübrelere ve plastik üretimi gibi sanayi atıkları vasıtasıyla çevreye kadmiyum atılmaktadır (McNeeely ve diğer 1979; Hem, 1985).

Kadmiyum civa ve kurşun kadar toksik önemi olan metaldir. Çinko ile beraber bulunduğundan çinko ile galvanizlenmiş kaplardan gıdalara önemli ölçüde geçer. Özellikle sanayi bölgelerindeki yeraltı sularında kadmiyum içeriği artabilir. Diyetle kalsiyum ve demir eksikliği vücutta kadmiyum absorpsiyonunu arttırmaktadır. Çocuklarda ilk üç yılda kadmiyum absorpsiyonu yetişkinlerden daha fazladır. Kadmiyum en çok böbreklerde ve karaciğerde birikmektedir. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde kadmiyum kansızlık, ve yüksek tansiyona neden olduğu saptanmıştır (Sekin ve diğer, 2001).

Toksik bir element olan kadmiyumun içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 5µg/L kadar müsaade edilebilir (TS 266, 2005).

Çalışma alanındaki sulara kadmiyum konsantrasyonu ölçüm alt limiti (10 µg/L) olduğundan ve bu değer standardın üstünde kaldığından gerekli hassasiyette ölçüm yapılamamıştır. Bu ölçüm limitine göre sadece 12,08 µg/L değeri ile N87 standartları geçmektedir (Tablo 3.26). Kurak dönem örneklerinde N30, N71, N72, N76, N87 sırası ile 17,24; 5,03; 5,7; 5,26;15,64 µg/L değerleri ile TS266 standardını aşmaktadır (Şekil 3.58).



Şekil 3.58 Örneklenen su noktalarındaki kadmiyum (µg/L) konsantrasyon grafiği

3.10.2.9 Krom (Cr)

Krom magmatik kayalarda minör bileşen olarak özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda bulunur. Doğada oksitlenmiş ortamlarda daha çok Cr^{+6} ve Cr^{+3} değerkliklerinde bulunur. En önemli minerali kromittir (FeCr_2O_4). Kıtasal kabuk kayaların ortalama 100 ppm kadar krom bulunur. Kayaların ayrışması esnasında kil ve kumlarla birlikte taşınır (Hem, 1985).

Doğal sularda çok az çözünen krom yüzey sularında ortalama 1×10^{-3} mg/L kadar bulunabilir (Şahinci, 1991). Sulardaki krom içeriği kayalardan ve çoğunlukla endüstriyel kullanımlardan ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanır. Krom tuzları metal temizleme ve kaplama, alüminyum metalurjisi, paslanmaz çelik, boya, patlayıcı maddeler, seramik, kağıt ve tekstil sanayide kullanılır. Krom bileşikleri ayrıca sondaj borularında ve soğutma kulelerinde korozyonu önlemede, sıcak su ile ısıtma sistemlerinde, yaygın söndürme sistemlerinde ve gübrelerde kullanılır (WHO, 2004).

Çözünen kromat tuzlarının insanlar üzerinde zehirleyici etkisi vardır. Cr^{+3} 'ün insan ve hayvanlarda esansiyel bir element olup krom eksikliğinin kurşun toksitesini arttırdığı gözlenmiştir. Besinlerde günlük ortalama krom alımı 60µg olarak hesaplanmıştır (Vural, 1984).

Örnekleme noktalarının tümünde kurak ve yağışlı dönem krom konsantrasyonu karşılaştırılan standartların çok altında çıkmıştır (Tablo 3.25, Tablo 3.27).

3.10.2.10 Kurşun (Pb)

Kurşun Pb^{+2} ve Pb^{+4} değerklikli olup en sık rastlanan ve duyarlı olan Pb^{+2} 'dir. Başlıca minerali galen olup doğada metal olarak bulunabilir. Magmatik ve metamorfik kayalarda özellikle potasyumlu feldispat ve mikalarda daha fazla bulunur.

Sulardaki kurşun konsantrasyonu kayalardan, topraktan ve özellikle insan aktivitelerinden kaynaklanmaktadır. Toksik bir element olan kurşun içme sularında

istenmeyen elementlerden olup sudaki konsantrasyonu standartlara göre 50 ppb değerini geçemez. Vücuda aşırı kurşun alınıp alınmadığının saptanmasında saç, kemik ve dişlerdeki kurşun konsantrasyonu bir ölçü olarak kullanılabilir. Günde 600 µg'dan fazla kurşun alınması durumunda vücutta kurşun birikiminin başlayacağı hesaplanmıştır. Kurşun sinir, kan, sindirim sistemleri, böbrekler, iç salgı bezleri, üreme organları ve akciğerler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Kandaki kurşun miktarı 0,245 ppm geçince kronik kurşun zehirlenmesi olup sinir sistemi etkilenmektedir. 54 hareketli çocuktan 28'inde kandaki kurşun miktarı 0,25-0,65 arasında bulunmuş ve çocuklarda davranış bozuklukları saptamıştır (Needleman ve Landrigan, 1981). Kandaki kurşun düzeyi 0,4 ppm geçen çocuklarda kalıcı psikolojik hastalıklar oluşma riskinin yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca 3229 ilkokul çağındaki çocuk üzerinde yapılan araştırmada dişlerinde kurşun konsantrasyonu 20 ppm'i geçen çocukların zeka düzeylerinin kurşun miktarı 10 ppm'i geçmeyen çocuklara göre daha düşük olduğu görülmüştür (Üren, 1998). Kronik kurşun zehirlenmelerinde kırmızı kan hücrelerinin etkilendiği kansızlık ve baş ağrılarının ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Sekin ve diğer., 2001).

Toksik bir element olan kurşun içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 25 µg/L kadar müsadde edilebilir (TS266, 2005). Çalışma alanındaki tüm örneklerde yağışlı ve kurak dönem ,içme ve kullanma suları için belirlenen maksimum limitlerin altında kurşun konsantrasyonu saptanmıştır (Tablo 3.25, Tablo 3.27).

3.10.2.11 Nikel (Ni)

Nikel magmatik kayalarda özellikle bazik ve ultrabaziklerde bulunan pek çok mineralin yapısında yer alır. Olivin ve hipersten nikel içeren başlıca minerallerdir. Birçok sülfür mineralinin yapısında yer alır. Sedimanter kayalar ve toprakta nikel bulunabilir (Goldschmidt, 1958; Rankama ve Sahama, 1964). Yerkabuğunda ortalama olarak 75 ppm kadar bulunan nikel mafik kayalarda 150 ppm'e kadar çıkmaktadır. Masif sülfür yataklarından damar ve sülfür merceklerinde bol bulunur.

Nikelin 49 serbest minerali olup en önemlisi pentlandittir $[(Fe,Ni)_9S_8]$. Nikel +2 ve +3 değerlikli olup doğal sularda genellikle Ni^{+2} olarak bulunur (Şahinci, 1986).

Sulardaki nikel; kayalardan, topraktan, nikel cevherlerinin işletilmesinden, fosil yakıtların kullanılmasından ve nikelin endüstriyel kullanımından kaynaklanır. Sularda koloidal veya çözünmüş halde bulunur. Nikel tuzları (sülfat, nitrat ve klorürleri) suda çözünürler (McNeeely ve diğer, 1979).

Toksik bir element olan nikel içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 20 $\mu g/L$ 'ye kadar kadar mücade edilebilir (TSE 266, 2005). Çalışma alanı yağışlı ve kurak dönem örneklerinin tümünde, içme ve kullanma suları için belirlenen maksimum limitlerin çok altında nikel konsantrasyonu (Tablo 3.25, Tablo 3.27) saptanmıştır.

BÖLÜM DÖRT

AKİFER KİRLENEBİLİRLİK YÖNTEMLERİ

4.1 Giriş

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 kalkabilmektedir (Şimşek ve diğer., 2006).

Günümüzde gelişen teknoloji, artan dünya nüfusu sınırlı kaynaklar olan içme, kullanma ve sulama sularını tehdit etmekte buna paralel olarak su kaynaklarının korunmasına ve kontrolüne yönelik akifer kirlenebilirliğini haritalayan yöntem ve teknikler çeşitlenerek artmaktadır. Akifer sistemin hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak bir çok parametreyi ele alan yöntem ve teknikler genellikle coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilerek noktasal arazi ölçümlerine dayanan verilerin alansal değerlendirilmesini de sağlamaktadır. Yenilenebilir kaynaklar olan yeraltı suyu kaynaklarının korunması, izlenmesi ve yönetimi yaşamsal önemdedir. Akifer kirlenebilirliğini ortaya koyan kirlenebilirlik haritaları CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında her parametreye ait veri tabanı üzerinde jeostatistik işlemler yapılabilmesi ve her mercideki karar verici için anlaşılması kolay pratik veriler olarak uygulamada yer bulmaktadır (Şimşek, 2007).

4.2 Kirlenebilirlik Yöntemleri

4.2.1 Özgül Duyarlılığın Belirlenmesi

Yeraltı sularının özgül (doğal) duyarlılığı, sistemin genel kirletici yükü ile karşılaştığı varsayımına dayanır. Yeraltı sularının kirlenmeye karşı duyarlılıkları farklı

karmaşıklıkta yöntemlerle belirlenmektedir. Bu konudaki en önemli parametreler, kirleticilerin özellikleri ile ilgili olarak akiferin, doygun olmayan zonun ve toprağın arındırma kapasitesidir (Demirkıran, 2002).

4.2.1.1 Tek Amaçlı Değerlendirmeler

Bir veya birbirine benzer özellikler gösteren bir grup kirleticinin değerlendirilmesine yönelik belirli amaçla yapılan duyarlılık haritalarıdır. Tek amaçlı değerlendirmeler noktasal kirleticili kaynağına bağlı yerel ölçekte yapılır. Böyle durumlarda kirleticili yeraltı suyu sistemine tek noktadan ve toprak tabakasının hemen altından giriş yapar (Demirkıran, 2002).

4.2.1.2 Çok Amaçlı Değerlendirmeler

Bu tür çalışmalar birden fazla kirleticinin değerlendirilmesini ve farklı ölçeklerde haritalanmasını kapsar. Bir maden sahasının, bir tarımsal alanın değerlendirilmesi çok amaçlı değerlendirme grubundadır. Tek amaçlı değerlendirmelerin çoğunda toprak örtü dikkate alınmamaktadır oysa çok amaçlı değerlendirmelerde beslenme, kirleticili hareketi ve yeraltı suyuna ulaşma zamanı gibi parametrelerin belirlenmesinde toprak örtü önemlidir (Demirkıran, 2002).

Farklı kirleticilere karşı yeraltı suyu sistemlerinin gösterdiği duyarlılık farklılıklarının saptanması ve tek harita olarak düzenlenmesi oldukça zordur. Bu amaçla çok sayıda harita yapılarak atlaslar halinde düzenlenmektedir.

4.3 Yeraltı suyu Duyarlılıklarının Belirlenmesinde Yöntem ve Teknikler

4.3.1 Hidrojeolojik Birim ve Yapı Yöntemleri (HCS)

Hidrolojik birim ve yapı yöntemleri; başka alanlar için haritalanmış, duyarlı olduğu belirlenmiş birim ve yapıların çalışma alanındaki birim ve yapılarla karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Genel olarak hidrojeolojik ve morfolojik çeşitlilik gösteren geniş havzalar için uygundur (Gogu, ve Dassargues 2000).

4.3.2 Parametrik Sistem Yöntemleri

Parametrik sistem yöntemleri duyarlılığa etken olan bazı fiziksel özelliklerin birleştirilerek bir arada değerlendirilmesi sürecine dayanır. Parametrik sistemin oluşturulması için yeraltı suyu duyarlılığını temsil edecek parametreler seçilir. Parametrelerin seçilmesi ve değerlendirilmesine göre yöntem üç alt grupta incelenebilir. Bunlardan ilki özenle seçilen sınırlı sayıdaki parametre ile matris oluşturulan “matris sistemi” (MS) dir. İkincisi duyarlılık değerlendirmede yeterli ve gerekli bulunmuş bir parametre için sınıf aralığı oluşturulması ve bu sınıf aralıklarına puan ataması yapılması esasına dayanan “puanlandırma yöntemi” (RS) dir. Çalışılan nokta veya alana ait değerler girdikleri sınıf aralığına göre puanlandırılır. Elde edilen puanların toplamalarının minimum ve maksimum değerleri göz önünde bulundurularak puanlar bölümlendirilir ve böylece göreceli bir duyarlılık derecesi ifade eden değer bulunur. Parametrik sistem yöntemlerinin üçüncüsü puanlama sisteminin geliştirilmiş şekli olan parametre ağırlıklandırma ve puanlama yöntemi olarak adlanabilen “nokta sayım modelleri” (PCSM) dir. Yöntem, seçilen parametrelerin birbirine göre önem derecesini belirten bir ağırlık katsayısı atanması nedeniyle puanlandırma yönteminden ayrılır. Dereceli olarak sınıflandırılan her bir parametre ağırlık katsayısı ile çarpılır. Her bir parametrenin oluşturduğu katmanlar çakıştırılarak toplanır elde edilen değer alanın göreceli duyarlılığını verir (Gogu ve Dassargues, 2000).

4.3.3 Analojik İlişkiler ve Sayısal Modeller

Analojik ilişkiler ve sayısal modeller yöntemi matematiksel ifadeler ile bir duyarlılık indisi bulunması temeline dayanır. Bu yöntemin ilkeleri ile geliştirilen modeller bir araya getirilmesi zor, özel ve çok sayıda veriyi gerektirir. Bu nedenle gelişmiş ve uzun dönemli duyarlılık çalışmaları için daha uygun görülmektedir (Gogu ve Dassargues, 2000).

4.4 Akifer Duyarlılık Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Önemli akifer kirlenbilirlik yöntemleri Tablo 4.1’de listelenmiştir. Güney İtalya’da ‘‘Piana Campana’’ bölgesinde İtalyan araştırma grubu tarafından DRASTIC (Aller ve diğer.,1987), SINTACS (Civita 1994) , GOD (Foster 1987) ve AVI (Van Stempvoort ve diğer., 1993) modellerini test eden bir çalışma yapılmıştır. SINTACS model diğerleri ile karşılaştırıldığında sözü edilen bölgede yüzey suları ve akifer arasında kirlenebilirliği çok yüksek zonlar türetmiştir. Bu sonuçların nedeni büyük olasılıkla akifer tanımlamaları, farklı ağırlık sınıf serileri kullanılmasındandır. Benzer sonuçlar Prahova-Teleajen’in alüvyon konisinde SINTACS modelle birlikte Romanyalı bir araştırma grubu tarafından geliştirilen matris sistemi uygulanarak elde edilmiştir (Gogu ve Dassargues, 2000).

DRASTIC modelin düşük kirlenebilirlik sınıfı SINTACS’dan daha geniştir. Bunun yanında SINTACS model arazi kullanım parametrelerine daha çok önem vermektedir. Orta derecede kirlenebilirlik değişimi gösteren alanlarda GOD model, değerleri homojen olarak yaymaktadır. Bu nedenle GOD model yüksek kirlenebilirlik değişimi veren alanlarda uygulanabilir. AVI metotla elde edilen kirlenebilirlik haritaları DRASTIC ve SINTACS modelle benzerlik göstermektedir. İstatistiksel karşılaştırmalar DRASTIC ile SINTACS model arasında büyük benzerlik olduğunu göstermektedir. AVI model ile DRASTIC ve SINTACS arasında da iyi bir korelasyon bulunmuştur (Gogu ve Dassargues, 2000).

Civita ve De Regibus (1995) yeraltı suyu kirlenebilirlik çalışmalarını karşılaştıran çalışmalar yapmışlardır. Güney İtalya’da düz, tepe ve dağlık üç özel alan hedeflenerek yapılan karşılaştırma çalışmasında DRASTIC, SINTACS, GOD ve Flemish metod (Goossens ve Van Damme, 1987) SINTACS, ISIS (Civita ve De Regibus 1995) metotlar kullanılmıştır. Değişik metodların aynı zona aynı verilerle uygulanması sonucunda basit metodlarla karmaşık metodların benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. GOD gibi basit metodların geniş alanlar için iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. Yargılamalara ve esnekliğe sahip DRASTIC ve SINTACS metodlarının ayrıntılı çalışmalar için uygun olduğu, Flemish metodlar gibi metodların dizayn edildikleri koşullar dışında koşullara uyarlanamadıkları belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Önemli yeraltı suyu kirlilik yöntemleri ve temel parametreleri (HCS(Hidrojeolojik birim ve yapı yöntemleri); MS(Matrissistem yöntemleri); RS(Derecelendirme sistem yöntemleri); PCSM (Nokta sayım sistemi modelleri)) (Gogu ve Dassargues, 2000)

METOD ve REFERANS	T i P	TEMEL PARAMETRELER																
		TOPRAK ZEMİN ÖZELLİKLERİ				Yüzey su ağı yoğunluğu	Kalınlık, yapı ve mineraloji	Etkin nem	Geçirgenlik	Fiziksel, kimyasal özellikler	Akifer, yüzeyssel su özellikleri	Beslenme ağı	Doymamış zon litolojik özellikleri	Yeraltı suyu derinliği	Hidrojeolojik özellikler	Hidrolik iletkenlik	Akifer kalınlığı	Arazi kullanımı
		Topografik yüzey, eğim değişimi																
Albinet ve Margat 1970	HCS									*			*	*	*	*		
Goossens ve Van Damme 1987	MS			*					*					*	*			
Carter ve Palmer 1987	MS			*		*			*					*	*			
GOD, Foster 1987	RS												*	*	*			
DRASTIC, Aller ve diğer. 1987	PCSM	*		*								*	*	*	*	*		
SINTACS, Civita 1994	PCSM	*	*	*						*		*	*	*	*	*	*	
AVI-Van Stempvoort ve diğer. 1993	RS			*				*					*	*				
ISIS, Civita ve De Regibus 1995	RS	*		*						*		*	*	*	*	*	*	
EPIC, Doerfliger ve Zwahlen 1997	PCSM	*		*						*		*	*	*	*			*

Her bir parametrenin akifer kirlenebilirliğine etkisini yorumlamak için ‘‘Piana Campana’’ bölgesinde duyarlılık analizleri Napolitana ve Fabbri (1996) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma sonucu DRASTIC parametrelerinin her birinin akifer kirlenebilirliği için önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tahtalı Baraj Havzası için DRASTIC yöntem; yargılama yapmaya uygun olması, ayrıntılı çalışmalar yapmaya izin vermesi ayrıca DRASTIC yöntem parametrelerine ilişkin verilerin, çalışılan havza için sağlanabilmesi nedenleri ile uygun görülmüştür. DRASTIC yöntem Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak AHS-DRASTIC olarak ele alınmış ve çalışma alanına uygulanmıştır. Tahtalı Baraj Havzası için DRASTIC yöntem; yargılama yapmaya uygun olması, ayrıntılı çalışmalar yapmaya izin vermesi ayrıca DRASTIC yöntem parametrelerine ilişkin verilerin, çalışılan havza için sağlanabilmesi nedenleri ile uygun görülmüştür. DRASTIC yöntem Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak AHS-DRASTIC olarak ele alınmış ve çalışma alanına uygulanmıştır.

BÖLÜM BEŞ
TAHTALI BARAJ HAVZASI (İZMİR) YERALTI SULARININ
KİRLENEBİLİRLİĞİNİN AHS- DRASTIC YÖNTEMİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş.

Su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi; insan aktiviteleri ve iklimsel değişiklikler, artan su gereksinimi gibi nedenlerle her geçen gün artan önem göstermektedir. Akifer havzalarında, bilinçsiz tarımsal faaliyetler, aşırı yeraltı suyu çekimi, evsel ve sanayi atıklarının depolanmasından kaynaklanan kirleticiler başlıca tehdit unsurlarını oluşturur. Bu nedenle sorunun çözümü, başta kirliliğin önlenmesinde görülmektedir. Bunların başında, yeraltı suyu bulunduran akiferlerin yüzeysel beslenme alanlarının belirlenmesi ve bu alanların kirleticilerden korunması gelmektedir. Aksi takdirde yeraltı sularının beslenme alanlarından kirleticiler hızla yeraltı suyuna ulaşmakta ve önemli oranda yeraltı suyu kirliliğine yol açmaktadır. Akifer kirlenebilirliği üzerine son yıllarda önemli çalışmalar yapılmakta ve bu kapsamda yapılan kirlenebilirlik haritaları arazi kullanımı ve diğer insan kaynaklı faaliyetlerden türeyen kirleticilerin depolanmasına yönelik yer seçimi çalışmalarında bir öngörü olarak kullanılabilir (Kim ve Hamm, 1999, Dai, Lee ve Zhang, 2001, Al-Zabet, 2002, Lee, 2003, Insaf , Mohamed, Tetsuya, ve Kikuo, 2005, Şimşek ve diğer., 2006, Sarptaş ve Alpaslan, 2007, Leone ve diğer., 2007).

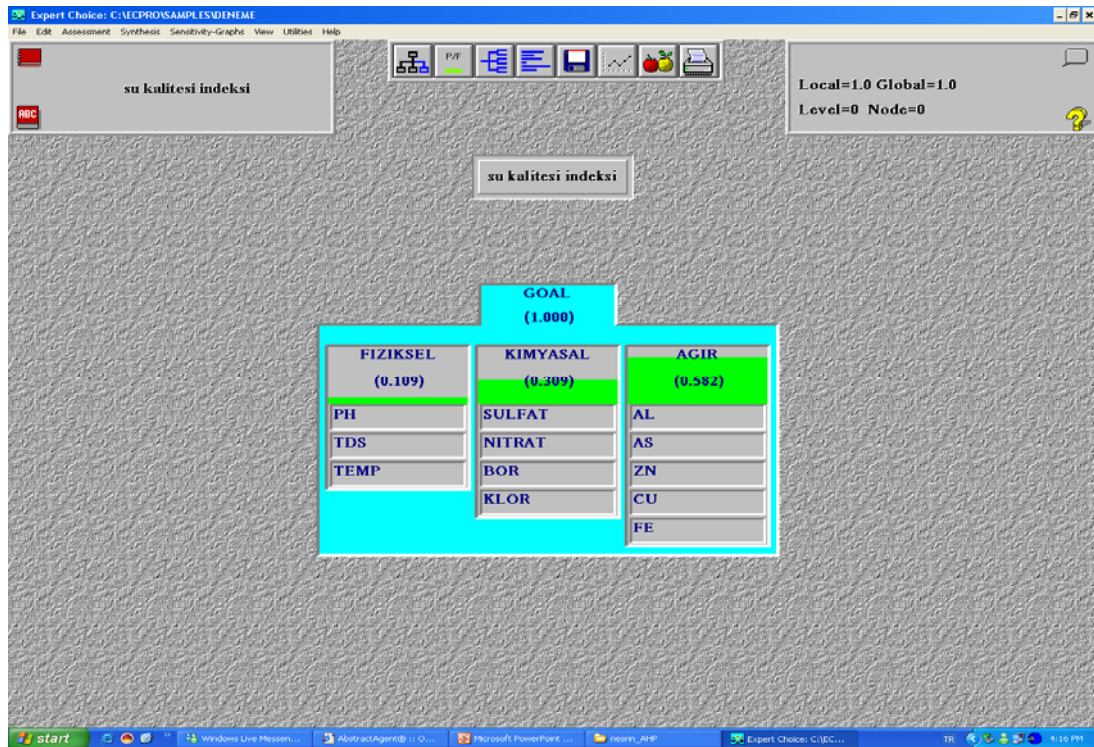
Sürekli artan nüfusu, gelişmeye devam eden endüstriyel ve tarımsal etkinlikleri ile İzmir, su gereksinimi giderek artan bir ildir. Bu nedenle var olan kaynakların korunması yanında, yeni su kaynaklarının bulunması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, İzmir'e farklı kaynaklardan içme ve kullanma suyu temin edilmektedir. Bunların başında, barajlar gelmektedir. En önemli su havzalarından biri olan Tahtalı Baraj Havzası, 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 belirlenmesinin; sanayi, yerleşim ve arazi kullanım alanlarının planlamasının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Havzada önemli koruma önlemleri alınmasına karşın yerleşim ve tarımsal alanların varlığı nedeniyle bu alanların olası etkilerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, İzmir'in önemli havzalarından biri olan ve farklı litolojiye sahip Tahtalı Baraj Havzasının yeraltı suyu kirlenebilirliğinin DRASTIC yöntem ile belirlenmesi, yeraltı suyu nitrat konsantrasyonu dağılım haritası ve arazi kullanım haritası ile karşılaştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Ayrıca DRASTIC yöntemde ele alınan hidrojeolojik parametrelerin ağırlık ve oran katsayıları, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak yeniden belirlenmiş ve çalışmada bu değerler kullanılmıştır.

5.2 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 işlemler olması nedeniyle, karar verme sürecinin etkin kullanımı önem taşımaktadır. Bu konuda en yaygın olarak kullanılan karar verme mekanizması, Saaty (1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemidir. AHS karar verme sürecinde nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren anlaşılması kolay bir yöntem olması nedeniyle yapılaşmamış sorunlar için uygulanan modern bir karar destek yöntemi olarak kabul görmüştür. Tanıtımının üzerinden az bir zaman geçmesine karşın pek çok uygulama alanı bulmuştur. Saaty (1980), Wind ve Saaty (1980), Hastings (1996)'nın finans, pazarlama, kamu politikaları, ekonomi, tıp, eğitim, spor alanlarında AHS uygulamaları bulunmaktadır. Çoğu çalışmada tamsayı programlama, hedef programlama, dinamik programlama gibi yöneylem araştırması teknikleri ile birlikte kullanılmaktadır. Bu yöntem, ele alınan parametrelerin birbirleri ile karşılaştırmalı yargılar matrisinin kurulmasına dayanır. Sözü edilen matrisin kurulması sonucu, karmaşık problemlere ait ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişki ortaya konmaktadır.

AHS'nin en önemli özelliği, karar vericinin hem objektif hem de subjektif görüşlerini karar sürecine ekleyebilmesidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHS'nin teorik alt yapısı üç aksiyona dayanır. Birincisi, iki taraflı olma/tersi olma aksiyomudur. Örneğin “a” elemanı “b” elemanının 3 katı büyüklüğünde ise “b”, “a”nın 3’de 1’i büyüklüğündedir. İkincisi bağımsız olma aksiyomudur. Hiyerarşide belirli kademeye ait elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka kademedeki elemanlardan bağımsız olmasını ifade eder. Üçüncüsü ise homojenlik aksiyomudur. Karşılaştırılan elemanların birbirinden çok farklı olmaması gerektiğini aksi halde yargılarda hataların olabileceği anlamını taşır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).



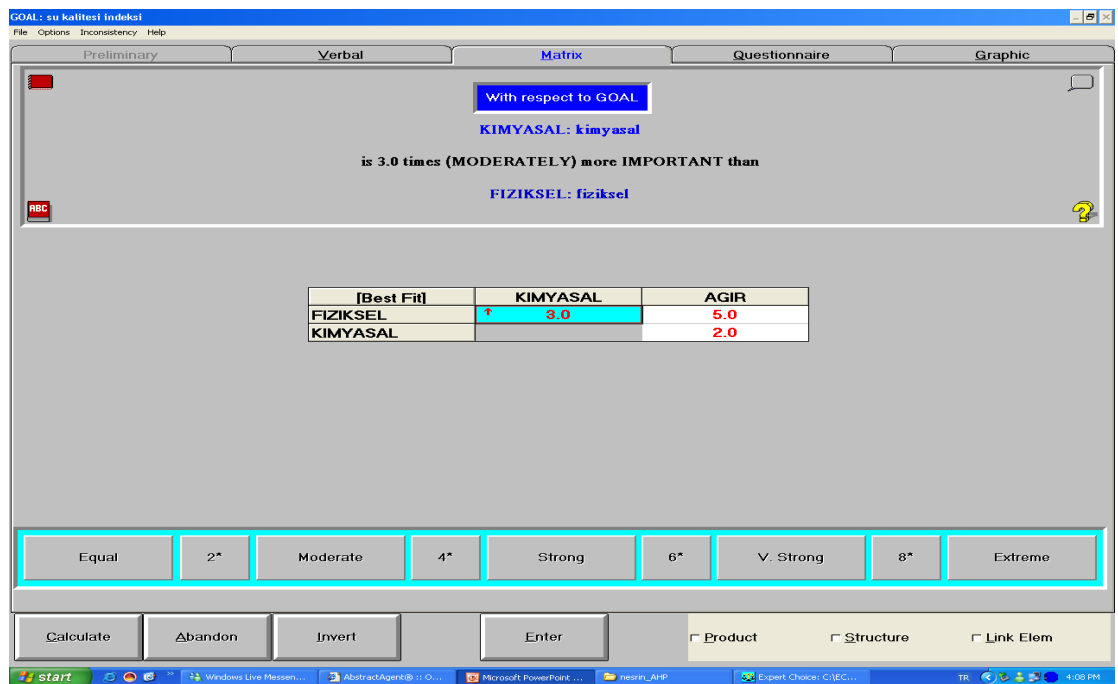
Şekil 5.1 Analitik hiyerarşinin kurulması (Expert Choise Tutorials, 2000)

AHS'nin ilk adımı, bir karar problemini kavranması ve değerlendirilmesi kolay, hiyerarşik bir düzen içinde alt problemlere ayıran karar hiyerarşisinin kurulmasına dayanır (Şekil 5.1). Karar hiyerarşisinin en üstünde ana hedef yer almaktadır. Bir alt kademede kararı etkileyecek kriterler bulunur. Bu kriterlerin ana hedefi etkileyecek özellikleri varsa hiyerarşiye başka alt kademeler eklenir. Hiyerarşinin en altında karar alternatifleri yer almaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

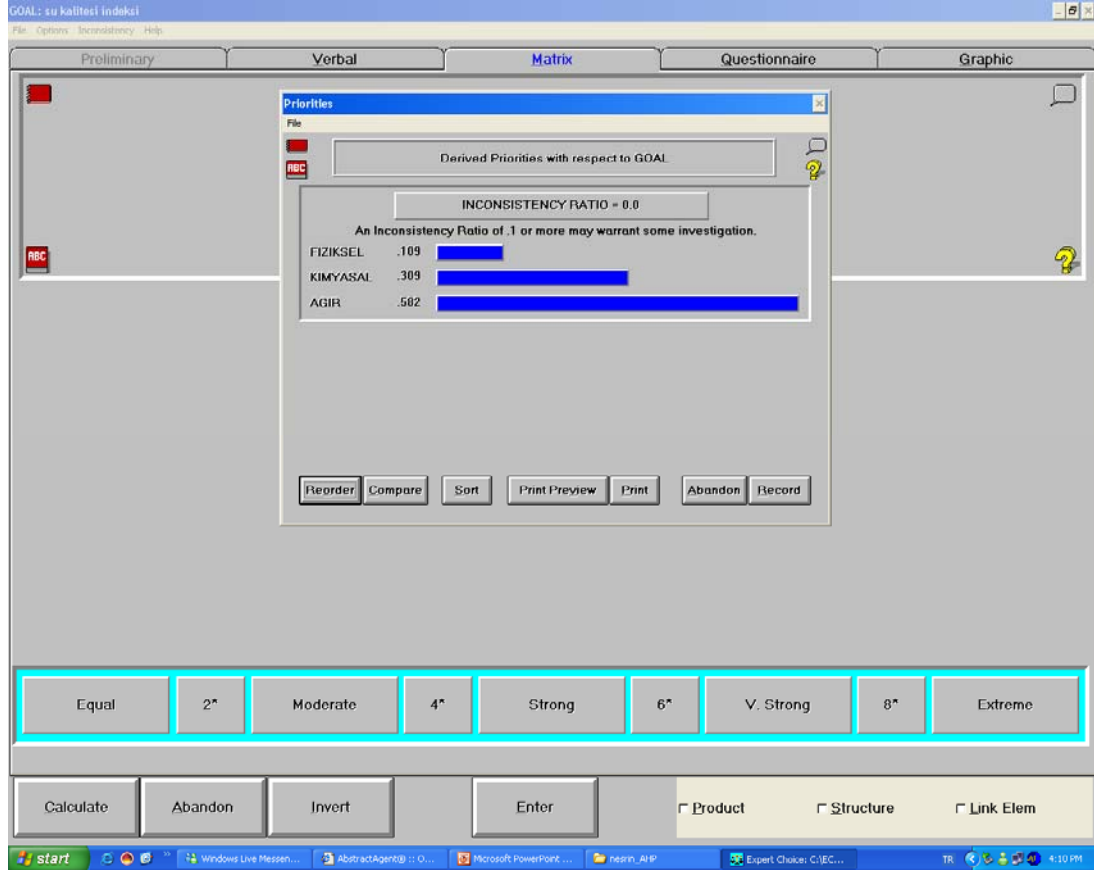
Karşılaştırmalı yargılar veya ikili karşılaştırmalar AHS'nin ikinci temel adımındır. İkili karşılaştırma iki kriterin birbirleri ile karşılaştırılması anlamına gelmekte olup karar vericinin bilgi, deneyim, düşünce ve önsezilerine dayalı yargısını ifade etmektedir. İkili karşılaştırmalar ile hiyerarşideki elemanların bir üst kademedeki elemana göre bağıl öneminin belirlenmesi sağlanır (Wind ve Saaty, 1980). İkili karşılaştırma yargıları oluşturulurken “a” kriterinin “b” kriterinden ne kadar önemli olduğu karar vericinin yargısı ile oluşturulmaktadır (Şekil 5.2). Bu amaçla Tablo 5.1’de verilen ve 1-9 puan aralığını içeren ölçekten faydalanılır. Hiyerarşinin belirlenen düzeyi n sayıda eleman içeriyorsa toplam $n(n-1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapılmalıdır. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir.

Tablo 5.1 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



Şekil 5.2 Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (Expert Choise Tutorials, 2000)

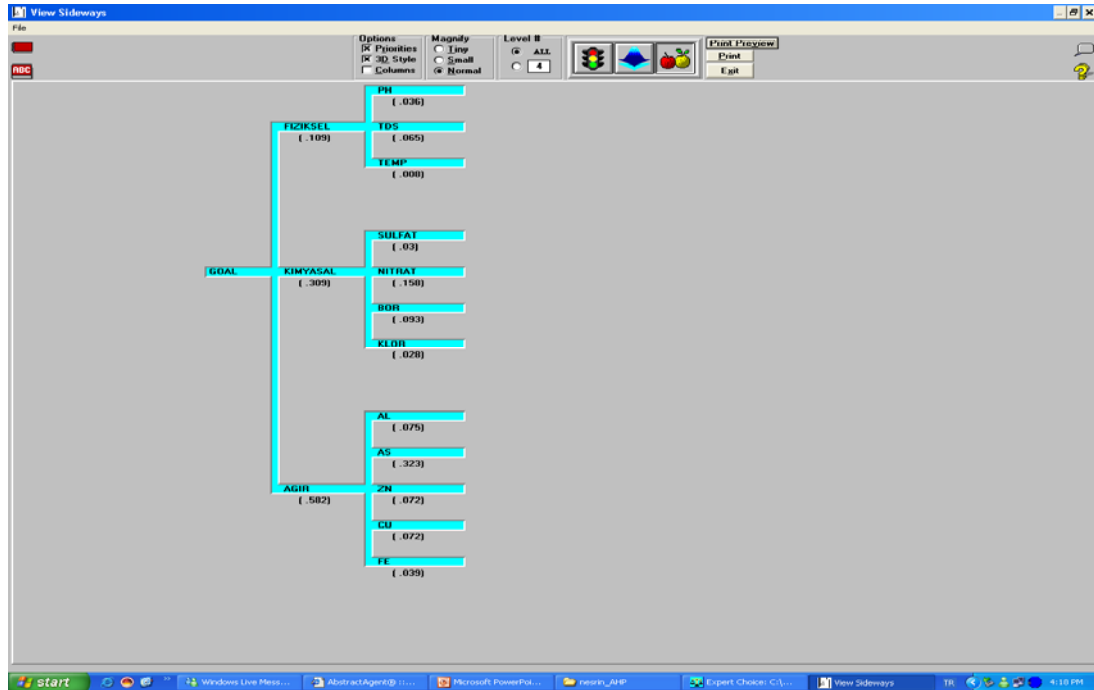


Şekil 5.3 Karşılaştırmalı yargılar sonucu öncelik vektörünün bulunması (Expert Choise Tutorials, 2000)

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin hesaplanmasına geçilmektedir. AHS'nin üçüncü aşaması olan bu kademe "Sentezleme" olarak adlanır. 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 bölünmekte, elde edilen değerlerin satır toplamı alınmakta ve bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünmektedir (Saaty, 1980). Bu sayede her kriter için bir öncelik vektörü bulunmaktadır (Şekil 5.3).

Nihai kararın kalitesi açısından önemli olan, ikili karşılaştırma süreci sırasında karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarlılığıdır. AHS yöntemi mükemmel bir tutarlılık ön görmemektedir. Bu anlamda, tutarsızlığa da izin vermekte ancak her yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty'nin önerdiği bir tutarsızlık

oranı kullanılmaktadır (Saaty, 1980). Saaty bu oran için en üst limit olarak 0,10'u önermektedir (Saaty, 1980). Tutarlılık oranı 0,10'un altında ise yargıların yeterli bir tutarlılık gösterdiği ve değerlendirmenin sürdürülebileceği sonucu çıkartılmaktadır (Şekil 5.4). Buna karşılık, sözü edilen oranın 0,10'un üstünde olması durumunda ise yargıların tutarsız olduğu kabul edilip yargı kalitesinin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu işlemde başarısız olunursa problemin daha doğru şekilde yeniden kurulması yoluna gidilir.



Şekil 5.4 Analitik hiyerarşiye ait oran ve ağırlık katsayılarının oluşturulması (Expert Choice Tutorials, 2000)

Tüm bu aşamaların bilgisayar ortamında kolaylıkla yapılabilmesi için çeşitli paket programlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Expert Choice (EC) yazılım paketi, kullanıcının AHS tekniğini rahatça uygulayabileceği, karar problemini kolayca hiyerarşik yapıya dönüştürülebileceği, ikili karşılaştırmaları yapabileceği ve otomatik olarak göreceli öncelikleri hesaplayabileceği bir platformdur (Expert Choice Tutorials, 2000). Program ikili karşılaştırma yaparken sayısal, sözel, grafiksel karşılaştırma seçeneklerini karar vericiye sunmaktadır. Bu çalışmadaki AHS değerlendirmelerinde, son yıllarda yaygın olarak kullanılan Expert Choice programı kullanılmıştır.

5.3 AHS-DRASTIC Model ve Parametreleri

DRASTIC büyük alanların kirlenebilirlik potansiyelini bölgeye ait hidrojeolojik faktörlerin kullanılarak yorumlanması amacıyla Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) adına Aller ve diğer. (1987) tarafından geliştirilmiş yeraltı suyu kalite indeksidir. Parametrik sistem yöntemlerinden biri olan DRASTIC, parametrik sistem yöntemlerinden PSCM (nokta sayım modelleri) yaklaşımları içinde değerlendirilmektedir. Herhangi bir faaliyet esnasında akiferin potansiyel olarak kirlenmeye karşı bağlı duyarlılığını ortaya koyan bir yöntemdir. Model orijinal olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için düzenlenmemiştir ancak CBS uygulamalarının yöntemi besleyici etkisi nedeniyle CBS ile birlikte kullanılmaktadır. CBS programlarında yer alan spatial analiz araçları kullanılarak DRASTIC parametrelerine ait yedi bileşen için veri katmanları elde edilebilmektedir. Böylece çalışılan alan için kirlenebilirlik kategorileri oluşturularak yorum yapmak kolaylaşmaktadır. 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 yeraltısuyuna yağmur aracılığı ile ulaşır, iii) Kirletici suyun hareketi ile ilerler, iv) Çalışma alanı 0.4 km²'den büyüktür (Aller ve diğer., 1987).

DRASTIC kısaltması, haritalanabilir yedi hidrojeolojik parametrenin kısaltılmış şeklidir (Şekil 5.5). Bu parametreleri sırasıyla; yeraltı suyu uzaklık (Depth of groundwater-D), beslenme (Recharge-R), akifer ortam (Aquifer media-A), toprak bünyesi (Soil media-S), eğim (Topography-T), vadoz zon (Impact of vadose zone-I), ve akiferin hidrolik iletkenliği (hydraulic Conductivity-C) parametreleri oluşturur (Tablo 5.2). DRASTIC metot, yeraltı suyu olası kirlenme zonlarının belirlenmesinde kullanılır; kirlilik veya alan kullanım aktiviteleri durumunu yansıtmaz (Aller ve diğer., 1987, USGS, 1999).

DRASTIC yöntemde ele alınan hidrojeolojik parametreler ağırlık, puanlandırma ve sıralama değerlerine göre aşağıdaki 1 bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Aller ve diğer., 1987, Thirumalaivasan ve diğer., 2003). DRASTIC üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar ağırlık, puanlandırma ve sıralamadır (Aller ve diğer., 1987).

Her bir parametrenin göreceli ağırlığı vardır. Ağırlık değerleri 1-5 arasında değişir. 5 değeri en önemli 1 ise en önemsiz parametre olduğunu ifade etmektedir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 DRASTIC Yöntem parametrelerinin ağırlıkları (Aller ve diğer., 1987)

Simge	Parametre	Ağırlık
D	Yeraltı Suyuna Uzaklık	5
R	Beslenim	4
A	Akifer Ortam	3
S	Toprak Bünyesi	2
T	Eğim	1
I	Vadoz Zon	5
C	Akiferin Hidrolik İletkenliği	3

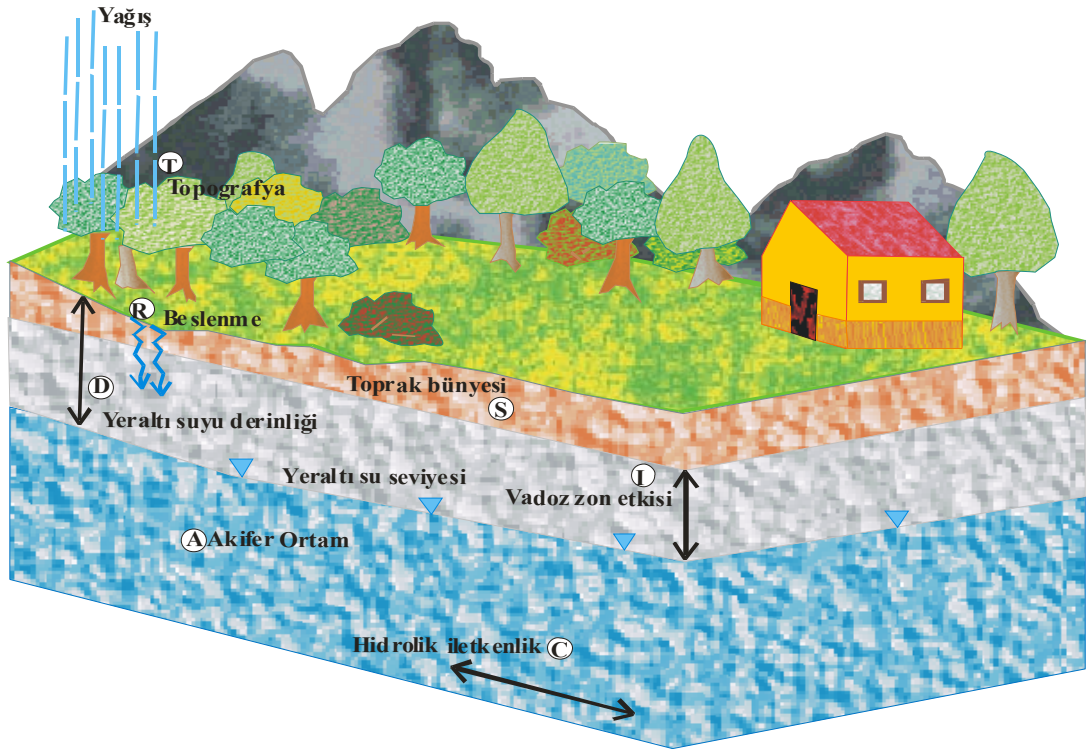
DRASTIC sistem iki bölüme ayrılır: hidrojeolojik yerleşim terimleri, DRASTIC oran diye anılan hidrojeolojik parametrelerin bağıl derecelenmesi ile ilgili şema. DRASTIC oranda, kirliliğe etkiyen her bir faktör derecelere göre sınıflandırılır. Her etken yada parametre 1 ile 10 arasında subjektif oranı gösterir. Bu oranlar 1-5 arasında değişen ağırlıklı oranlara göre ölçeklendirilerek DRASTIC İndeks bulunur.

$$\text{DRASTIC İndeks} = D_{ri}D_{wi} + R_{ri}R_{wi} + A_{ri}A_{wi} + S_{ri}S_{wi} + T_{ri}T_{wi} + I_{ri}I_{wi} + C_{ri}C_{wi} \dots\dots\dots (1)$$

Burada; ri: her parametrenin oran katsayısını, wi ise ağırlık katsayısını ifade etmektedir. DRASTIC modelde her parametre için 1'den 10'a kadar sayılar atanmış olup, en önemli parametre 10 ile ifade edilmektedir. DRASTIC yöntemin iki versiyonu bulunmaktadır. İnorganik kirleticilere uygulanan normal DRASTIC ve pestisitlere uygulanan Pestisit- DRASTIC. DRASTIC yöntem çoğunlukla modifiye edilerek çalışılmıştır. Çalışmamızda da bazı örneklerde (Thirumalaivasan ve diğer, 2003, Al-Zabet, 2002) olduğu gibi AHS ile birleştirilerek modifiye edilmiştir.

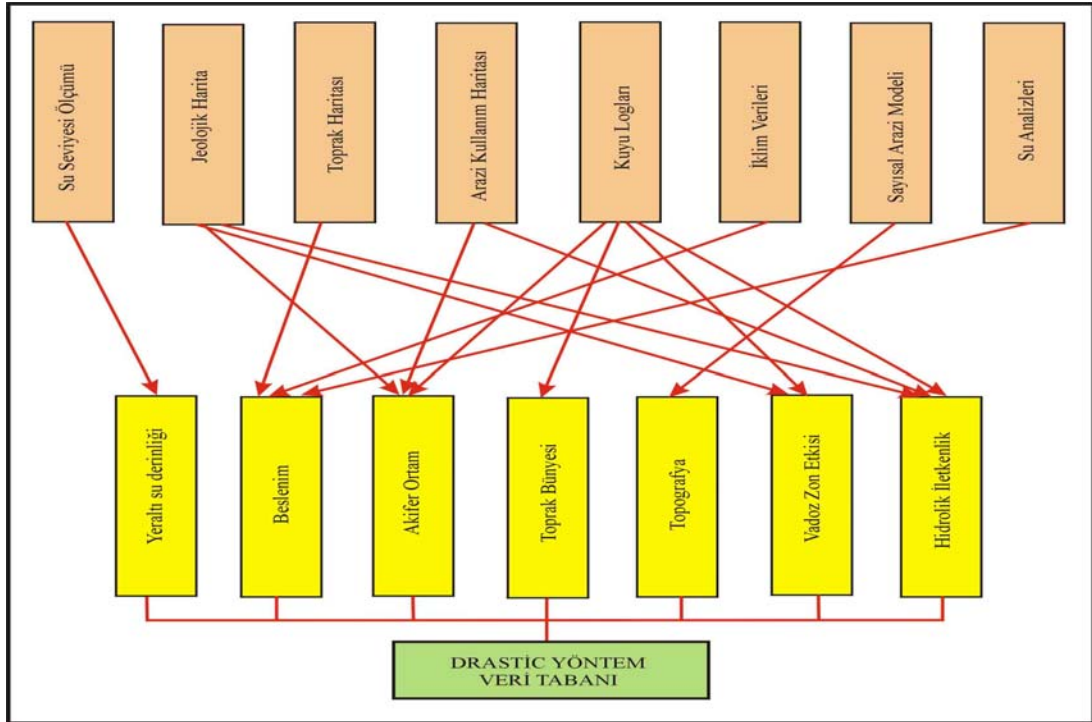
Bu çalışmada DRASTIC ağırlık ve oran sayıları AHS'ye göre hesaplanmış ve her parametre için ağırlık ve oran değerleri tablolar halinde verilmiştir. DRASTIC parametreleri (Tablo 5.2) AHS ile yeniden ağırlıklandırılmıştır (Tablo 5.4). AHS-

DRASTIC entegrasyonunu sağlamak için ikili karşılaştırmalar yapılarak yeni oranlar bulunmuştur. AHS bilimsel bir yargılama yapmayı mümkün hale getirmiştir. Elde edilen yeni oran ve ağırlık katsayılarına göre AHS-DRASTIC indeks değerleri bulunmuş ve kirlenebilirlik sınıfları yukarıdaki 1 bağıntısı kullanılarak oluşturulmuştur.

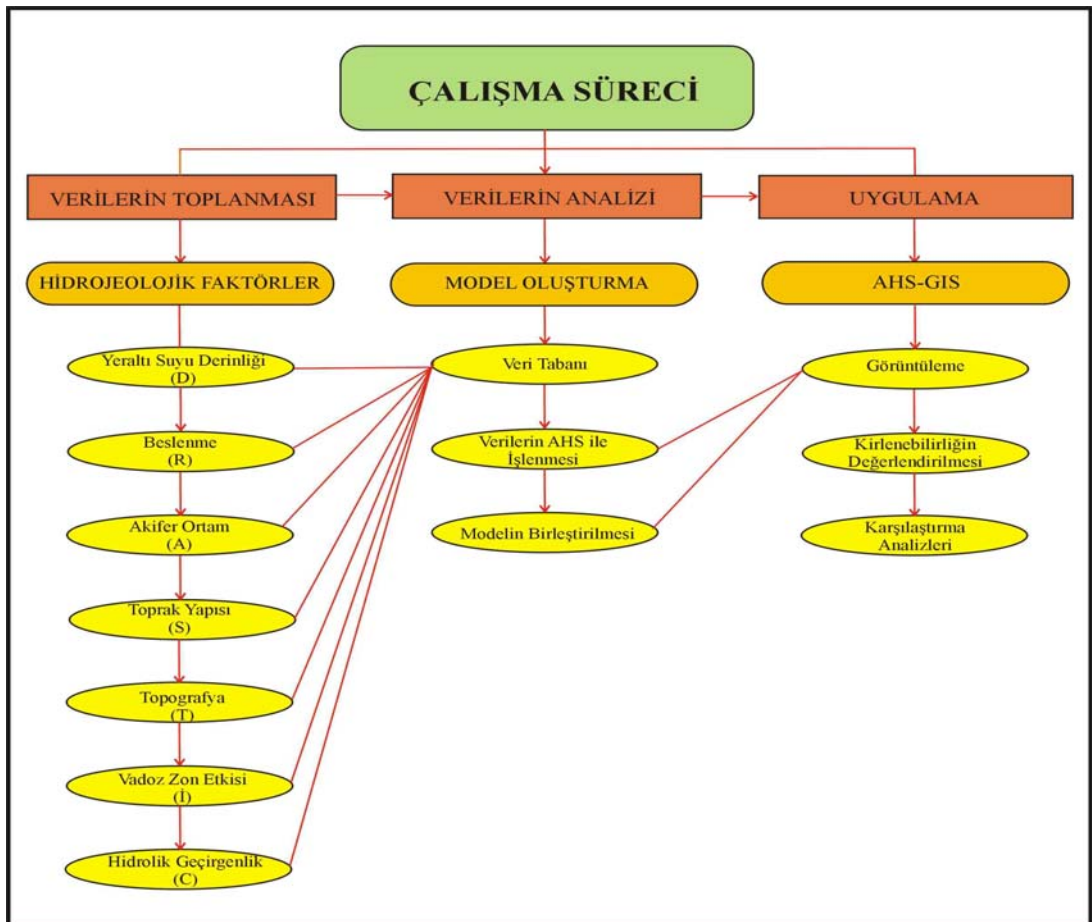


Şekil 5.5 DRASTIC yönteme ait parametreler (Talwar ve Journeay, 2005’den değiştirilerek)

GIS tabanlı AHS-DRASTIC model; verilerin toplanması (Şekil 5.6), verilerin analizi ve uygulama aşamalarını içeren üç evreli çalışma ile elde edilmiştir (Şekil 5.7). Her evre; birbirinden bağımsız düşey süreç akışı yanında yatay olarak da eş zamanlı ilerleyerek, DRASTIC ve AHS-GIS uygulamalarının geri dönüşümlü ve güvenli yorumlanmasına fırsat verecek şekilde yürütülmüştür. Her bir kuyuya ait noktasal veriler GIS Spatial Analyst sekmesi içerisinde yer alan Inverse Distance Weighting (IDW) fonksiyonu kullanılarak alansal verilere ulaşılmıştır. Son olarak AHS-GIS tabanlı bütünleşik harita görüntüsüne ulaşılarak geçerliği yorumlanmıştır. Kullanılan verilerin kaynağı ve özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.6 DRASTIC Modele ait veritabanı oluşturmada kullanılan veriler



Şekil 5.7 AHS-DRASTIC Modele çalışma akış diyagramı

Tablo 5.3 DRASTIC parametrelerine ait veri kaynakları ve özellikleri

DRASTIC Parametreleri	Veri Tipi	Format	Ölçek	Kaynak
Yeraltısuyuna Uzaklık	Kuyu yeri/ derinliği	GIS nokta veri	1:25000	Kuyu ölçümleri
Beslenim	Yağış-buharlaşma Cl miktarı	Tablo GIS nokta veri	mm/yıl mg/l	DMİ, DEÜ ÇM Su analizleri Adalı,2007
Akifer Ortam	Jeoloji	GIS vektör	1:25000 1:500000	MTA
Toprak Bünyesi	Toprak haritası, Toprak özellikleri	GIS vektör Tablo	1:500000	KHBM
Topografya	Eğim	GIS DEM	1:25000 /20m	SRTM
Vadoz Zon	Jeoloji Kuyu logları	GIS vektör GIS noktasal	1:25000 1:500000	MTA DSİ
Akiferin hidrolik iletkenliği	Kuyu logları, Hidrojeolojik rapor	GIS Nokta veri Metin	Bölgesel	DSİ
DSİ: Devlet Su İşleri İzmir Bölge Müdürlüğü MTA: Maden Tetkik Arama Bölge Müdürlüğü DMİ: Devlet Meteoroloji İstasyonu Güzelyalı Bölge Müdürlüğü KHBM: Köy Hizmetleri I Bölge Müdürlüğü DEÜ ÇM: Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Su laboratuvarı Analizleri SRTM: Shuttle Radar Topography Mission				

5.3.1 Yeraltı Suyu Derinliği (D)

Yüzeyden yeraltı su tablasına kadar olan uzaklığı ifade etmektedir. Yüze yakın yeraltı suyu, kirleticilerin akifere daha kısa sürede ulaşması nedeni ile daha büyük kirlilik riski taşımaktadır. Bu açıdan yeraltı suyu derinliği akifer kirlenebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanında yeraltı suyu derinliği ölçümü için 35 adet kuyu belirlenmiş ve yeraltı suyunun yüksek olduğu Nisan ayında ve düşük olduğu Ekim ayında iki yeraltı suyu seviye ölçümü alınmıştır (Ek 3). Yapılan ölçümlerde su tablası derinliği yağışlı mevsimde 0 - 55.05 m arasında değişen bir dağılım göstermektedir. Çalışma alanına ait veriler göz önünde bulundurularak DRASTIC Yönteme ait sınır değerler 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 ve >25 m olarak alınmış ve AHS ile yeraltı suyu derinliklerine bağlı olarak yeni göreceli öncelik değerleri oluşturulmuştur (Tablo 5.5). Derinlik parametresine ait

oran ve ağırlık değerleri Tablo 5.14’de verilmektedir. Yeraltı suyu derinlik tematik katmanı ise Şekil 5.8’de yer almaktadır.

Tablo 5.4 DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik yöntem parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi

Parametreler	D	R	A	S	T	I	C	Ağırlıklı 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
Tutarsızlık Oranı=0,01								

Tablo 5.5 Derinlik (D) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

D (m)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25	Görelî öncelik
0-5	1	2	4	6	7	9	0,443
5-10		1	2	3	4	7	0,240
10-15			1	2	3	5	0,144
15-20				1	2	3	0,086
20-25					1	2	0,055
>25						1	0,033
Tutarsızlık Oranı= 0,01							

Yeraltı suyu tematik katmanına (Şekil 5.8) göre havzanın büyük bölümünde yeraltı suyu derinliği 0-10 m arasındadır. Demirci, Şaşal kuzeyi, Adnan Menderes Havaalanı civarında 25 m’den fazla derinlikler görülmektedir. Havzanın yeraltı suyu derinliğinin düşük olması kirleticilerin ulaşmasının kolay olması açısından olumsuz bir durum yansıtmaktadır.

4.3.2 Beslenme (R)

Yağmur suları akiferlerin beslenme alanlarına düştüğü zaman; düşen yağmur sularının bir kısmı, yüzeysel akışla derelere taşınır ve dere aracılığıyla alandan uzaklaşır. Önemli bir kısmı ise buharlaşır. Geri kalan su ise zemine sızarak, zemin boşluklarında tutulur. Sızma, akifer içerisinde gözenekli ortamdaki doymuş bölge

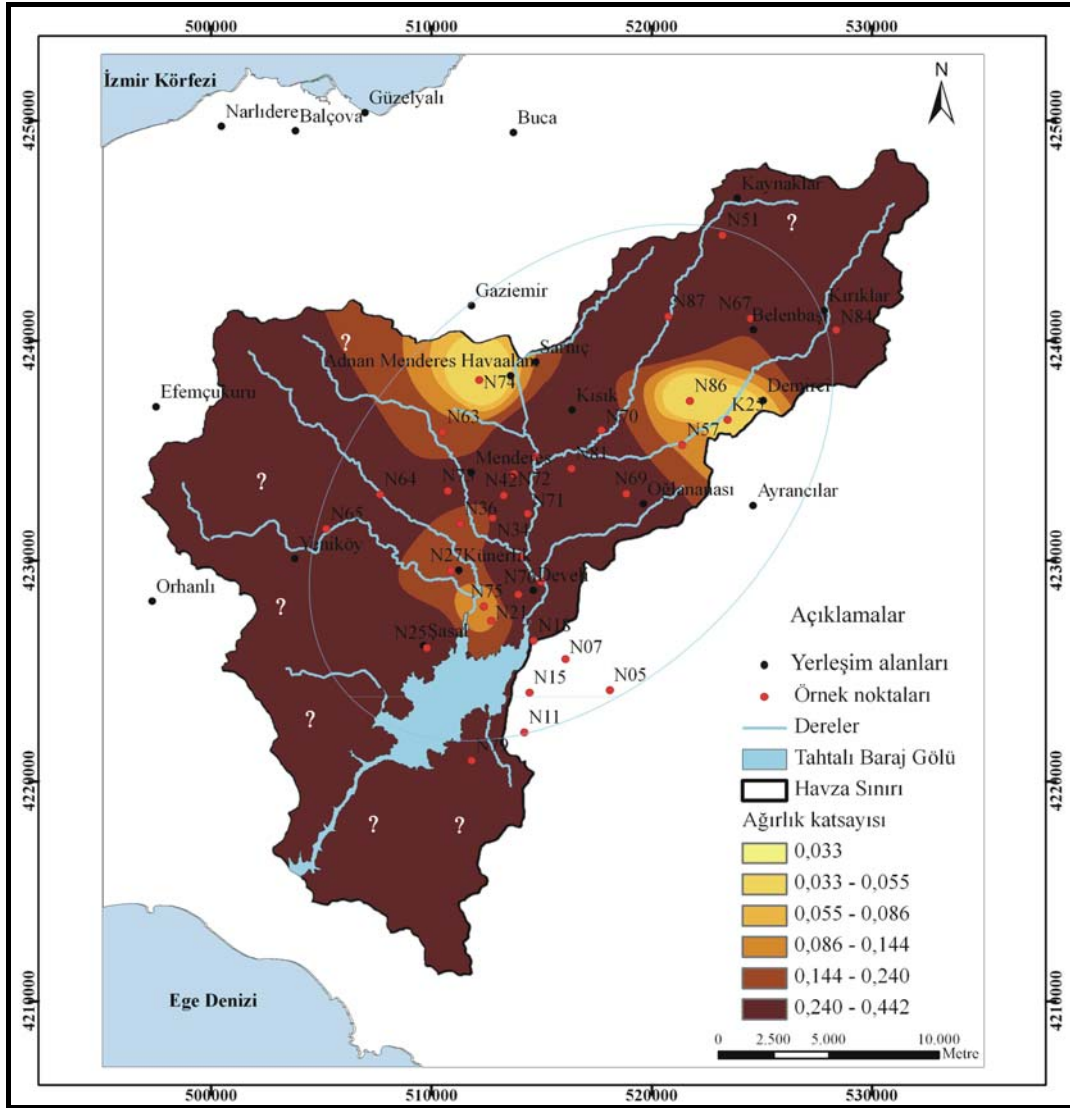
olan yeraltı suyu seviyesine kadar devam eder. Bu süreç akiferin beslenmesi olayı olarak tanımlanır. Yeraltı sularının yağıştan beslenmesini bulmak için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Klorür (Cl) ve diğer çevresel izleyicilere dayanan izleyici teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Allison and Hughes, 1978, Johnston, 1983, Johnston, 1987, Stone, 1992). Klorür metodu genellikle doymun olmayan toprak zonda uygulanır (Zagana ve diğer., 2007).

Nemli iklimlerde beslenme, buharlaşma- terleme yağıştan az olduğu için su denge çalışmaları ile beslenme geçerli bir yaklaşımla bulunabilir. Yarı kurak ve kurak iklimlerde yeraltı suyu beslenmesi yağışın %1'inden de az olabileceği için denge metotları ile güvenilir beslenme tahminleri yapmak olanaksızdır (Bouwer, 1998). Araştırmacılar çalışmalarında beslenme dağılımını saptamanın zorluğu ve önemini belirtmektedirler (Harrington ve diğer., 2002). Beslenme, konumsal ve zamana bağlı değişimi; akifer kirlenebilirliği ile ilgili olarak, kirleticilerin taşınımının kritik parametrelerindendir (Scanlon ve diğer., 2002). Beslenmenin yüzeysel su dengesi ile hesaplanması ile klorür kütle dengesi ile hesaplanması arasında korelasyon bulunuyorsa toprak profildeki veya sığ kuyulardaki klorür konsantrasyonu ile elde edilen yerel beslenme oranları uzaktan algılama yöntemleri ile bölgesel beslenme haritalarına dönüştürülerek kullanılabilir (Brunner ve diğer., 2004).

Sabit koşullarda Klorür metodu ile beslenme oranı (Gieske, 1992) aşağıda belirtilen (2) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$R = P c_p + D / c_{gw} \dots \dots \dots (2)$$

Eşitlikte, R: ortalama yıllık beslenme oranı (m/ yıl), P: ortalama yıllık yağış (m/ yıl), D: kuru dönem klorür birikimini (g/ m²/ yıl), c_p: yağıştaki klorür konsantrasyonunu (g/ m³), c_{gw}: yeraltı suyunda klorür konsantrasyonunu (g/ m³) ifade etmektedir. Çalışma alanında kuru dönem klorür birikimi sıfır olarak ele alınmıştır. Pek çok araştırmacı yeraltı suyu beslenmesini tahmin etmek için klorür metodunu kullanmıştır (Brunner ve diğer., 2004).



Şekil 5.8 Tahtalı Baraj Havzası yeraltı suyu derinliği tematik katmanı (?, elips dışında kalan bölge, veri eksikliği nedeni ile güvenilirliği düşük bölgeleri gösterir.)

Yeraltı sularında klorür içeriği; ıslak ve kuru dönemde yeraltı suyunun yanal hareketine, minerallerden klorür çözünmesine ve arazi kullanımına bağlıdır. Atmosferden klorür birikimi ise; klorür iyonunun yeraltı sularına geçişinde tutucu olduğu kabul edilen bitkiler tarafından önemli miktarlarda alınmadığı ve toprak altındaki tuzlardan çözünmediği kabulüne dayanır. Aynı zamanda belirtilen limitler altında yüzey ile sıkı yeraltı sularına da uygulanabilir. Klorür kütle dengesi ile hesaplanan beslenme uzun dönem ortalamasını temsil etmektedir (Scanlon, 2000).

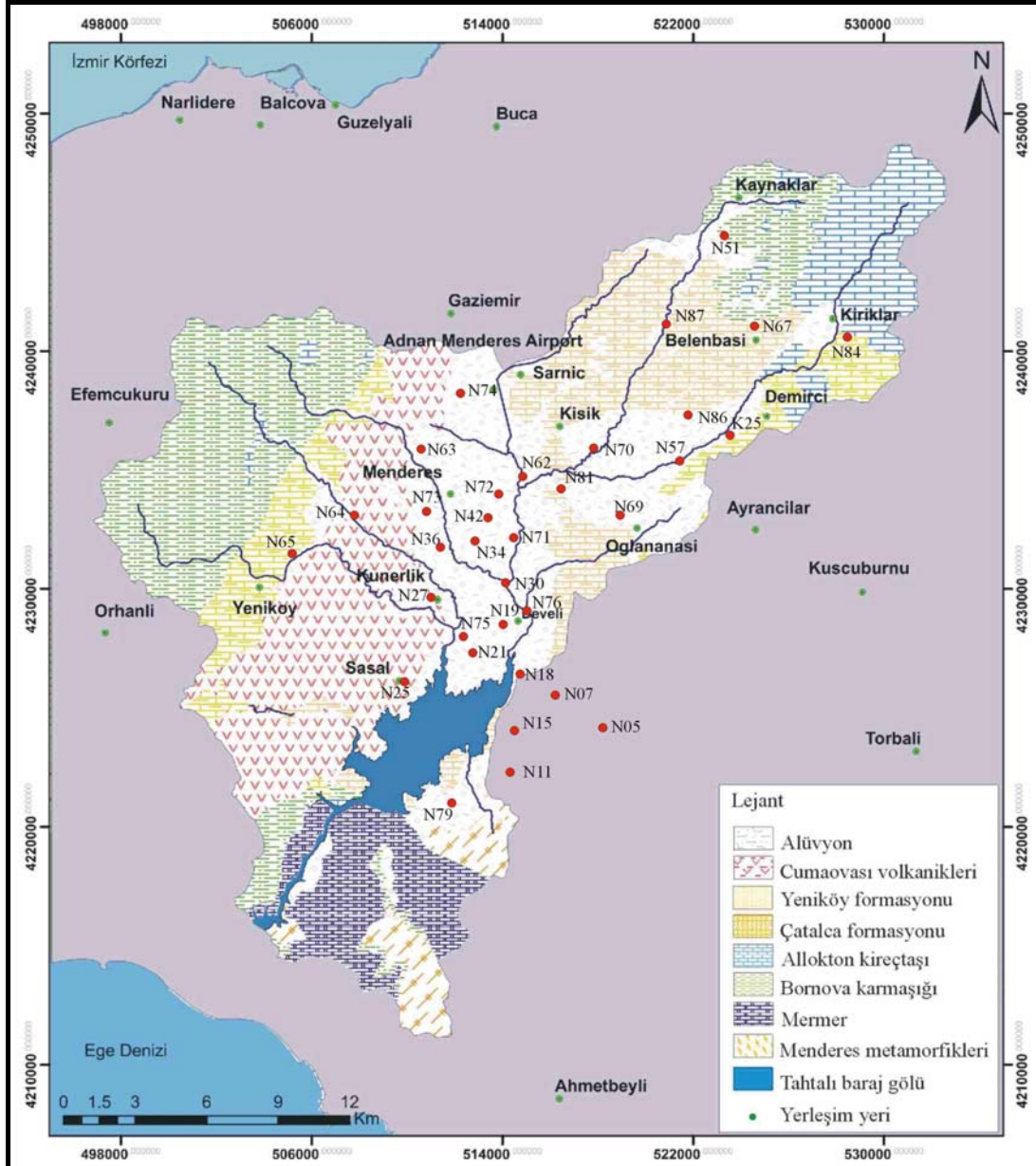
dolayısıyla daha yüksek kirlenebilirliği gösterir. Konsolide olmayan akiferlerde, derecelendirme, akiferdeki ince malzemenin miktarına ve türüne bağlıdır. Konsolide akiferlerde derecelendirme, birincil poroziteye, kırıklar ve tabaka yüzeyleri ile ilgili ikincil poroziteye bağlıdır. Alüvyon çalışma alanına ait en önemli akiferdir. Alüvyonun üst seviyelerindeki pekleşmemiş 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).

Neojene ait kırıntılı istif ince katmanlı kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve çakıltası kumtaşı ardalanmaları sunmaktadır. İnce lamineal 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 100×100m grid formatına dönüştürülmüştür (Şekil 5.10). Örnekleme yerleri de bu harita üzerinde belirtilmiştir.

Akifer ortama ait görelî öncelikler akifer malzemenin alüvyon, kum-çakıl, kumtaşı-çakıltaşı, fîliş, volkanikler, şeyl şeklinde gruplandırılmasından sonra yapılmıştır. Akifer ortama ait görelî öncelikler Tablo 5.7’de ağırlık değeri Tablo 5.14’dedir.

Tablo 5.7 Akifer ortam (A) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]



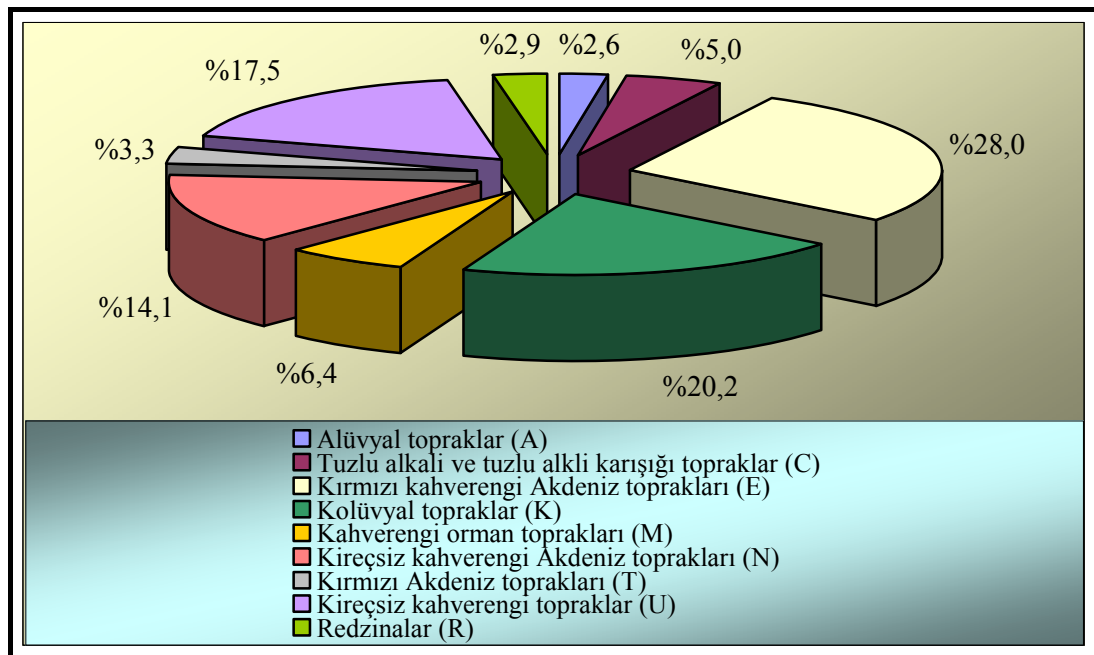
Şekil 5.10 Çalışma alanına ait jeoloji haritası örnekleme noktalarının (kırmızı noktalar) yerleri

Tahtalı Baraj Havzası içinde en yüksek görelî öncelik değeri Kuvaterner alüvyona aittir. Volkanikler ve Neojen öncesi kayalar içinde gösterilen Bornova Karmaşığı düşük görelî öncelik değerine sahiptir. Kumtaşı, çakıltası, kıltaşı aralanmaları birimlerin kalınlıklarına ve dokusal özelliklerine göre orta değerlerle derecelendirilmiştir (Tablo 5.7). DRASTIC yönteme ait sınıflama çalışma alanına ait birimlere göre yeniden yapılandırılmış, örnekleme noktalarına ait AHS değerleri, jeoloji haritası ve DSİ kuyu loglarının ve şahıslara ait loglarının (Ek 1) yorumlanması ile belirlenmiştir. AHS ile ağırlık değerleri saptanmıştır (Tablo

5.3.4 Toprak Bünyesi (S)

Toprak bünyesi yeraltı suyunun beslenme miktarını etkilemesi, kimyasal ve biyolojik kirleticileri filtre etmesi bakımından önemlidir. Toprağın organik ve mineralojik madde içeriği, biyolojik ve kimyasal reaksiyonları etkileyerek kirlenici miktarının azalmasını sağlarken filtreleme ile de sızma oranını düşürerek etkinlik göstermektedir. Zemin ile ilgili yorum yapılırken kirliliğe en önemli etken, zeminin yapısı ve her tabakanın kalınlığıdır.

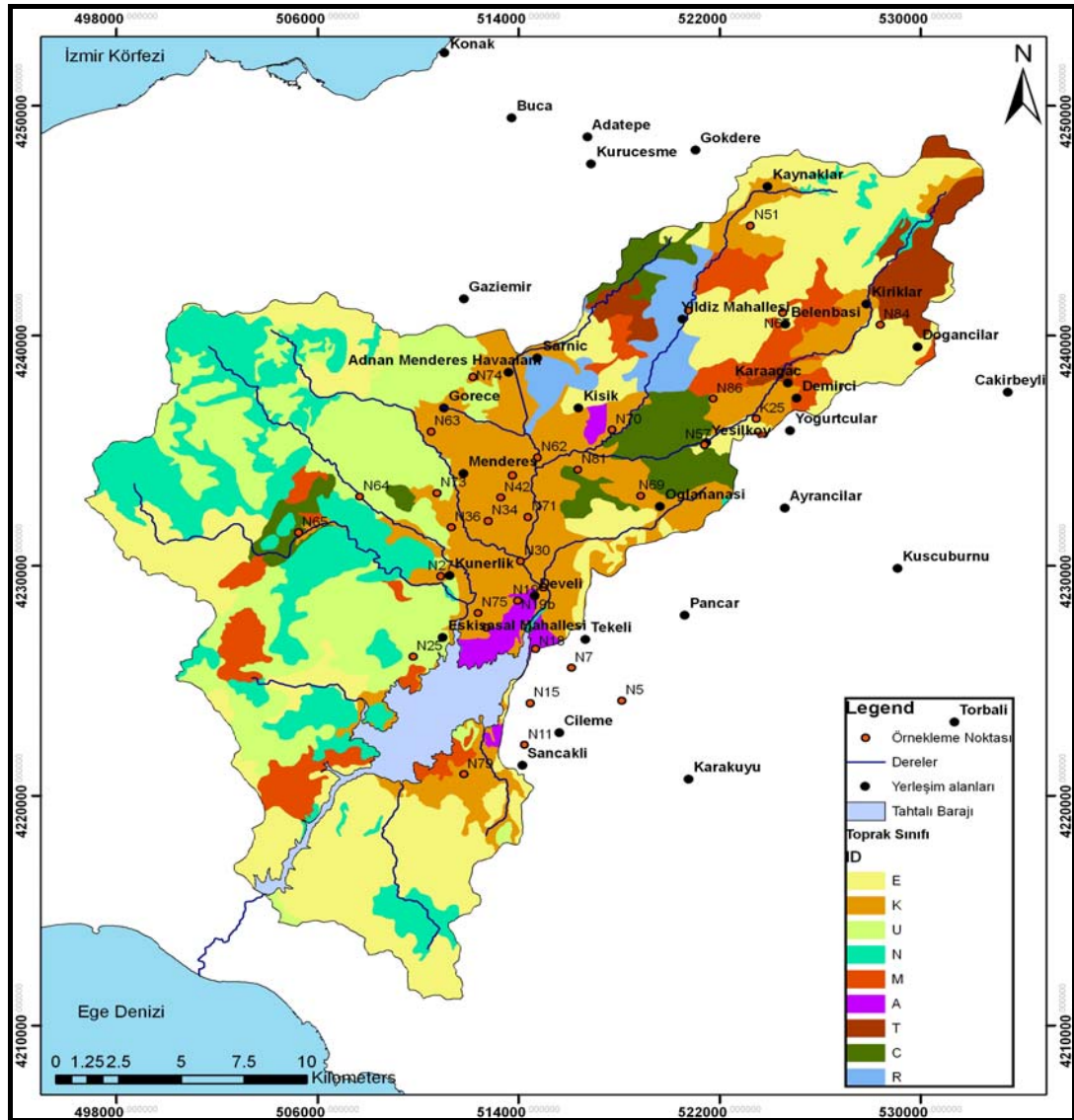
Köy Hizmetleri Bölge Müdürlüğünden elde edilen 1/25000 ölçekli toprak haritası yorumlanmış, sayısallaştırılmış toprak haritası Gündüz ve diğer. 2007'den elde edilmiştir. Bu sayısal toprak haritasında, AHS ile en çok dokuz parametrenin ikili karşılaştırması yapılabildiğinden, havzada ~ %0,0 yer kaplayan (D) büyük toprak grubunda yer alan kırmızımsı kestanerengi topraklar, %0,9 yer kaplayan (CK) grubundaki çıplak kayalar kireçsiz kahverengi orman topraklarına (N) dahil edilerek değişiklik yapılmıştır. Tahtalı Baraj Havzası'nda en büyük alanı %28 ile kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları (E) ve %20 ile kolüvyal topraklar (K) kaplamaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Tahtalı Baraj Havzası arazi kullanım diyagramı

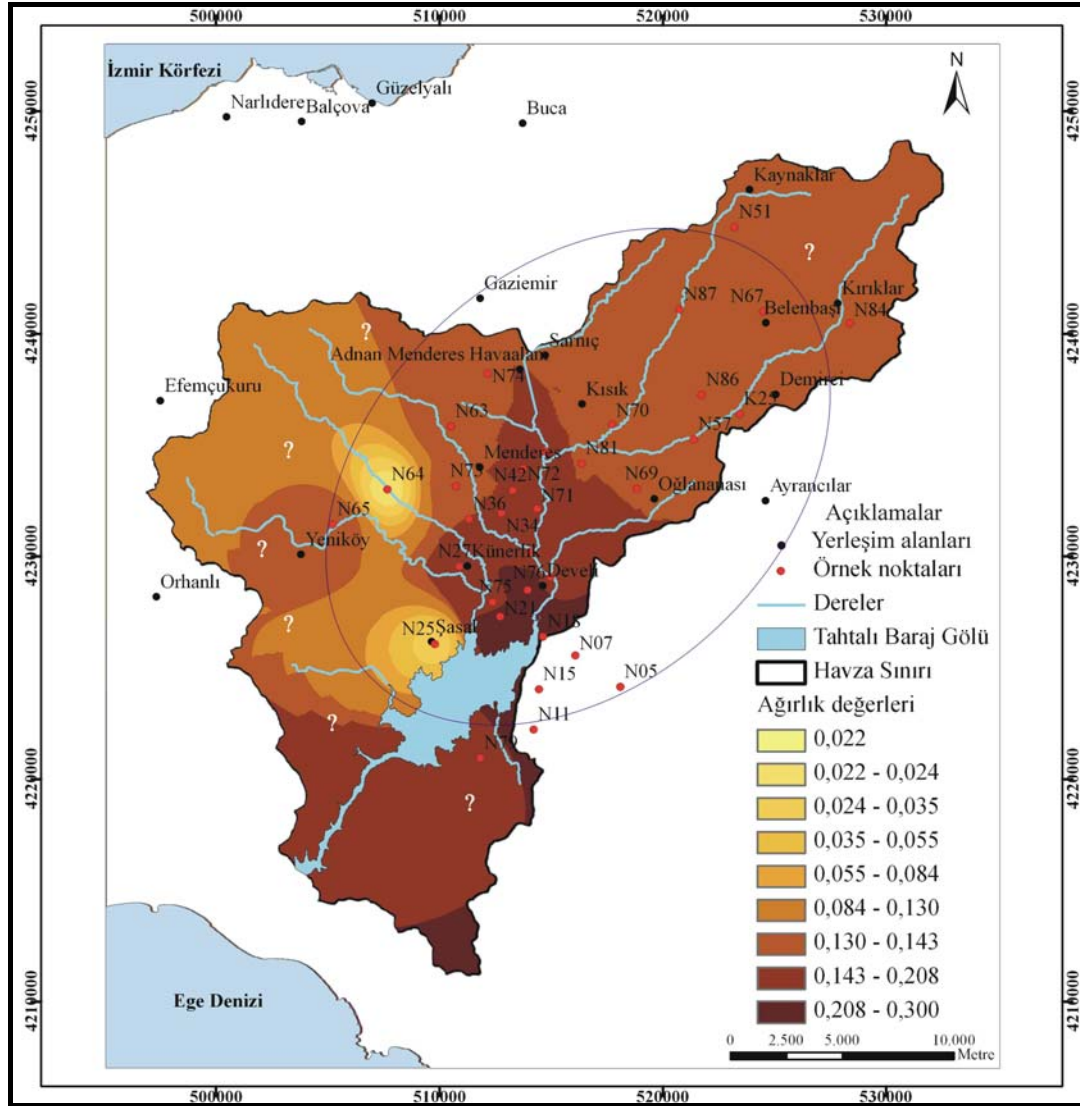
Tablo 5.8 Toprak bünyesi (S) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

S	A	C	E	K	M	N	R	T	U	Görelî öncelik
A	1	2	3	3	4	5	7	8	9	0,300
C		1	2	2	3	4	6	7	8	0,208
E			1	1/2	2	3	4	6	7	0,130
K				1	2	3	4	5	6	0,143
M					1	2	3	4	5	0,084
N						1	2	3	3	0,055
R							1	2	2	0,035
T								1	1	0,024
U									1	0,022
Tutarsızlık Oranı= 0,02										



Şekil 5.13 Tahtalı Baraj Havzası toprak bünyesi sayısal arazi modeli (Gündüz ve diğer. 2007)

Çalışma alanına ait toprak haritası ve büyük toprak grupları, eğim, bünye, derinlik ilişkilerini gösteren tablolar yardımı ile değerlendirilerek, AHS değerleri ikili karşılaştırmalarla (Tablo 5.8) bulunmuştur. Tablo 5.14’de örnekleme noktalarının AHS ile değerlendirilmesi ile elde edilen ağırlık değerleri verilmiştir.



Şekil 5.14 Tahtalı Baraj Havzası toprak bünyesi tematik haritası (?, veri eksikliği nedeni ile güvenilirliği düşük bölgeleri göstermektedir.)

5.3.5 Eğim (T)

Topografya arazi yüzeyinin eğimini gösterir. Topografya kirleticilerin yüzeyden derinlere sızmasında kontrol gücüne sahiptir. Eğim az ise kirleticilerin yüzey akışı

yavaş olacak ve yeraltına sızma potansiyeli yüksek olacaktır. Eğimin yüksek olduğu durumlarda ise yüzey akış kapasitesi yüksek olacak yeraltı su kirliliği düşecektir.

DRASTIC metodun eğim parametresine ait sınır değerleri değiştirilmeden alınmış ve AHS ile ağırlıklandırılmıştır (Tablo 5.9). Örnekleme noktalarına ait AHS indeks değerleri ise Tablo 5.14 'de verilmiştir.

Çalışma alanına ait 20 m aralıklı topografik harita Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisinden yararlanılarak sayısallaştırılmış oluşturulan eğim haritası DRASTIC yönteme göre düzenlenmiştir (Şekil 5.15).

Tablo 5.9 Topografik eğim (T) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

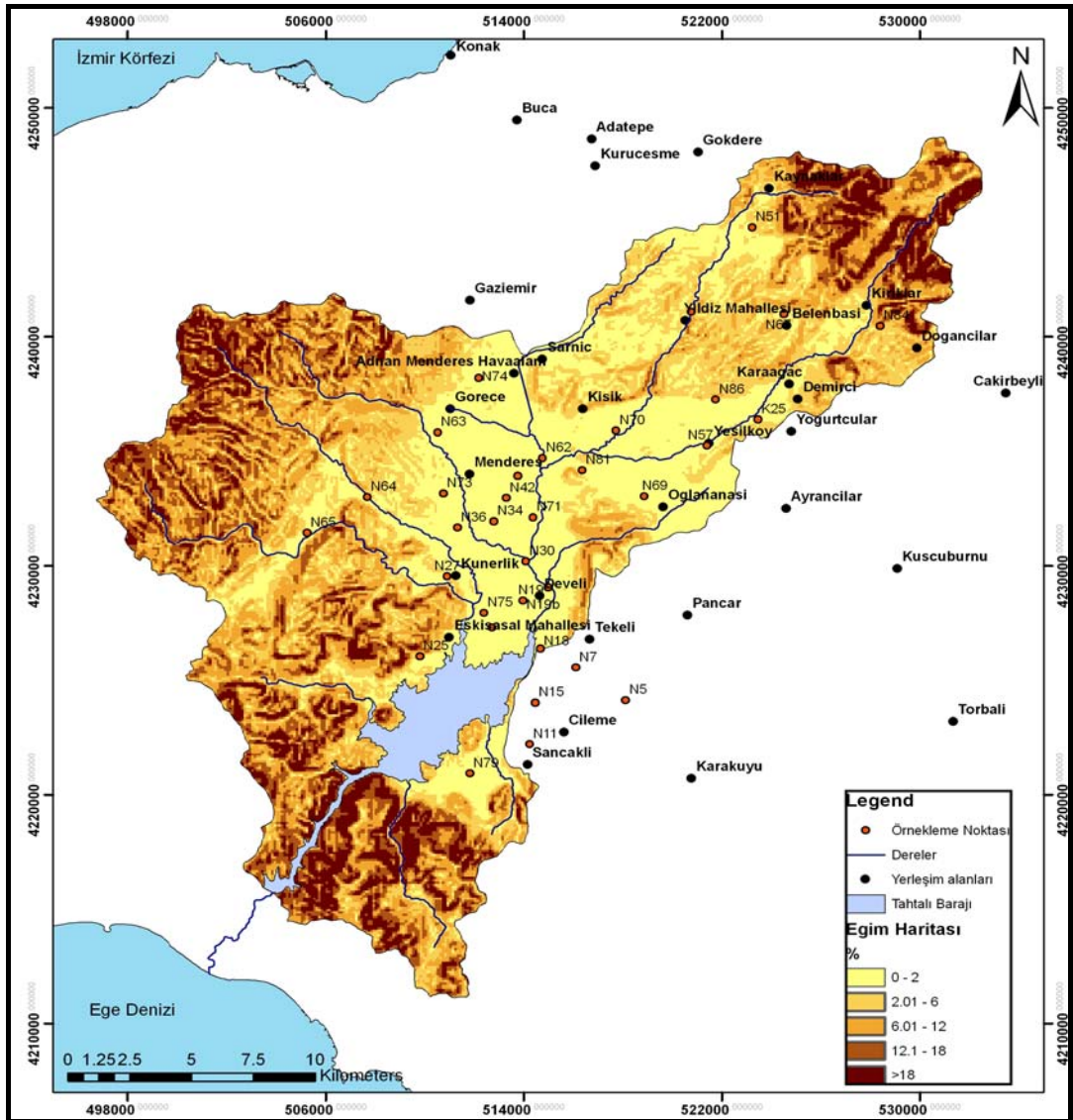
T %	0-2	2-6	6-12	12-18	>18	Görelilik öncelik
0-2	1	2	4	7	9	0,481
2-6		1	2	4	7	0,266
6-12			1	2	5	0,145
12-18				1	2	0,070
>18					1	0,038
Tutarsızlık Oranı= 0,01						

Örnekleme noktalarına verilen oran ve ağırlık değerlerinin çarpılması ile elde edilen tematik harita Şekil 5.16'da verilmiştir. Örnekleme noktalarının yerleri çalışma alanına ait tüm eğim değerlerini temsil edemediği için tematik haritanın örnekleme noktalarının sık olduğu orta bölgesi alüvyonel ve oldukça düşük eğimli alana karşılık gelmekte ve yüksek kirlenebilirlik değeri vermektedir. Çalışma alanının dağlık bölgeleri yüksek eğim değerlerine sahip olduğundan düşük kirlenebilirlik değerleri taşımaktadır.

5.3.6 Vadoz Zon Etkisi (I)

Vadoz zon su tablasının üzerindeki doymuş olmayan bölümdür. Vadoz zona ait bölgedeki birimlerin değerlerini belirlemede kayaçların 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 (Ek 2) 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 (Tablo 5.10). Kum, kumlu çakıl gibi malzemelerin ağırlıkta olduğu alüvyona 0,444 değerliği, siltli, killi malzemelerin geçildiği bölgelere 0,039 gibi düşük bir değerlik atanarak örnekleme kuyularına ait AHS-DRASTIC İndeks değerleri bulunmuştur (Tablo 5.14). Şekil 4.17’de vadoz zona ait tematik harita verilmiştir.

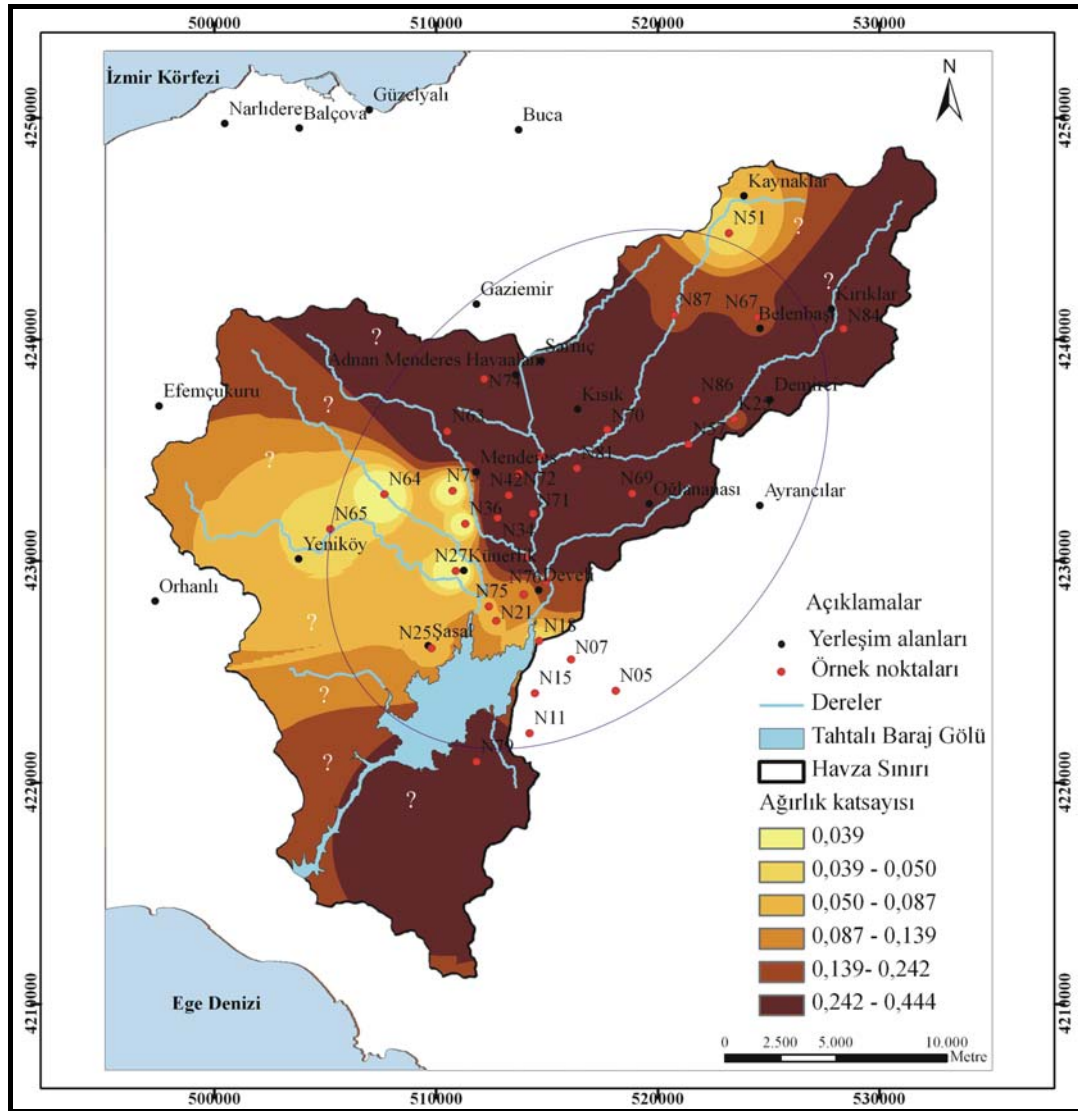


Şekil 5.15 Tahtalı Baraj Havzası eğim haritası

Tablo 5.10 Vadoz zon alt parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

AHS- DRASTIC parametrelerinin sınır değerlere göre saptanan oran ve göreceli öncelik değerleri Tablo 5.11’de verilmekte, örnekleme noktalarının AHS-DRASTIC indeks değerleri Tablo 5.14’de görülmektedir. Tahtalı Baraj Havzası’na ait hidrolik iletkenlik katmanı Şekil 5.18’de verilmektedir. Menderes, Künerlik, Develi, Karaağaç, Yeşilköy civarında Çatalca Formasyonunun kırıntılı birimlerinin ve alüvyonun yayılım gösterdiği yerlerde yüksek iletkenlik değerleri, Şaşal, Kaynaklar civarında düşük hidrolik iletkenlik değerleri görülmektedir. Özellikle Filiş’in yayılım sunduğu alanlarda veri eksikliği enterpolasyon haritasının güvenilirliğini düşürmektedir. Bu bölgeler (Şekil 5.17) “?” ile gösterilmiştir.



Şekil 5.17 Tahtalı Baraj Havzası vadoz zon haritası (?, düşük güvenli bölgeleri göstermektedir.)

Tablo 5.12 AHS-DRASTIC yöntemin oran ve göreceli öncelik değerleri

DRASTIC	Oran 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 (mm/yıl)	0-50	0.046
			50-100	0.076
			100-150	0.135
			150-200	0.270
			>200	0.473
A	0.12	AKİFER ORTAM	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
İ	0.109	VADOZ ZON ETKİSİ	kçt, mermer	0.444
			Çakıllı kum	0.242
			Konglomera	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

5.4 Tahtalı Baraj Havzası AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası

Bu çalışmada AHS alternatifleri değerlendirme amacıyla değil, potansiyel kirlenebilirlik haritaların oluşturulmasında kullanılan parametrelerin modifiye edilmesi, belirli bir tutarlılıkla ağırlıklandırılması ve elde edilen indeks değerleri ile oluşturulan tematik yedi haritanın (Şekil 5.19) çakıştırılarak entegrasyonunun yapılması için kullanılmıştır.

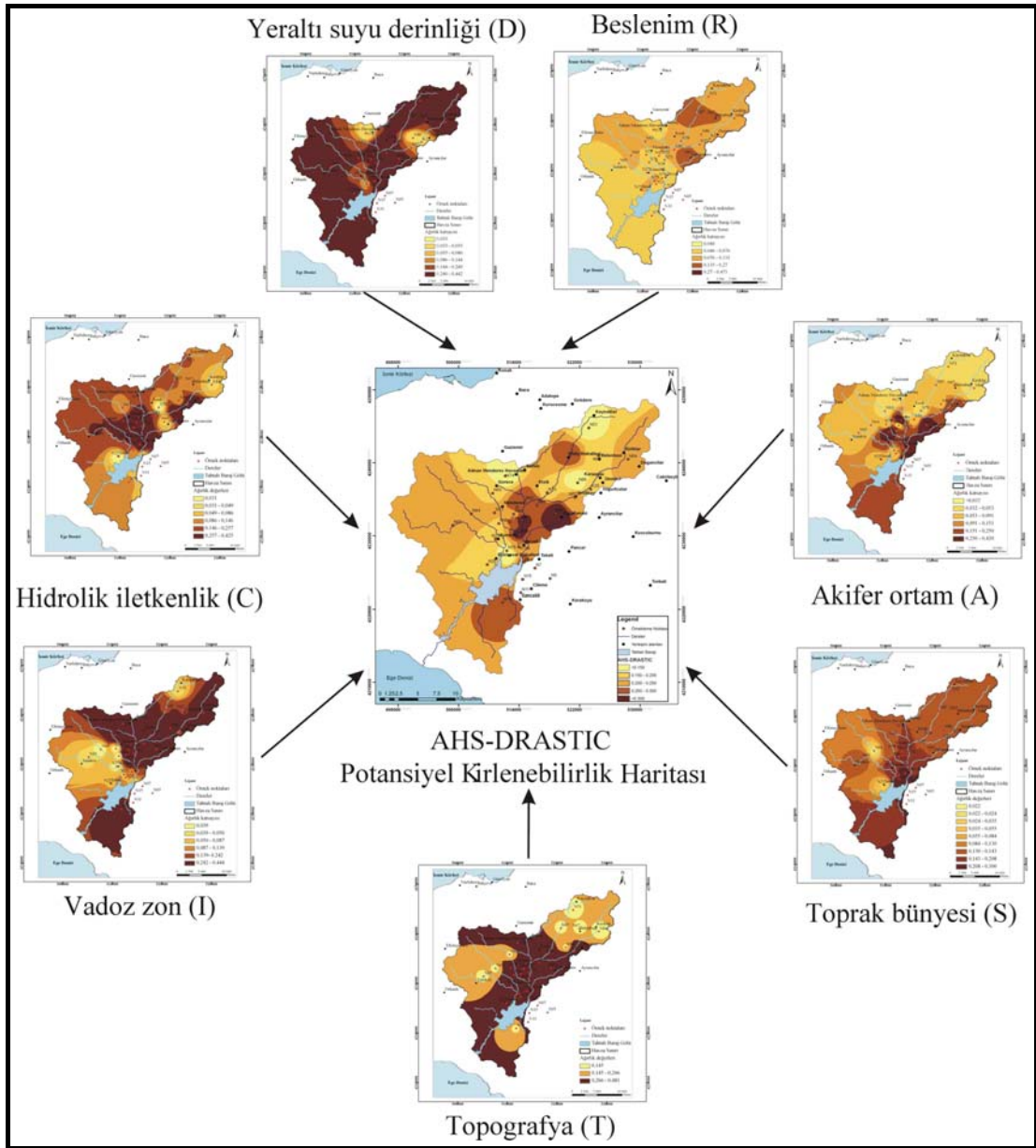
Her bir DRASTIC parametresi önem derecesine göre anlamlandırılmış ve her bir parametre için Tablo 5.12’de belirtilen parametre oran ve ağırlık katsayıları eşitlik 1 uygulanarak AHS-DRASTIC İndeks değeri için veri tabanında yeni bir sütun oluşturulmuştur (Tablo 5.14). Kontrol kuyularına ait AHS-DRASTIC İndeks değerleri ArcGIS 9.2 programında 100×100 m grid boyutunda yapılandırılarak havzaya ait AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası hazırlanmıştır (Şekil 5.20). Şekil 5.19 AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası için kullanılan tematik haritaları göstermektedir. Elde edilen AHS-DRASTIC İndeks değerlerinin 0,109-0,340 değerleri arasında değiştiği saptanmış ve beş farklı sınıflandırma aralığı oluşturulmuştur (Tablo 5.13). Elde edilen kirlenebilirlik haritasında potansiyel kirlenebilirliği en yüksek yerlerin havzanın alüvyonla kaplı bölümünde kurulu Oğlananası, Künerlik, Develi ile daha kuzeyde bulunan Yıldız mahallesi ile Tahtalı Baraj Gölü’nün güneyinde olduğu görülmektedir ve bu yerler yüksek indeks değerleri olan 0.200 - 0.300 ve > 0.300 değerlerine karşılık gelen indeks değerlerine sahiptir (Şekil 5.20). En düşük kirlenebilirliğe sahip alanlar Görece, Kaynaklar, Karaağaç ve Eski Şaşal mahallesinin bulunduğu bölümdedir 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, yeraltı suyu kaynakları açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanında kuyu ve veri azlığı nedeniyle kuzeybatı ve güney kesimler güvenirliliği düşük olarak değerlendirilmiştir. Bu alanların ormanlık alanlar olması, kirleticiler açısından tehlike yaratmayan bölgeler olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Tablo 5.13 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

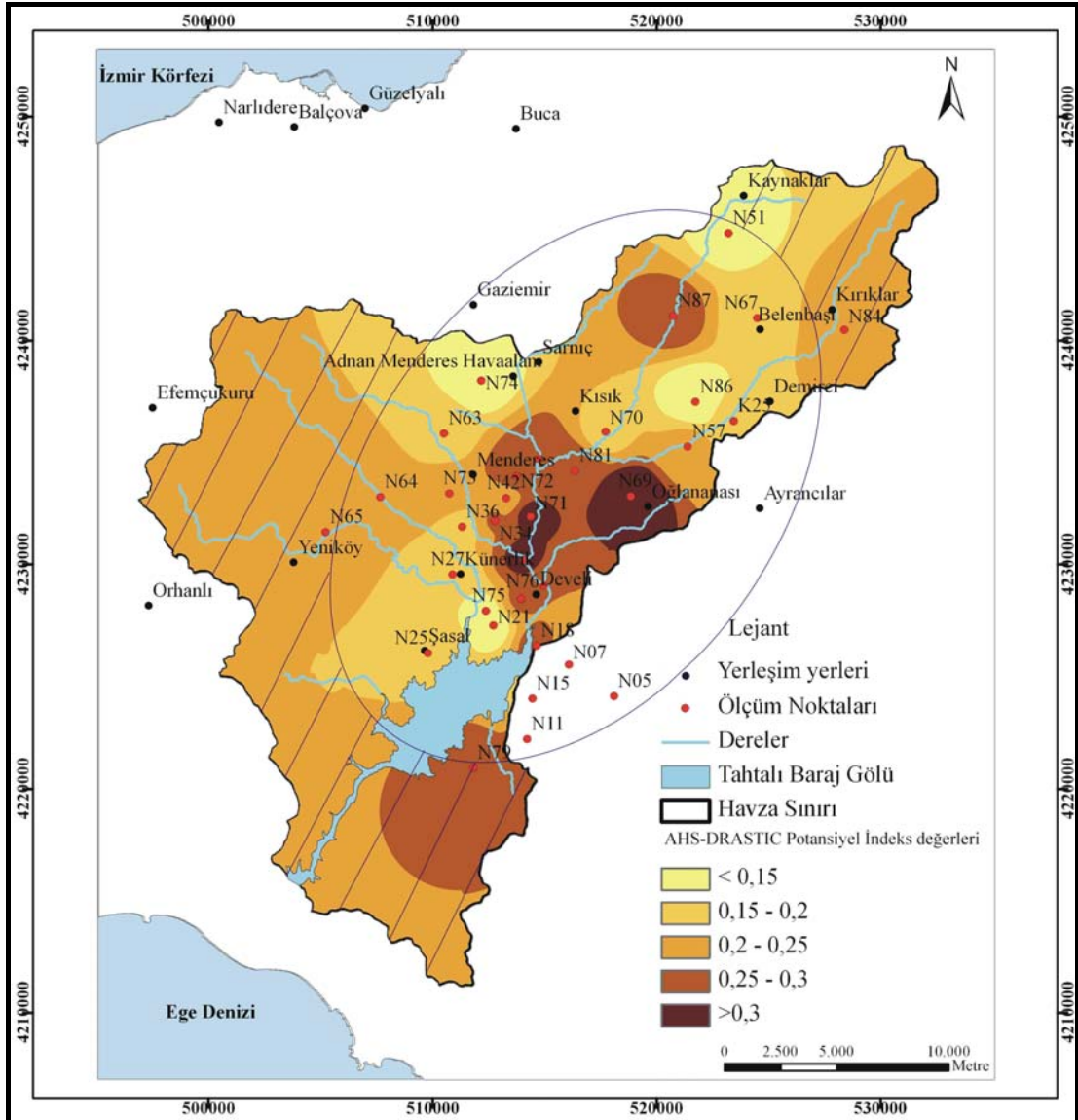
Tablo 5.14 AHS- DRASTIC (AHS-D) indeks değerleri (wi: ağırlık katsayısı)

DRASTIC Parametre oran değerleri (ri)				0.326	0.208	0.120	0.070	0.050	0.109	0.120	AHS- D İndeksi
Kuyu no	x	y	z	D _{wi}	R _{wi}	A _{wi}	S _{wi}	T _{wi}	I _{wi}	C _{wi}	
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



Şekil 5.19 AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası ve çıkarılan tematik haritalar

İzmir'in en önemli havzalarından biri olan Tahtalı Baraj Havzası için yapılan AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası, en önemli akifer sistemi olan Kuvaterner yaşlı alüvyon ile Neojen yaşlı kireçtaşlarının kirlenebilirliğinin yüksek olduğu, özellikle düz kesimlerde yer alan alüvyonun kirlenebilirliğinin yüksek olduğu saptanmıştır. İçme ve sulama suyu sağlayan havzalarda kirlenebilirlik haritalarının önceden yapılması, kirlenme potansiyeli yüksek alanların belirlenmesine yardımcı olarak, kirlenme riskini azaltıcı önlemlerin alınmasına ve daha sağlıklı yeraltı suyunun sağlanmasına katkı verecektir.



Şekil 5.20 Tahtalı Baraj Havzası AHS-DRASTIC potansiyel kirlenabilirlik haritası (Taralı alan, güvenilirliği düşük bölgeleri göstermektedir.)

5.5 Kirlenebilirlik Modelinin Kontrolü

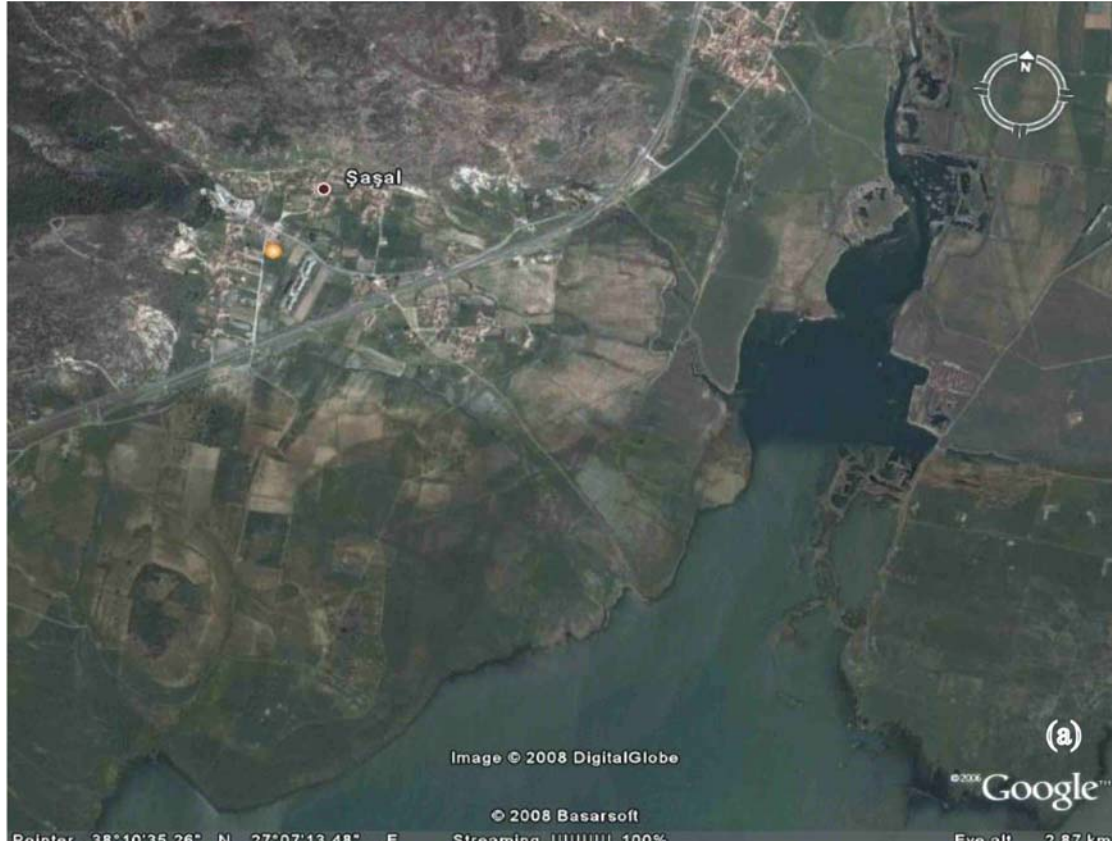
DRASTIC yöntem kirleticilerin su ile aynı akışkanlığa sahip olduğunu kabul etmektedir. Suda neredeyse tamamen çözünebilen nitrat, bu kabulü hemen hemen sağlaması ve çalışma alanındaki tarımsal aktivitelerde (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22) nitratlı gübrelerin kullanılabilmesi nedeniyle, yöntemin nitratla kontrol edilebileceğini göstermektedir. Bunun için çalışma alanındaki yeraltı suyu nitrat miktarları (Tablo 5.15) kullanılarak nitrat haritası yapılmış (Şekil 5.25) ve kirlenebilirlik haritası ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca nitrat kullanımının kirlenebilirlik üzerine etkisini ortaya koyması için arazi kullanım haritası ile korelasyonu da yapılmıştır (Şekil 5.23).

Arazi kullanım açısından Tahtalı Baraj Havzası yüksek oranda yeşil alan olarak kullanılmaktadır. Tahtalı Barajı koruma alanlarını içine alan Tahtalı Baraj Havzasında ormanlık alanlar ve makilik alanlar havzanın % 61,5'ini kaplamaktadır. Seraların da içinde olduğu, tarım yapılan alanlar ise havzanın % 32' lik kısmını oluşturmakta (Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.24) ve havzadaki yeraltı sularının işletilmesi, korunması sürekliliğinin sağlanması açısından, kontrol altında tutulması gereken bölgelerden birini oluşturmaktadır.

Kirlilik kontrolünde önem taşıyan endüstri bölgeleri, havzanın % 0,2'lik bölümünü kapsamakta ve (Şekil 5.23) kuzey bölümde yoğunlaşmaktadır. Yapılan AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası ile nitrat dağılım haritası (Şekil 5.25) arasında benzerlik görülmektedir. Tarım ve yerleşim alanı olarak kullanılan düz kesimlerde (Şekil 5.25) nitrat konsantrasyonu da yükselmekte, 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 (Şekil 5.21 b) ve Yıldız mahallesinde (Şekil 5.22 b) kirlenebilir alanlar arasında korelasyon olmaması Oğlananası ve çevresinde devlet ve Dünya Bankası desteği ile yoğun bir şekilde zeytin yetiştiriciliğine geçilmesi



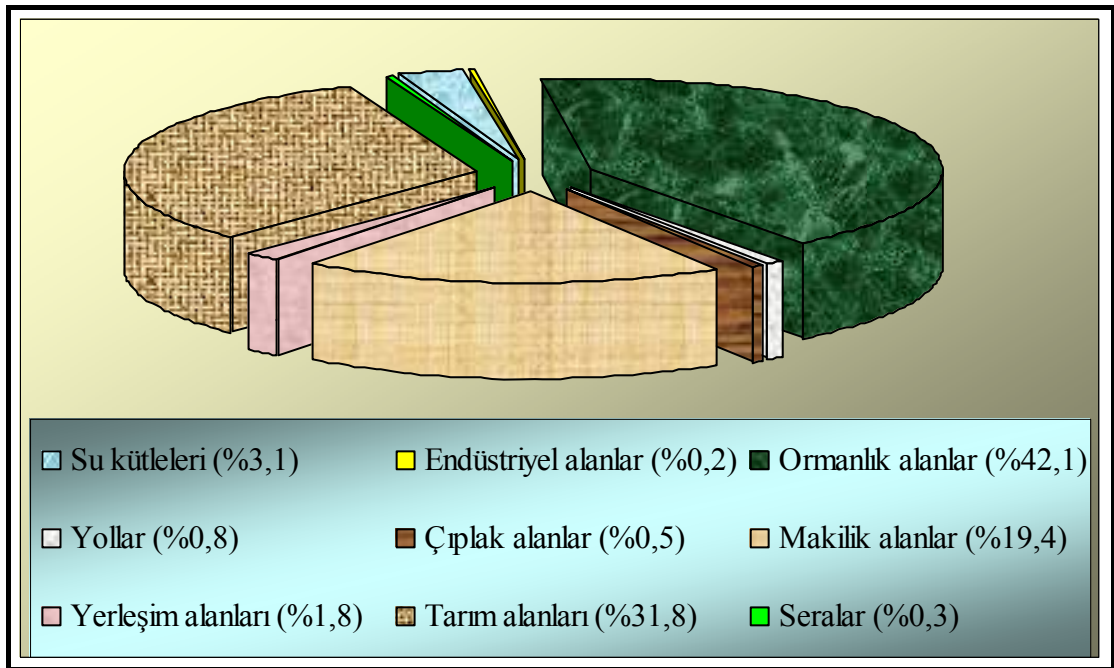
Şekil 5.21 Develi (a) ve Oğlananası (b) civarı tarım alanlarının uydu görüntüsü



Şekil 5.22 Şaşal (a) ve Kaynaklar (b) civarının uydu görüntüsü

nedeniyle kuru tarım yapılması, dolayısı ile nitratlı gübre kullanımının kısıtlı olmasına dayandırılabilir. Yıldız mahallesinde ise tarımsal aktivite, suyun çok sınırlı olması nedeniyle çok azdır. AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritasının geçerliliği, 3. bölümde verilen Cl eş seviye eğrilerinin verildiği harita üzerinde de çalıştırılabilir. Şekil 3.39'a göre Cl miktarı Tekeli – Develi yerleşim yerleri arasında ve Menderes ilçesi civarında TS266 standardını aşmamakla birlikte artış göstermektedir. Bu bölümler AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritasında

kirlenebilirliği yüksek alanlardır. Ayrıca, Cl kütle dengesi ile yapılan beslenme katmanında da benzer sonuç elde edilmektedir. Ağır metallerle de benzer karşılaştırma yapılabilir. 3. bölümde verilen demir konsantrasyon dağılımını daire grafik olarak gösteren haritada, demir konsantrasyonunun 200 µg/L olan TS 266 değerini aştığı bölgelerin AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritasında yüksek risk taşıyan bölgelere karşılık geldiği görülmektedir.



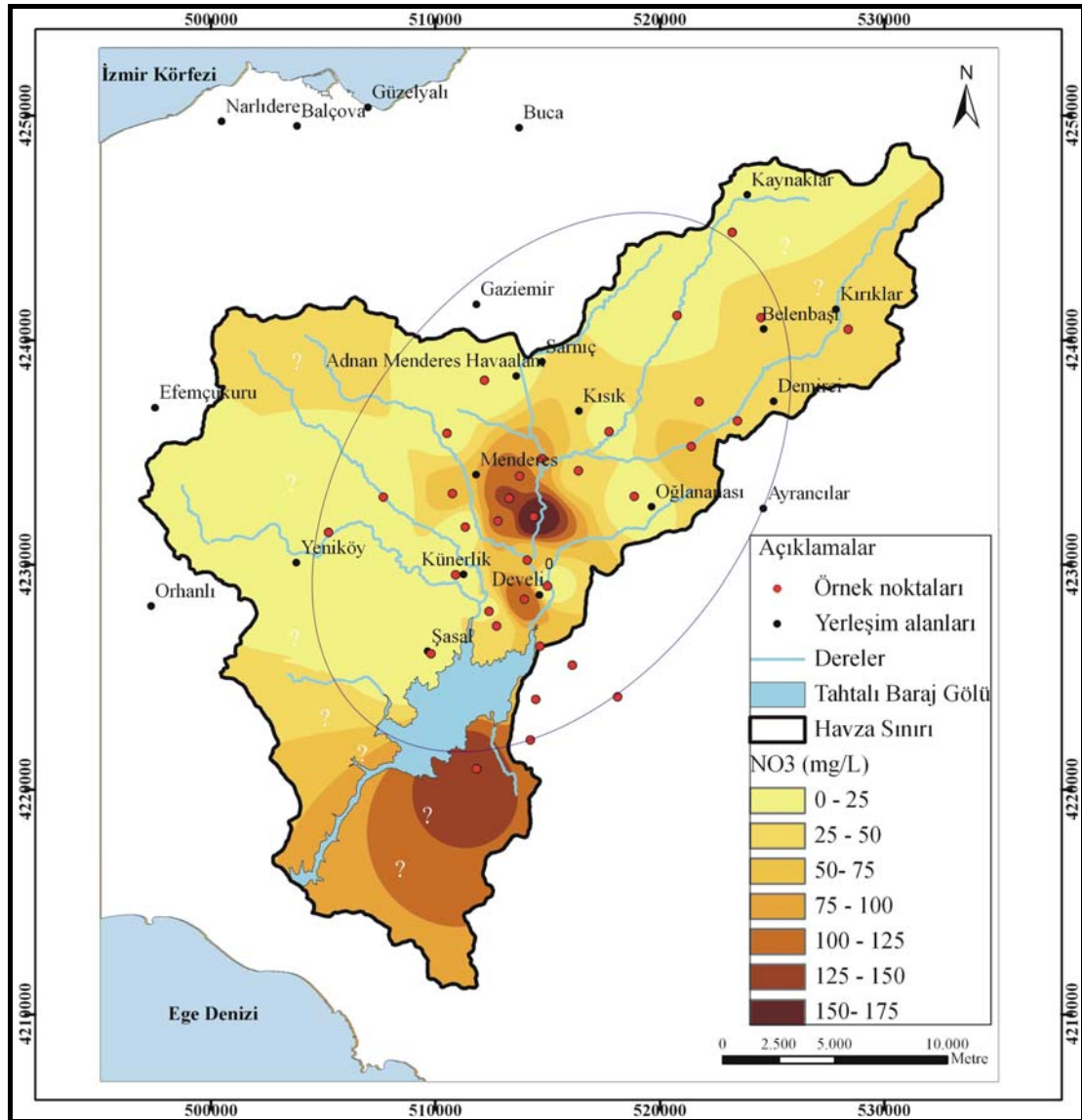
Şekil 5.24 Tahtalı Baraj Havzası arazi kullanım diyagramı

Tablo 5.15 Yeraltısularına ait Cl⁻, NO₃⁼ 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 ⁼	102.02	7.79	130.72	0.17	66.02	76.82	19.38	8.24	11.30	43.98	13.30	21.47
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	

AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası Mangan konsantrasyonu haritası (Şekil 3.46) ile denendiğinde yine standartların aşıldığı yüksek konsantrasyona sahip alanların kirlenebilirliği yüksek alanlara karşı geldiği görülmektedir.

As miktarlarını veren Şekil 3.49'daki haritada da AHS Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası'nı doğrulayan değerler görülmektedir.



Şekil 5.25 Tahtalı Baraj Havzası NO₃ miktarı dağılım haritası

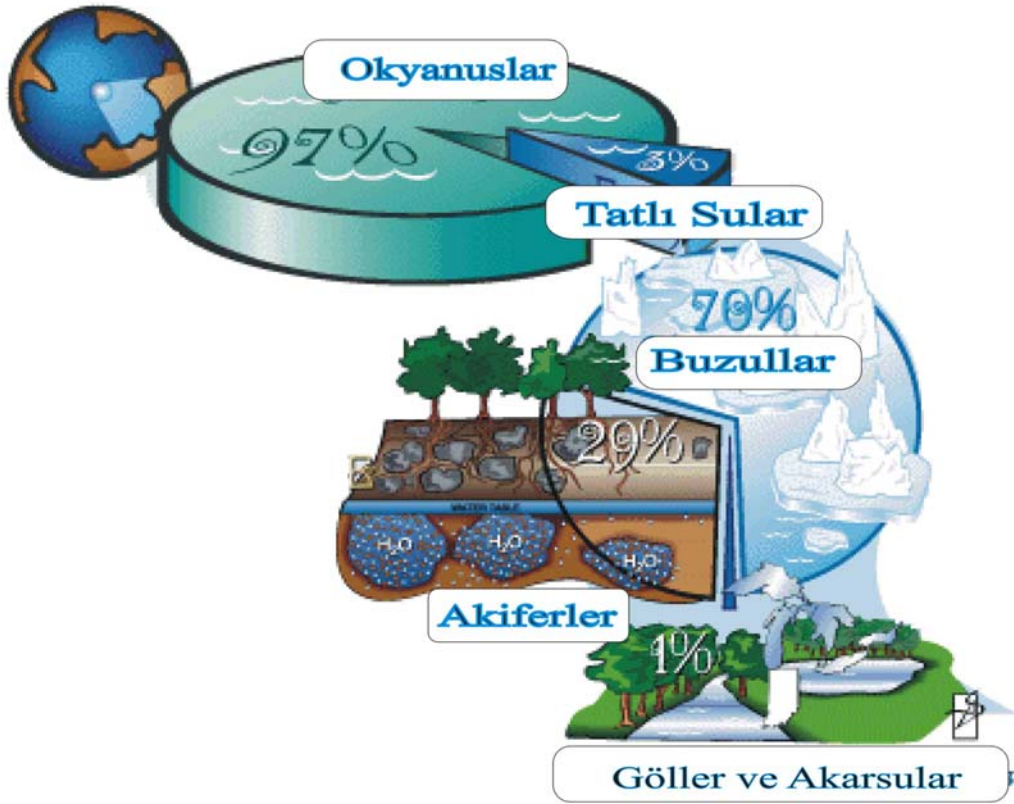
Benzer çalışmalar için de örnek olabilecek çalışmanın, havza planlaması ve havza yönetimi için yol gösterecek yeterlikte olduğu sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM ALTI

BÜTÜNLEŞİK YERALTI SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE DRASTIC MODELLE İLİŞKİSİ

6.1 Giriş

Dünyamızın dörtte üçünü kaplayan su kaynaklarının çok az bir bölümü içme, kullanma ve sulamada kullanılabilmektedir. Yeraltında kayaların boşluk ve çatlaklarını dolduran su büyük hacimlere ulaşarak depolanır. Yeraltı suyu olarak adlanan bu su yeryüzündeki su döngüsünün önemli bir bölümünü oluşturur. Yeryüzündeki okyanuslarda dahil olmak üzere toplam su miktarının % 0,6'lık bölümü yeraltı suyu, % 0,005'lik bölümü zemin suyu, % 0,001'lik bölümü ise atmosferik sulardır. Yüzey suları yalnızca % 0,009'luk bir bölümü oluşturur (Şekil 6.1). Dünyadaki tatlı su kaynaklarının %29'u akiferlerde bulunmaktadır.



Şekil 6.1 Dünyadaki sularının dağılımı (USGS, 1999)

Artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak gelişen sanayi, su ihtiyacını sürekli artırmaktadır. Kullanım sonucu ortaya çıkan atık sular yüzey ve yeraltı su kaynaklarını kirleterek kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının sürekli izlenmesi ve gerekli koruma önlemlerinin alınması büyük öneme sahiptir.

Su kalitesinin belirlenmesinde bir çok parametre kullanılmakta, her parametre için ayrı bir standart ile kabul edilebilir değer ve maksimum değer tanımlanmaktadır. Ölçülen parametre değerinin standart ile karşılaştırılması sonucu kabul edilebilir değer üzerinde bir sonuç ortaya çıktığı durumda suyun, söz konusu amaçla kullanıma uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır. Her bir parametre için yapılacak bu şekilde bir değerlendirme, aynı suyun bazı parametreler açısından kullanılabilir, bazıları için ise kullanılamaz olması durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Bu durum, suyun nihai kullanım kararını verecek olan karar vericilerin işini zorlaştırmaktadır. Bu noktadan hareketle, su kalitesinin değerlendirilmesinde bireysel parametrelerin tek başına dikkate alınmasına ek olarak birçok parametrenin aynı anda değerlendirilebildiği çoklu parametre değerlendirilmelerine geçmek çoğu zaman daha uygun sonuçlar verebilmektedir. Özellikle doğal ortamlarındaki suların genel anlamda sınıflandırıldığı durumlarda, bu uygulamanın karar verme mekanizmasını kolaylaştıracağı açıktır. Buna karşılık, çoklu parametrelerin bir arada değerlendirilmesi ve kullanılacak parametrelerin seçimi bir başka süreci gerekli kılmaktadır. Bu noktadan hareketle ortaya çıkan ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) olarak tanımlanan teknik yardımıyla, çevre ve yer bilimleri alanında çoklu kriter değerlendirilmesinin gerçekleştiği birçok uygulama yapılmıştır (Ning ve Change, 2001). Çalışmamızda da AHS bütünlük bir kalite sınıfı oluşturmak amacıyla kullanılmıştır.

6.2 AHS Entegre Edilmiş Su Kalite Sınıflandırılması

Su kalitesi, içinde çözünmüş maddelerin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak suda fazla miktarda maddenin çözünmüş olması, su

kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Su kalitesini ifade etmek amacıyla bu çalışma kapsamında fizikokimyasal parametreler kullanılmıştır. Çalışılan bölgede güvenilir ve sürekliliği olan veri bulunması durumunda tekniğe biyolojik parametrelerin de eklenmesi kolaylıkla sağlanabilir. Bu çalışma kapsamında Tahtalı Baraj Havzası'ndan 2007 yılı Mayıs ve Ekim aylarında alınan yeraltı sularına ait kimyasal analiz değerleri ve ölçümleri kullanılmıştır. Parametreler seçilirken Türk Standartlar Enstitüsü (TSE), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) içme suyu standartları ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) içme suyu standartları dikkate alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucu, veri tabanının rutin fiziksel parametreleri, rutin anyon ve katyonları içeren temel kimyasal parametreleri ve bazı ağır metalleri içermesi uygun görülmüştür. Buna göre, suyun sıcaklığı, pH değeri ve elektriksel iletkenliği fiziksel parametreler olarak dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra, Sülfat iyonu, Nitrat-azotu, Klorür iyonu ve Potasyum iyonu konsantrasyonu temel kimyasal parametreler olarak kullanılmıştır. Son olarak, Alüminyum, Arsenik, Çinko, Bakır ve Demir gibi bazı ağır metaller de değerlendirmeye tabii tutulmuştur. Tüm parametreler standartlarda (WHO, 2004; EPA, 2003; TSE. 266) yer alan tavsiye edilen ve müsaade edilebilir maksimum değerler dikkate alınarak üç kategoride sınıflandırılmıştır (Tablo 6.1). Yeraltı suyu örneklerinin kimyasal analizlerine ait değerler Tablo 6.7 ve Tablo 6.9'da verilmektedir. Su kalitesi ölçümü yapılan tüm noktalar Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Bu noktalarda ölçülen ve yukarıda anlatıldığı şekilde çalışmaya dahil edilen ana gruplar (fiziksel parametreler, kimyasal parametreler, ağır metaller) AHS değerlendirme ölçeği kullanılarak öncelikler sıralamasına konulmuştur. Buna göre, ağır metaller fiziksel parametrelere oranla fazla önemli, kimyasal parametrelerden ise biraz daha önemli görülmüş; kimyasal parametreler ise fiziksel parametrelerden biraz daha önemli kabul edilmiştir. Bu ölçek baz alınarak hesaplanan göreceli öncelik katsayıları ise Tablo 6.1, 6.2, 6.3, 6.4,'de verilmektedir. Daha sonra seçilen fiziksel parametreler, kimyasal parametreler ve ağır metaller kendi ana grupları içerisinde önem sırasına sokulmuş ve göreceli öncelik katsayıları hesaplanmıştır. İlgili sıralamalar ve öncelikler Tablo 6.6'da verilmektedir. Göreceli öncelikleri belirlenen parametreler için ulusal ve uluslararası standart değerleri kullanılarak üç farklı sınıfta değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında sular iyi, orta ve kötü kalite sınıflarından birine düşecek

Tablo 6.5 Su kalite sınıflarının karşılaştırılması

Parametre	İyi kalite	Orta kalite	Kötü kalite	Göreceli öncelik
İyi kalite	1	2	8	0,604
Orta kalite	1/2	1	5	0,326
Kötü kalite	1/8	1/5	1	0,070
Tutarsızlık Oranı (TO)= 0.01				

Kullanılan tüm parametreler için kabul edilen sınırlar ise Tablo 6.6'da verilmektedir. Örnekleme noktalarından elde edilen ölçüm sonuçları, burada verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak suyun söz konusu kalite parametresi için iyi, orta veya kötü kalite sınıfından hangisine girdiği belirlenmekte ve buna göre hangi katsayının kullanılacağı ortaya çıkmaktadır. Örneğin, Sülfat konsantrasyonu 200 mg/L ölçülmüş bir su örneği için 0,604 değeri kullanılmaktadır. Benzer şekilde, 0,105 mg/L olarak ölçülen arsenik değeri için 0,070 değeri dikkate alınmaktadır. Tablo 6.6'da açıklanan su kalite parametrelerinin önem değerleri kullanılarak birleştirilmesi sonucu oluşturulan ve su örneğinin bütünleştirilmiş kalitesi olarak düşünülebilecek indeks değeri aşağıdaki eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{İndeks değeri} = & 0,109(0,333F_1+0,592F_2+0,075F_3) \\
 & +0,309(0,097K_1+0,511K_2+0,301K_3+0,091K_4) \\
 & +0,582(0,130A_1+0,555A_2+0,124A_3+0,124A_4+0,067A_5).....(1)
 \end{aligned}$$

Bu eşitlikte F fiziksel parametreler ana grubunu, K kimyasal parametreler ana grubunu ve A ağır metaller ana grubunu tanımlamaktadır. Her ana grubun içindeki alt parametrelerde alt indislerle tanımlanmıştır. Örneğin, K₂ nitrat azotunu ifade etmektedir. Burada, örnekleme noktasındaki nitrat azotu değeri Tablo 6.6'daki sınır değerler ile karşılaştırılmakta ve buna göre bir alt sınıf değeri kullanılmaktadır. Örneğin nitrat azotu değeri 12 mg/L olarak ölçülmüş ise K₂ değeri 0,326 olarak yukarıdaki denkleme girmektedir. Benzer değerlendirme sonucu tüm F, K ve A değerleri sayısallaştırılmakta ve yukarıda verilen İndeks değeri denklemi kullanılarak genel su kalite indeks değeri hesaplanmaktadır. Sonuçta elde edilen

değerin Tablo 6.5'deki göreceli önceliklere olan yakınlığı baz alınarak, söz konusu suyun genel olarak iyi, orta veya kötü kalite olarak sınıflandırılması yapılmaktadır.

6.3 Tahtalı Baraj Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada anlatılan AHS tekniği, Tahtalı Baraj Havzası yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada, yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesinde çoklu kriter analizi yapmak amacıyla AHS yöntemi kullanılmıştır. AHS ile çoklu parametrelerin belirli kurallar dahilinde bütünleştirilmesi ve tek bir değer ile ifade edilmesi hedeflenmiştir. Teknikte kullanılan parametrelerin farklı kombinasyonlarda seçilmesi durumunda farklı sonuçların elde edilmesi mümkündür. Son olarak, geliştirilen tekniğin, alternatif kaynaklardan elde edilen suların indeks değerleri baz alınmak suretiyle hangi zamanlarda ne oranlarda karıştırılmasını uygun olacağına karar vermek amacıyla da kullanılabileceği düşünülmektedir.

2007 yılı Cumaovası yeraltı sularına ait karma ve nihai karma öncelik değerleri yağışlı dönem için Tablo 6.8'de, kurak dönem için Tablo 6.10'da verilmiştir. Tablo 6.8'de yağışlı dönem nihai karma öncelik değerleri incelendiğinde, AHS entegre edilmiş indeks değerlerinin 0,240-0,473 aralığında bulunduğu ve bölgeye ait yeraltı sularının ortalama indeks değeri 0,385'dir.

Kurak dönemi temsil eden Tablo 6.10'daki AHS entegre edilerek bulunan nihai indeks değerlerinin 0,241-0,602 arasında değişim gösterdiği görülür. Ortalama indeks değeri 0,452 olup yağışlı döneme ait 0,385 olan ortalama değer üzerinde bir değere sahiptir. Ortalama değerlerden de anlaşılacağı gibi yağışlı dönemdeki yeraltı suyu kalitesinde belirgin bir düşüş olmaktadır. Bu değerler yeraltı sularının yağışlı dönemde kirleticilerin su ile taşındığı yargısını ortaya koymaktadır.

AHS- Su kalite indeks değerleri kullanılarak yağışlı ve kurak dönem indeks değer aralıkları gözetilerek oluşturulan kalite sınıflarına göre indeks değeri 0,35'den küçük olan sular kötü kalite sular, 0,35-0,45 indeks değer aralığında olan sular orta kalite

sular, 0,45'den büyük indekse sahip olan sular ise iyi kalite sular olarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan tematik haritaya (Şekil 6.2) göre, kötü kalite sınıfına

Tablo 6.6 Su kalite parametreleri ve AHS ağırlık katsayıları

Su Kalitesi Parametre Grubu	w _i	Alt Parametre	w _{ii}	Sınır değerler	w _{iii}
Fiziksel Parametreler (F)	0,109	pH (-)	0,333	6,5-8,5	0,604
				6,0-6,5 veya 8,5-9,0	0,326
				<6,0 veya >9,0	0,070
		EC (µS/cm)	0,592	<600	0,604
				600-1000	0,326
				>1000	0,070
		Sıcaklık (°C)	0,075	<15	0,604
				15-25	0,326
				>25	0,070
Kimyasal Parametreler (K)	0,309	Sülfat (mg/L)	0,097	<250	0,604
				250-400	0,326
				>400	0,070
		Nitrat Azotu (mg/L)	0,511	<10	0,604
				10-20	0,326
				>20	0,070
		Potasyum (mg/L)	0,301	<10	0,604
				10-12	0,326
				>12	0,070
Ağır Metaller (A)	0,582	Alüminyum (mg/L)	0,130	<0,05	0,604
				0,05-0,2	0,326
				>0,2	0,070
		Arsenik (mg/L)	0,555	<0,01	0,604
				0,01-0,05	0,326
				>0,05	0,070
		Çinko (mg/L)	0,124	<3,0	0,604
				3,0-5,0	0,326
				>5,0	0,070
		Bakır (mg/L)	0,124	<2,0	0,604
				2,0-3,0	0,326
				>3,0	0,070
		Demir (mg/L)	0,067	<0,2	0,604
				0,2-0,3	0,326
				>0,3	0,070

Tablo 6.7 Tahtalı Baraj Havzası yağışlı dönem yeraltı suları kalite parametrelerine ait değerler

	Fiziksel Parametreler			Kimyasal Parametreler					Ağır metaller				
Örnek no	EC (µS/cm)	pH	T(°C)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	K (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	
K25	701	8	18.4	23.37	15.77	33.71	7.89	68.05	<25	29.44	<10	<25	
N05	1448	7.37	19.9	202.57	159.38	24.74	9.26	79.22	93.84	<25	<10	120.40	
N07	713	7.38	21	39.18	17.56	42.06	7.31	338.70	<25	35.58	31.00	794.70	
N11	1013	7.02	19.3	49.28	51.50	111.03	10.25	90.62	<25	674.70	<10	146.50	
N15	1744	7.08	20.9	326.44	104.26	58.88	9.60	98.20	<25	276.60	<10	64.38	
N18	747	7.16	24.2	38.06	39.18	65.05	8.09	72.31	<25	59.34	<10	<25	
N19	982	6.93	18.7	46.59	74.48	123.32	9.47	93.72	<25	53.91	<10	37.32	
N20	954	6.92	18.9	46.88	73.16	122.39	9.21	87.59	27.95	136.50	<10	45.34	
N21	700	7.07	23.4	52.36	97.99	33.98	11.20	48.79	25.45	140.70	<10	42.11	
N25	474	7.1	18.3	29.08	20.93	1.54	15.55	43.89	30.73	<25	<10	31.55	
N27	643	7.41	22.4	66.97	23.74	8.90	14.57	47.75	<25	26.15	<10	26.70	
N30	1006	7.45	21.6	54.07	67.35	58.68	16.40	65.18	151.60	26.45	<10	25.17	
N34	863	6.8	17.9	68.65	61.25	102.02	10.16	156.50	<25	39.73	<10	160.60	
N36	629	7.19	24	30.23	20.12	7.79	11.26	149.80	36.37	93.95	<10	47.85	
N42	731	6.69	19.7	46.33	72.65	130.72	8.33	156.30	<25	104.90	19.56	141.60	
N51	873	7.06	19.6	40.01	18.58	0.17	7.62	85.65	<25	25.61	<10	41.22	
N57	705	7.63	19.7	30.92	32.39	66.02	7.13	82.00	<25	140.10	<10	90.40	
N62	804	6.89	19	49.95	61.53	76.82	8.05	86.10	<25	81.51	<10	232.70	
N63	646	7.36	17.8	15.52	62.49	19.38	11.59	80.07	<25	459.30	<10	84.47	
N64	685	7.23	17.9	19.65	49.34	8.24	8.28	84.07	<25	78.07	<10	66.30	
N65	1246	7.47	16.3	85.30	157.96	11.30	9.03	86.10	<25	118.50	<10	66.99	
N67	845	7.09	18.4	24.09	16.48	43.98	8.93	130.40	<25	95.85	<10	55.02	
N69	526	7.37	19.8	10.93	7.75	13.30	7.23	60.98	<25	111.80	<10	<25	
N70	682	7.2	22.6	32.50	8.89	21.47	7.58	260.80	<25	62.35	<10	178.70	

Tablo 6.7'nin devamı													
N71	1005	7.26	20.2	44.77	65.16	174.95	8.25	68.34	<25	36.66	<10	<25	
N72	848	6.98	19.3	45.24	59.79	109.74	12.16	181.60	25.87	78.74	<10	221.50	
N73	858	7.1	19	95.46	50.00	58.61	7.28	74.01	<25	99.87	<10	<25	
N74	2130	7.45	21.5	90.73	<25	0.16	11.21	83.55	<25	57.60	<10	34.56	
N75	505	7.26	21.4	21.84	29.03	19.75	8.77	86.93	<25	54.88	<10	66.34	
N76	2180	7.97	20.8	278.02	<25	0.53	17.37	498.80	240.50	<25	<10	1614.00	
N79	869	7.2	19.7	34.91	46.38	142.88	7.02	94.97	<25	<25	<10	44.07	
N81	627	7.46	19	21.07	13.64	34.14	7.27	62.19	56.31	54.77	<10	86.33	
N84	683	7.65	17.5	16.41	33.77	29.40	11.28	94.63	<25	128.70	<10	39.20	
N86	710	7.26	18.7	35.37	8.34	39.40	7.45	74.50	<25	258.70	<10	<25	
N87	703	7.47	16.8	13.94	51.12	4.98	9.04	69.23	500.40	224.70	<10	50.49	

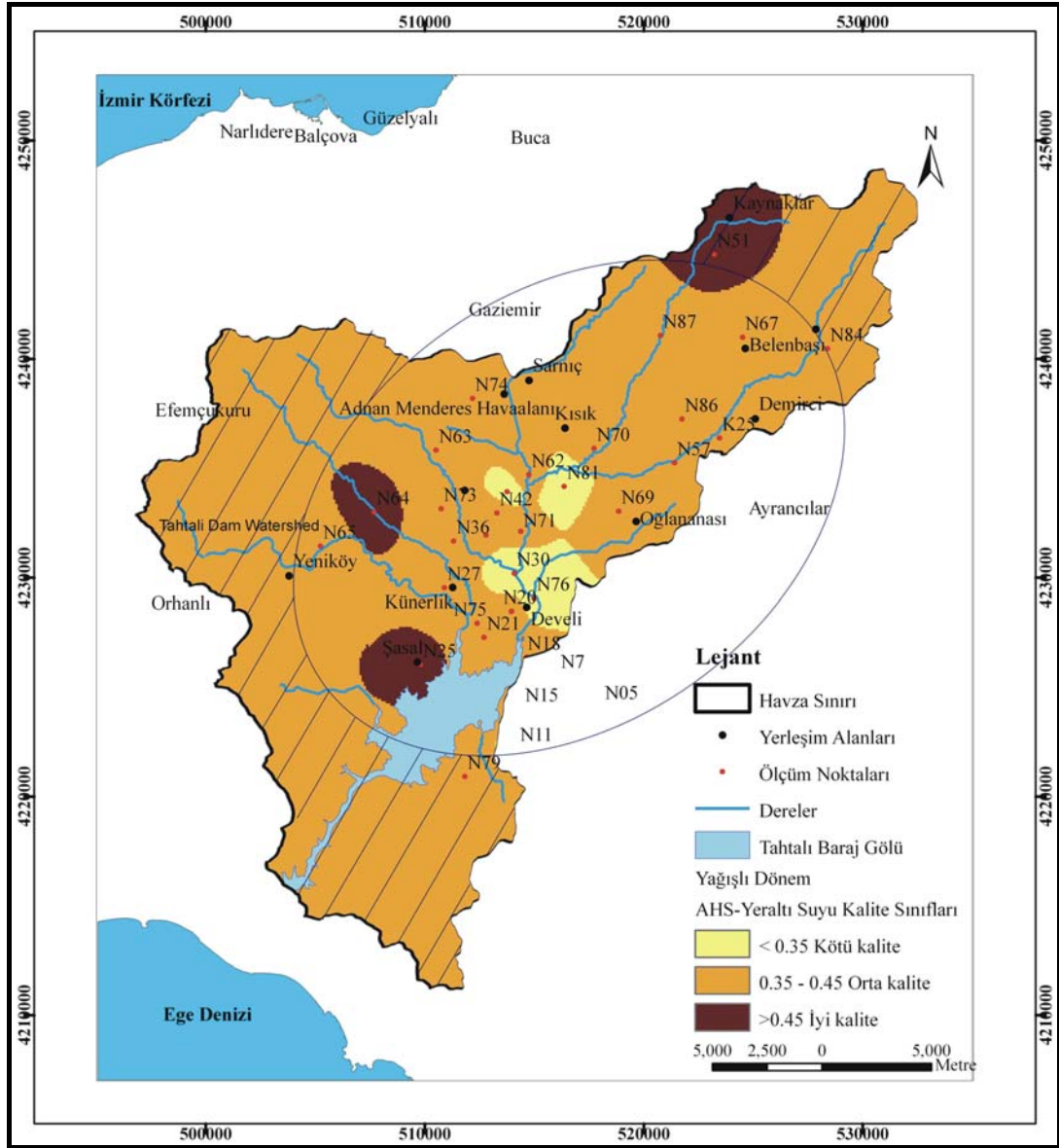
Tablo 6.8'in devamı																		
N69	0.326	0.604	0.604	0.604	0.583	0.604	0.326	0.604	0.604	0.326	0.604	0.604	0.462	0.326	0.326	0.604	0.604	0.447
N70	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.070	0.326	0.604	0.604	0.369
N71	0.326	0.604	0.604	0.604	0.267	0.070	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.326	0.326	0.604	0.604	0.372
N72	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.170	0.326	0.326	0.604	0.604	0.328
N73	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.326	0.326	0.604	0.604	0.389
N74	0.326	0.604	0.604	0.604	0.267	0.070	0.604	0.604	0.604	0.604	0.326	0.604	0.520	0.326	0.326	0.604	0.604	0.431
N75	0.326	0.604	0.604	0.604	0.583	0.604	0.604	0.604	0.604	0.326	0.604	0.604	0.462	0.326	0.326	0.604	0.604	0.447
N76	0.326	0.604	0.604	0.604	0.267	0.070	0.604	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.443	0.070	0.070	0.604	0.604	0.305
N79	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.326	0.326	0.604	0.604	0.389
N81	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.326	0.070	0.604	0.604	0.306
N84	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.247	0.326	0.326	0.604	0.604	0.363
N86	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.070	0.604	0.604	0.331	0.326	0.326	0.604	0.604	0.389
N87	0.326	0.604	0.604	0.604	0.419	0.326	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.326	0.070	0.604	0.604	0.390

Tablo 6.9 Tahtalı Baraj Havzası kurak dönem yeraltı suları kalite parametrelerine ait değerler

Örnek no	Fiziksel Parametreler			Kimyasal Parametreler				Ağır metaller				
	EC (µS/cm)	pH	T(°C)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	K (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)
K25	740	7.08	17.9	23.23	14.96	43.72	0.60	45.59	72.87	14.05	2.84	84.30
N05	846	6.99	20.1	180.18	150.34	16.13	5.02	1.63	7.88	47.54	3.85	40.55
N07	1810	7.09	20.5	43.06	13.43	69.27	1.15	11.05	7.24	830.70	-	60.87
N11	1826	7	22.5	37.56	24.07	61.73	2.53	6.58	0.20	42.99	-	82.84
N15	1032	7.1	19.2	380.81	133.26	51.50	5.78	381.60	76.91	275.30	2.32	1649
N18	1376	7.93	19.5	289.28	163.59	1.95	13.20	34.28	20.37	17.43	-	77.18
N19	535	7.2	20.6	50.10	85.62	110.90	3.41	-	12.90	163.90	-	28.80
N20	451	7.24	22.1	53.82	92.36	170.12	3.32	40.85	13.94	33.24	-	138.40
N21	608	7.46	21.4	28.95	38.30	122.25	6.50	22.31	22.52	19.19	-	63.33
N25	1154	7.94	21.1	24.45	15.50	3.17	6.43	10.45	5.98	7.14	-	76.23
N27	769	6.9	20.2	72.89	20.45	7.42	10.71	11.19	21.44	25.98	-	54.42
N30	622	7.17	23.2	56.23	122.57	17.99	20.75	268.20	598.30	14.81	1.77	209
N34	687	7.15	19.6	60.60	21.30	36.75	5.21	82.29	11.90	12.78	-	135.40
N36	1456	7.28	19.5	31.50	19.88	26.01	7.12	55.50	19.78	16.93	-	78.62
N42	795	7.09	18.6	33.29	57.31	88.23	1.73	873.40	1.74	56.44	59.00	1334.00
N51	760	7.11	19.1	34.62	10.38	0.12	1.13	21.38	-	20.70	-	461.90
N57	812	7.04	19.5	22.90	23.24	50.91	0.61	18.43	0.06	47.04	0.18	65.78
N62	682	7.02	19	42.53	53.97	56.45	1.51	52.17	18.00	9.88	-	70.33
N63	711	6.98	20.2	14.69	45.58	1.33	3.75	11.93	5.03	21.46	-	363.80
N64	1032	7.68	21.8	19.91	34.95	16.02	3.51	30.37	3.75	117.70	-	61.72
N65	445	7.29	19.9	47.13	48.87	0.91	4.86	24.44	9.82	21.79	-	118.90
N67	614	7.16	20.2	5.42	5.13	5.16	0.61	13.50	2.25	14.19	-	33.71
N69	737	7.2	20.5	15.94	4.24	24.25	0.69	12.30	6.80	11.81	-	27.70

Tablo 6.9'un devamı

N70	687	7.18	21.4	32.53	7.32	18.45	0.82	20.74	6.08	76.56	-	40.59
N71	800	7.27	20.1	31.96	23.96	61.90	4.36	28.25	131.10	30.84	-	56.01
N72	839	6.94	20.1	33.94	55.82	105.05	3.53	176.40	155.10	16.02	-	204.80
N73	879	7.92	19.7	86.05	49.40	88.61	0.83	21.99	1.92	7.78	-	34.70
N74	2300	7.28	21.4	257.16	532.50	0.23	4.71	49.24	6.88	24.54	-	67.80
N75	535	7.2	20.6	17.75	19.58	12.75	1.40	12.53	12.26	238.00	-	30.59
N76	1464	7.97	19.9	218.51	127.08	0.30	8.19	27.87	161.40	15.79	-	301.80
N79	850	7.19	20	31.06	38.18	116.24	0.92	25.49	-	8.55	-	40.19
N81	701	7.61	18.8	21.15	12.86	29.87	0.74	25.62	40.36	19.17	4.09	56.31
N86	710	7.11	19.7	28.37	6.10	27.12	0.70	19.50	0.06	264.10	-	32.72
N87	726	7.31	18.7	12.64	33.37	0.43	2.35	22.16	548.40	46.15	-	445.70

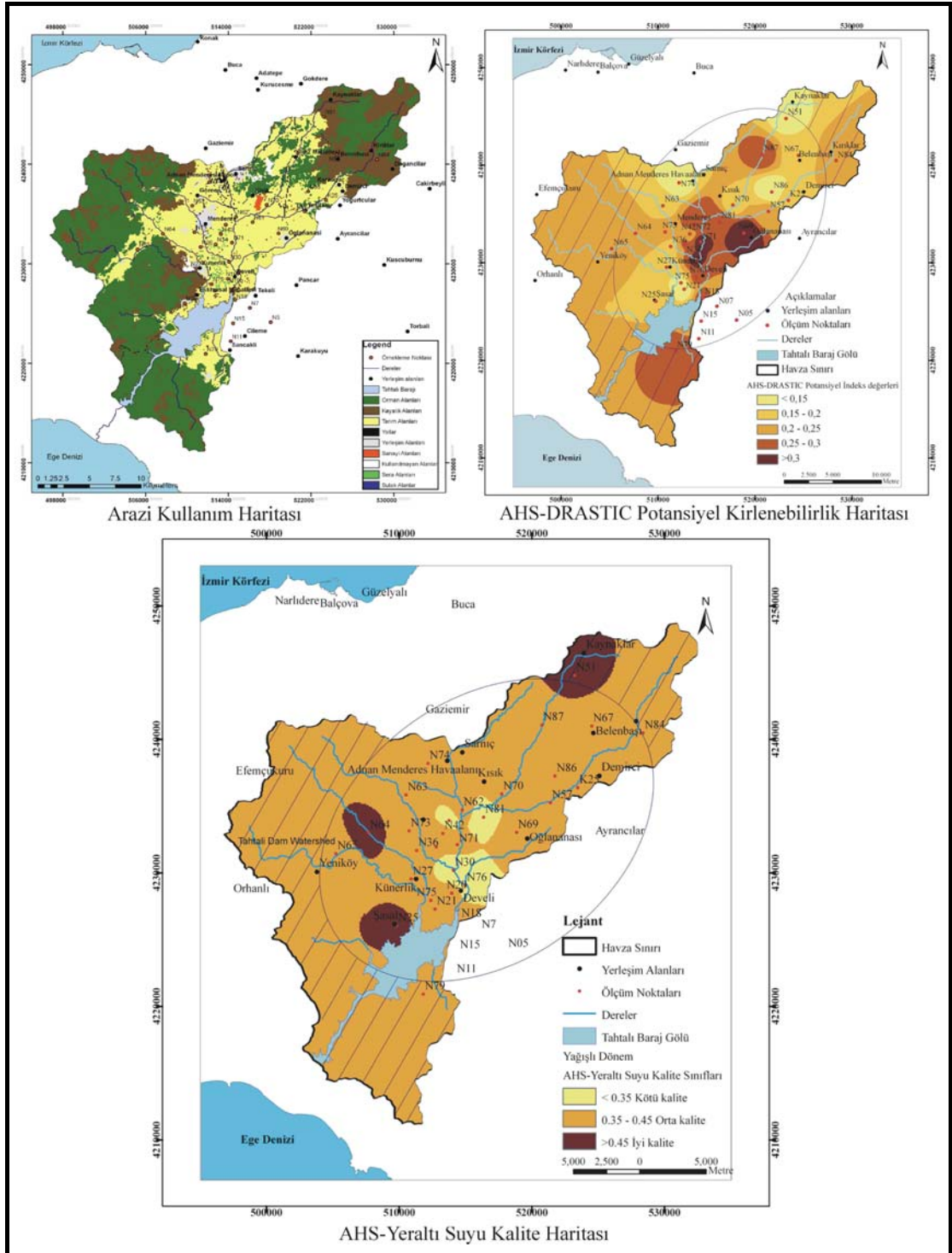


Şekil 6.2 Tahtalı Baraj Havzası yağışlı dönem AHS-yeraltı suyu kalite sınıfları tematik haritası (Tarlalı alan, veri yetersizliği nedeni ile güvenilirliği düşük bölgeleri göstermektedir.)

Kurak dönemde orta kalite suların etki alanlarını daraltarak seraların yaygın olduğu Develi, Künerlik, Menderes ve Menderes doğusunun sınırladığı alüvyonal alan içine çekildiği görülmektedir. Sarnıç kuzey doğusu ve Demirci civarı orta kalite suların bulunduğu diğer alanlardır. Havzanın geri kalan bölümü orta kalite sular sınıfında iken iyi kalite sular sınıfına dahil olmuştur. Tematik harita yorumlanırken örnekleme noktalarına yakın olan bölgelerin daha güvenilir olduğu unutulmamalıdır. Bu açıdan havzanın en doğu ve en güneyinde yer alan su sınıfı değerleri güvenilirliği veri azlığı nedeni ile daha zayıftır.

Eldeki veriler ışığında genel bir perspektiften bakıldığında, Yahtalı Baraj Havzası'nda yeraltı suyu kalitesinin, incelenen 2007 yılı içerisinde yıllık bazda belirli salınımlar göstermesine karşın, havza genelinde karşılaştırılan standartları sağlayacak nitelikte özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak kirleticilerin su ile taşındığı kabulü ile yağışlı dönem su kalitesi haritası, akifer kirlenebilirlik ve arazi kullanım haritası karşılaştırıldığında aralarında uyum bulunduğu görülmektedir (Şekil 6.4). Kirlenebilirliği yüksek olan ve yeraltı suyunun sığ olduğu alüvyon ile killi kireçtaşının olduğu bölgelerde yeraltı su kalitesinin düşük olduğu, arazi kullanımı açısından bu yerlerin yerleşim yerleri veya tarımsal aktivitelerin yaygın olduğu yerler olduğu görülmektedir.

Günümüzde yaşanan çevre sorunları su havzalarının planlanması, kirletici oluşturacak insan faaliyetlerine ait yer seçimi çalışmalarında, belirli standartlar taşıyan, sistematigi olan çalışmalardan yararlanmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu bakımdan kirlenebilirlik haritaları, su kalitesinin hali hazırdaki durumunun ortaya konmasında, uzun dönem sürdürülebilir su kalitesinin sağlanmasında, havza koruma ve planlamasında büyük yarar sağlayacak araçlardır. Bu tarz çalışmaların bilgisayar destekli programlar aracılığı ile yapılması kolaylık sağlamaktadır. Bu haritalar; katı atık depolama alanları, organize sanayi bölgeleri, yerleşim alanları, akifer koruma alanları seçimi için karar verici konumunda olanlar için pratik, anlaşılabilir bir veri tabanı oluşturmaktadır.



Şekil 6.4 AHS-Yeraltı suyu kalite haritası ile AHS-DRASTIC Potansiyel kirlenebilirlik haritası ve Arazi kullanım haritası arasındaki ilişki

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma İzmir İlinin güneybatısında yer alan ve İzmir İline %34 oranında içme suyu sağlayan Tahtalı Baraj Havzasının hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı suyu kirlenebilirliğinin araştırılması ve yeraltı suyu kirlenebilirlik haritası ile bütünleşik yeraltı suyu kalitesi arasındaki ilişkinin ortaya konulması için yapılmıştır. Çalışma alanında temel kayasını Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturmakta, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı bindirme fayı ile temel birimler üzerine gelmektedir. Çalışma alanında hakim olan Neojen yaşlı birimler ise açısız uyumsuzlukla Bornova Karmaşığını üstlemektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon tüm birimleri örtmektedir.

Yapılan hidrojeolojik çalışmalar Kuvaterner yaşlı alüvyonun, Killi kireçtaşlarının serbest akifer özelliğinde, konglomeralar yarı basınçlı akifer özelliğinde olduğunu göstermektedir. Neojene ait kırıntılı istif, kırık ve çatlak sistemlerin geliştiği bölümlerde su depolamaya elverişlidir. Neojen yaşlı volkanikler çatlaklı akifer niteliğindedir. Bornova Karmaşığı olarak adlanan birim içindeki allokton kireçtaşları karstik akifer niteliğindedir. Paleozoyik yaşlı mermerler kırık ve çatlak sistemleri, karstik özellikleri ile havzada akifer özelliği taşımaktadır.

Havzaya düşen yağış miktarı $375,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak bulunmuş, buharlaşma- terleme ile havzaya düşen yağışın % 45'lik bölümüne karşılık gelen $183,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun harcandığı % 39 oranına karşı gelen $162 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun yüzeysel akışa geçerek Tahtalı Baraj Havzası'nı beslediği, bölgedeki kuyulardan ise % 16 oranına karşılık gelen $64,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun çekildiği belirlenmiştir. Havzaya su girdisi ile havzadan su çıktısı arasındaki fark $-35 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür. Bu kuyulardan müsaade edilebilir değerlerden daha fazla çekim yapıldığını göstermektedir. Bunlara ek olarak, yağışlı ve kurak dönem statik seviye ölçümleri arasında ortalama 5,62 m'lik bir düşüm farkı saptanmıştır. Bu düşümün; havzanın alüvyon, Neojen kırıntılıları ve karbonatlarının bulunduğu 120 km^2 'lik alanı etkilediği düşünülürse $67,44 \times 10^6$

m³'lük çekim fazlasına karşılık gelmekte, hesaba katılan kuyulardaki fazla çekim ile uyum göstermektedir.

Çalışma alanında hidrojeolojik birimler, akifer potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Akifer potansiyeli sınıflamasında, önceki yazarlar tarafından verilen transmissibilite değer aralıkları kullanılmıştır. Çalışma alanındaki gözlemler, DSİ ve özel şahıslardan sağlanan kuyu verileri düzenlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonunda, 40 m kalınlık için alüvyon akiferin transmissibilite değeri 345,6 m²/gün konglomeralarda ortalama 60 m kalınlık için transmissibilite değeri 518,4 m²/gün olarak bulunmuştur. Neojen kireçtaşı - killi kireçtaşı ardalanmalı birimin hidrolik iletkenlik değeri 733 m²/gün olarak kaydedilmiştir. Mermerlerin akifer potansiyeli, permeabilite değeri ortalama 10⁻⁴ m/s, kalınlığı 30 m alınarak, 259,2 m²/gün bulunmuş, sınıflamada “orta” akifer potansiyeline dahil oldukları bulunmuştur. Bu veriler, killi kireçtaşı, alüvyon ve konglomeraların “orta” akifer potansiyeline sahip birimler olduğunu göstermektedir.

Yeraltı suyu dolaşım mekanizmasının belirlenmesi ve suların kökenini aydınlatmak için yapılan $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerlerine göre yeraltı suları meteorik kökenli ve kısa dolaşımli sulardır. İzotop sonuçlarından yararlanılarak bulunan ortalama beslenim yüksekliği 276 m'dir. Bu değer 100 m altı ve üstü 176–376 m yükseklikler etkin beslenim yüksekliği olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında her 100 m'lik kot artışına karşın $\delta^{18}\text{O}$ değeri ‰ 0,25 azalma göstermektedir. Çalışma alanı yeraltı sularına ait döteryum fazlası %11.20- %16.87 arasında değişmektedir. Çalışma alanının verilen aralıkta değişen yüksek döteryum fazlası değerleri denizel kökenli yağışların egemen olduğunu göstermektedir.

Yapılan hidrojeokimyasal çalışmalarda yeraltı sular Ca-Mg-HCO₃, Na-Ca-HCO₃, ve Ca-HCO₃ su tipindedir. Yapılan fasiyes haritasına göre Na-Ca-HCO₃ fasiyesindeki sular Yeniköy ve Çatalca formasyonlarının bulunduğu alana, Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindeki sular Paleozoyik mermer, Kretase allokton kçt ve alüvyonda yer almaktadır. Akifer litolojisinin su tipini kontrol ettiği görülmektedir.

Yeraltı suları sulama suyu kalitesi sınıflaması için yapılan Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramına göre yeraltı suları “çok iyi-iyi” ve “iyi-kullanılabilir” sulama suyu sınıflarında olup C2-S1 ve C3-S1 bölgesine düşmektedir. Tahtalı Baraj Havzası’ nın büyük bölümünün SAR değerinin kaliteli sular sınıfında olduğu, iyi ve orta SAR değerine sahip suların Tahtalı Baraj Gölü batısında olduğu görülmektedir.

Yeraltı suyu kirlenebilirlik haritası için kullanılan AHS-DRASTIC İndeks değerleri ArcGIS 9.2 programında 100×100 m grid boyutunda yapılandırılarak havzaya ait AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası elde edilmiştir. AHS-DRASTIC İndeks değerlerinin 0,109-0,340 değerleri arasında değiştiği saptanmış ve beş farklı sınıflandırma aralığı oluşturulmuştur. Elde edilen kirlenebilirlik haritasında potansiyel kirlenebilirliği en yüksek yerlerin havzanın alüvyonla kaplı bölümünde kurulu Oğlananası, Künerlik, Develi ile daha kuzeyde bulunan Yıldız mahallesi ile Tahtalı Baraj Gölü’nün güneyinde olduğu görülmektedir ve bu yerler yüksek indeks değerleri olan 0.200 - 0.300 ve > 0.300 değerlerine karşılık gelen indeks değerlerine sahiptir. En düşük kirlenebilirliğe sahip alanlar Görece, Kaynaklar, Karaağaç ve Eski Şaşal mahallesinin bulunduğu bölümdedir bu yerlerde indeks değeri <0.150 ve 0.150-0,200 aralığındadır. Çalışma alanında kuyu ve data azlığı nedeniyle kuzeybatı kesimler enterpolasyon güvenirliliği düşük olarak değerlendirilmiştir. Bu alanların orman alanlar olması, kirlletici açısından tehlike yaratmayan kesimlerdir.

Yapılan AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik haritası, nitratla kontrol edilmiştir. İki haritada benzerlik dikkat çekmektedir. Tarım ve yerleşim alanı olarak kullanılan düz kesimlerde nitrat konsantrasyonu da yükselmekte, 150 mg/L değerlerine kadar ulaşmaktadır. Oğlananası’nın yer aldığı bölgede ve Yıldız mahallesinde kirlenebilir alanlar arasında korelasyon olmamıştır bu da Oğlananası ve çevresinde devlet ve Dünya Bankası desteği ile yoğun olarak zeytin yetiştiriciliğine geçilmesi nedeniyle kuru tarım yapılması, dolayısı ile nitratlı gübre kullanımının kısıtlı olmasının nedeni ileler. Yıldız mahallesinde ise tarımsal aktivite suyun çok sınırlı olması nedeniyle çok azdır.

Çalışmada yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesinde çoklu kriter analizi yapmak amacıyla AHS yöntemi kullanılmıştır. Yağışlı dönem yeraltı sularının AHS entegre edilmiş indeks değeri 0,240-0,473 aralığında olup ortalama indeks değeri 0,385'dir. Kurak dönemi temsil eden AHS entegre edilerek bulunan nihai indeks değeri 0,241-0,602 arasında, ortalama indeks değeri 0,452 olup yağışlı döneme ait 0,385 olan ortalama değer üzerinde bir değere sahiptir. Yağışlı dönemdeki yeraltı suyu kalitesinde belirgin bir düşüş olmaktadır. Bu değerler yeraltı sularının yağışlı dönemde kirleticilerin su ile taşındığı yargısını ortaya koymaktadır. AHS- Su kalite indeks değerleri kullanılarak yağışlı ve kurak dönem indeks değer aralıkları gözetilerek oluşturulan kalite sınıflarına göre indeks değeri 0,35'den küçük olan sular kötü, 0,35-0,45 indeks değer aralığında olan sular orta, 0,45'den büyük olan sular iyi kalite sular olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen indeks değerleri yeraltı sularının mevsimsel izlenmesinde kolaylık sağlayacak bir tekniktir.

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 alanlarının ve kirlenebilir alanların belirlenmesi, yenilenebilir yeraltı suyu kaynakları açısından büyük önem taşımaktadır.

İçme ve sulama suyu sağlayan havzalarda kirlenebilirlik haritalarının önceden yapılması, kirlenme potansiyeli yüksek alanların belirlenmesine yardımcı olarak, kirlenme riskini azaltıcı önlemlerin alınmasına ve daha sağlıklı yeraltı suyunun sağlanmasına katkı verecektir.

Havzanın korunması açısından tarım alanlarının baraj havzası koruma alanları içinde sınırlı tutulması ve organik tarımın yaygınlaştırılması gerekmektedir. Kirlilik kontrolünde önem taşıyan endüstri bölgeleri, havzanın % 0,2'lik bölümünü kapsamakta havzanın kuzeyinde yoğunlaşmaktadır. Su kirliliği kontrol yönetmeliği yeraltı sularını da kapsayacak şekilde genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

- Acharyya, S. K., Chakraborty, P., Lahiri, S., Raymahashay, B.C., Guha, S., Bhowmik, A. (1999). As poisoning in the Ganges delta. *Nature*, 401, 545-545.
- Adalı, M. (2006). *Determination of chemical composition of precipitation in İzmir*, Dokuz Eylül Ün. Msc. Thesis.
- Akartuna, M. (1962). İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla bölgesi jeolojisi hakkında. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 59, 1-18.
- Albinet M, ve Margat J. (1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine Orleans, France. *Bull BRGM 2ème seri*, 4: 13-22.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. ve H. Petty, R., R. J. (1987). *A Standartized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*, U.S.EPA Report 600/2-85/018.
- Allison, G. B, ve Hughes, M. W. (1978). The use of environmental chloride and tritium to estimate total recharge to an unconfined aquifer. *Australian Journal of Soil Research* 16: 181-195.
- Al-Zabet, T. (2002). Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method; *Environmental Geology*, 43:203-208.
- Ayers, R. S., ve Westcot, DW (1985). *Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29*, Rev. 1, U. N. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Barış, N., Şimşek, C., Gündüz, O., Elçi, A. (2007). Cumaovası yüzeysel su kalitesinin analitik hiyerarşi süreci (AHS) ile değerlendirilmesi, *Çevre Mühendisliği Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim, 229-237.

- Barış, N., Şimşek, C. ve Erdoğan, B. (2008). Cumaovası (İzmir) yeraltı sularının kirlenebilirliğinin AHS-DRASTIC yöntemi ile değerlendirilmesi, *Yerbilimleri Dergisi*, Çukurova Üniversitesi yayını, 17.
- Bhattacharya, P., Chatterjee, D., ve Jacks, G. (1997). Occurrence of As contaminated groundwater in alluvial aquifers from delta plains, eastern India: options for safe drinking water supply. *Journal of Water Resources Development* 13, 79–92.
- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F., & Mazzuoli, R. (1972). Geochronology and Petrology of Recent Volcanics in the Eastern Aegean sea (West Anatolia and Leovos Island). *Bull. Volcano*, 36, 473-496.
- Bouwer, H. (1989). Estimating and enhancing groundwater recharge. In: Sharma, M. I. Groundwater recharge, Balkema, Rotterdam, Netherlands, *Hydrogeology journal*, 1-10. DOI 10.1007/s10040-001-01824.
- Boyacıoğlu, H., ve Boyacıoğlu, H., (2007). Water pollution sources assessment by multivariate statistical methods in the Tahtali Basin Turkey. *Environmental Geology*, DOI 10.1007/s00254-007-0815-6.
- Bozkurt, E., ve Park, R. G., (1997). Evolution of a mid-Tertiary extensional shear zone in the southern Menderes Massif, western Turkey. *Societe Geologique de France Bulletin*, 168, 3.14.
- Brunner, P., Eugster, M., Bauer, P., Kinzelbach, W., Makabo, P., Carlsson, L. (2002). Assessing the groundwater budget for water supply in an area of low groundwater recharge in northern Botswana, Balancing the Groundwater Budget *International Conference*, 12-17 Mayıs, Darwin, Avustralya.
- Brunner, P., Bauer, P., Eugster, M., ve Kinzelbach, W. (2004). Using remote sensing to regionalize local precipitation recharge rates obtained from the chloride method, *Journal of Hydrology*, 294, 241-250.

- Calmbach, L. (1997). *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42*, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3L3.
- Canik, B. (1998). *Hidrojeoloji. Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Carter A. D., Palmer R.C., ve Monkhouse R.A. (1987). Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agricultural practice, particularly with respect to nitrate. In: Duijvenbooden W van, Waageningh HG van (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information. *Environmental Geology*, 38. 333–342
- Civita, M., ve De Regibus, C. (1995). Sperimentazione di alcune metodologie per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi. *Q Geol Appl Pitagora, Bologna*, 3. 63–71. www.springerlink.com/index/b335768603uh5602.pdf.
- Civita M. (1994). Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria and practica (Aquifer vulnerability maps to pollution) *Q Geol Appl Pitagora*, Bologna. www.springerlink.com/index/UG5LT0MC1859QUGG.pdf.
- Clark, I.D., ve Fritz, P. (1979). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, 328.
- Coplen, T.B., ve Kendall, C. (2000). Stable isotope and oxygen isotope ratios for selected sites of the US Geological Survey's NASQAN and Benchmark surface-water networks: *US Geological Survey Open-File Report 00-160*, 409. <http://pubs.water.usgs.gov/ofr-00-160>.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters, *Science*, 133, 1702-1703.

- Çolak, M., Gemici, Ü. ve Tarcan, G. (2004). The effects of colemanites on the arsenic concentration of soil and groundwater in İğdeköy Emet, Kütahya, Turkey, *Water, Air and soil pollution*, 149, 127-143.
- Dai, F.C, Lee, C.F, ve Zhang, X.H. (2001). GIS-Based geo-environmental evaluation for urban land use planning; a case study. *Engineering Geology*, 61, 257-271.
- Das, D., Chatterjee, A., Mandal, B.K., Samanta, G., Chakraborty, D., Chanda, B., (1995). As in groundwater in six districts of West Bengal, India: the biggest As calamity in the world, part 2, As concentration in drinking water, hair, nails, urine, skin-scale and liver tissue (biopsy) of the affected people. *Analyst*, 120, 917-924.
- Demirkıran, Z., Çetiner, L., Şimşek, C., Gündüz, O., Öcal, G., (2006). Interactive three-dimensional modeling and characterization of the hydrogeological structure of Kemalpaşa. *30th Annual Fikret Kutman Geology Symposium*, 20-23 September, Konya .
- Demirkıran, O. (2002). *Ovaçayı Havzası akiferlerinin kirliliğe duyarlılık haritalama çalışması*, Yüksek lisans tezi Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- DİE. (2004). Devlet İstatistik İşleri Genel Müdürlüğü, Menderes ilçesi nüfus verileri. www.die.gov.tr
- DMİ. (2005). Devlet Meteoroloji İşleri, İzmir Bölge Müdürlüğü meteoroloji verileri.
- DMİ. (2006). Devlet Meteoroloji İşleri, İzmir Bölge Müdürlüğü meteoroloji verileri.
- Doerfliger N, ve Zwahlen F. (1997). EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment. In: Günay G, Jonshon AI (eds) *International*

symposium and field seminar on “karst waters and environmental impacts”.
Antalya, Turkey. Balkema, Rotterdam, pp 117–123

DSİ. (1987). Torbalı-Yeniköy Sulama Kooperatifi Yeraltı Suyu İşletme Tesisleri, Fizibilite raporu, İzmir.

DSİ. (1994). Menderes (İzmir) Oğlananası Köyü Sulama Kooperatifi Yeraltısuyu İşletme Tesisleri, Fizibilite raporu, İzmir.

DSİ. (1998). İzmir içme suyu projesi Tahtalı Barajı kesin proje aşaması mühendislik jeolojisi raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2. Bölge Müdürlüğü, İzmir.

DSİ. (1998). Menderes (İzmir) Değirmendere Köyü Sulama Kooperatifi Yeraltısuyu İşletme Tesisleri, Fizibilite raporu, İzmir.

DSİ. (2000). Menderes (İzmir) Bulgurca Sulama Kooperatifi Yeraltısuyu İşletme Tesisleri, Fizibilite raporu, İzmir.

EPA, (2003). Environmental Protection Agency Office of Water National Primary Drinking Water Standards. <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>

Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu’nun, İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 2/1, 1-20.

Erdoğan, B. (1990 a). İzmir-Ankara Zonu’nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*. C. 2/1, 1-20.

Erdoğan, B. (1990 b). İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağı’nın tektonik ilişkisi. *MTA Dergisi*, C. 110, 1-15.

- Erdoğan, B. ve Güngör, T. (1992). Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, c.4/1, 9-34.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1984). *Yeraltı suları jeolojisi*. (2. baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi matbaası.
- Eryurt, O. ve Sekin, Y., (2001). Manisa bölgesi yeraltı sularında mevsimsel değişiklikler, sertlik ve azotlu maddeler, *Çevre ve Jeoloji Sempozyumu*, 21-23 Mart, 187-193.
- ESRI. (1999). *Getting to know Arcview GIS* (3. ed.), California.
- ESRI, (2006). Environmental Systems Research Institute, from www.esri.com
- Expert Choice Software Tutorials (2000), Expert Choice Inc., Pittsburgh.
- Farid, A. T. M., Roy, K. C., Hossain, K. M., ve Sen, R. (2003). A study of arsenic contaminated irrigation water and its carried over effect on vegetable. In Ahmed, M. F., Ali, M. A., ve Adeel, Z. (eds.). *Fate of arsenic in the environment, Dhaka, Bangladesh*, 113-120. www.springerlink.com/index/u781734821673410.pdf.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*, (4. ed.), Prentice Hall Inc, Upper Saddle River.
- Foster, S. S. D. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Duijvenbooden W van, Waageninsh HG van (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, *Proceedings and Information*. 38, 69–86.
- Fritz, P. (1981). River water, In: Gat, J.R., Gonfiantini, R. (Eds.), Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. Technical Report

- Series no. 210. *International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria*, pp. 196–198.
- Gat, J.R., (1981). Isotopic Fractination, In *Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in Water Cycle, Technical Report Series 210*.
- Gat J.R. (1987). Variability (in time) of the isotopic composition of precipitation. Consequences regarding the isotopic composition of hydrological systems. *International Symposium on the use of isotope techniques in water resources development, Vienna, Austria*.
- Genç, S. C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., ve Yılmaz, Y. (2001). The Çubukludağ graben, Karaburun peninsula: it's tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 14, 45-55.
- 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, 115 pp.
- Gogu, R. C., ve Dassargues, A. (2000). Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, 39 (6), 549-559.
- Goldschmidt, V. M. (1958). *Geochemistry*. London: Oxford University.London.
- Goossens, M., ve Van Damme, M. (1987) Vulnerability mapping in Flanders, Belgium, Proceedings at "Vulnerability of soil and groundwater to pollutants". In: Duijvenbooden W van, Waegeningh GH van (eds) TNO Committee on Hydrological Research, the Hague, *Proceedings and Information* 38: 355–360.

- Harrington, G. H., Cook, P. G., ve Herczeg, A. (2002). Spatial and Temporal Variability of Ground Water Recharge in Central Australia: A Tracer Approach *Ground Water*, 40 (5), 518-528.
- Hastings, S. (1996). A strategy evaluation model for management, *Management Decision*, 34 (1), 25-34.
- Hatwa, T. (1989). *Iron and manganase in groundwater Finland. Occurance in glacifluvial aquifers and removal by biofiltration*. (4th ed.). Helsinki: Water and Enviroment Research Institute.
- Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., ve Troesch, M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *Journal of Geological Society*, 152, 639-654.
- IAEA, (2002). Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation (period 1960-1997). *Technical Report Series No.331*, International Atomic Agency, Vienna.
- İleri, B., Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C., Alpaslan, M. N. (2007). *Çevre Mühendisliği Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim, 880-888.
- Insaf, S. Babiker, Mohamed A.A., Tetsuya, H., Kikuo K. (2005). *Science of the Total Environment*. 345. 127– 140
- İTASHY (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*, Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- İZSU, (2007). İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesisi ve Su Alma Yapısı Aylık Faaliyet Kayıtları.

- İnci, U. (1991). Torbalı (İzmir) kuzeyindeki Miyosen tortul istifinin fasiyes ve çökelme ortamları, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 112, 13-26.
- Johnston, C. J. (1983). Estimation of groundwater recharge from the distribution of chloride in deeply weathered profiles from south-west Western Australia. In: Papers of the International Conference on Groundwater and Man. Australian Government Publishing Services, *Aust. Water Resour. Counc. Conf. Series No. 8*, 143-152.
- Johnston, C.J. (1987). Distribution of chloride in relation to subsurface hydrology. *Journal of Hydrology* 94, 67-88.
- Karadaş, D., Elçi, A., Şimşek, C., Gündüz, O., Kazanasmaz, E. (2007). İzmir Tahtalı Havzasında mevsimsel yeraltı suyu düşümünün matematiksel modelleme ile belirlenmesi, *Çevre Mühendisliği Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim, 41-49.
- Kaya, O. (1979). Ortadoğu Ege çöküntüsünün Neojen stratigrafisi ve tektoniği. *TJK Bülteni*, 7. 22, 35-58.
- Kaya, O. (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletters on Stratigraphy*, 10, 164-191.
- Kayabalı, K. (2003). *Yeraltı suyu*. Ankara. Gazi kitabevi.
- Kıral, S. (1996). *Şaşal kaynağının hidrojeolojisi*. Bitirme tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü 1/25000 ölçekli Menderes ilçesi toprak haritası.

- Kim Y.J & 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.
- Kurttaş, T. (2000). Çevresel İzotop Hidrolojisi, *Jeoteknik ve Yeraltı Suları Semineri*, TC. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 18-22 Eylül 2000, Gümüşhanev, İzmir, 135-144.
- Kurttaş, T., (2002). Karışım Sularında Kökensel Katkıların Belirlenmesi. *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu Bildiri Kitabı*. 297-312, Adana.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan N (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1:83-105.
- Lee, S. (2003). Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in Southern Korea, *Environmental Geology*, 44:654-664.
- Leone, A., Ripa, M. N., Uricchio, V., Dea' k, J., Vargay, Z.(2007). Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary's main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models. *Journal of Environmental Management* , doi:10.1016/j.jenvman.2007.08.009.
- Lin, Y.B., Lin, Y.P., Liu, C.W., Tan, Y.C. (2006). Mapping of spatial multi-scale sources of arsenic variation in groundwater on Chia-Nan floodplain of Taiwan. *Science of the Total Environment* 370, 168–181.
- Marfia, A.M., Krishnamurthy, R.V., Atekwana, E.A., Panton, W.F., (2004). Isotopic and geochemical evolution of ground and surface waters in a karst dominated geological setting: a case study from Belize, Central America. *Appl. Geol.* (19) 937-946.

- McNeely, R. N., Neimans, W. P. ve Dwyer, L. (1979). *Water quality sourcebook: A guide to water quality parameters*. Ottawa: Inland Waters Directorate. Water Quality Branch.
- Mook, W.G., (2001). Environmental isotopes in the hydrological cycle. IHPV, *Tech Doc in Hydrology*, vol. 39 (1). Paris UNESCO.
- Mukherjee, A., Fryar, A.E. (2008). Deeper groundwater chemistry and geochemical modeling of the arsenic affected western Bengal Basin, West Bengal, India, *Applied Geochemistry*, 23, 863–893.
- MTA, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Tahtalı Havzasını içine alan 1/25 000 ölçekli jeoloji haritaları.
- Mutlu, Z., B. (2004). *Efemçukuru (İzmir) çevresinin hidrojeolojisi*. Yüksek lisans tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Napolitano, P., ve Fabbri, A. G. (1996) Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS, Hydro GIS '96. In: *Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, 235: 559–566.
- Nath, B., Stueben, D., Basu Mallik, S., Chatterjee, D., Charlet, L. (2008b). Mobility of arsenic in West Bengal aquifers conducting low and high groundwater arsenic. Part I: Comparative hydrochemical and hydrogeological characteristics. *Applied Geochemistry* 23, 977–995.
- Needleman, H. L., ve Landrigan, L. G. (1989). The health effects of low level exposure to lead. *Ann. Rev. Public Health*. 2, 277-298.
- Ning S. K. ve Chang N.B. (2001). Multi-objective, decision-based assessment of a water quality monitoring network in a river system , *J. Environ. Monitoring*; 4, 121–126.

- Özgenç, İ. (1978). Cumaovası (İzmir) Asit Volkanitlerinde Saptanan İki Ekstrüzyon Aşaması Arasındaki Görelî Yaş İlişkisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21, 31-34.
- Özer, S., ve Sözbilir, H. (2003). Presence and tectonic significance of Cretaceous rudist species in the so-called Permo-Carboniferous Göktepe Formation, central Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 92, 397-404.
- Pal, T., Mukherjee, P. K., Sengupta, S., Bhattacharya, A. K., Shome, S. (2002a). Arsenic pollution in groundwater of West Bengal, India-an insight into the problem by sub-surface sediment analysis. *Gondwana Res.* 5, 501-502.
- Pal, T., Mukherjee, P. K., ve Sengupta, S. (2002b). Nature of arsenic pollutants in groundwater of Bengal Basin-a case study from Baruipur area, West Bengal, India. *Gondwana Res.* 82, 554-561.
- Parkhurst, D.L., ve Appelo, C.A.J., (1999). *User's guide to PHREEQC (version 2)-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-259.
- Piper, A. M. (1944). *A graphic procedure in geochemical interpretation of water Analyses*. American Geophysical Union Transactions. 25, 914-923.
- Polat, R., Elçi, A., Şimşek, C., Gündüz, O. (2007). İzmir-Nif Dağı çevresindeki yeraltı suyu nitrat kirliliği boyutunun mevsimsel değerlendirilmesi, *Çevre Mühendisliği Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim, 482-489.

- Polizzotto, M.L., Harvey, C.F., Sutton, S.R., Fendorf, S., (2005). Processes conducive to the release and transport of arsenic into aquifers of Bangladesh. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 18819–18823.
- Rankama, K., ve Sahama, T. H. G. (1964). *Geochemistry*. The University of Chicago pres. Chicago and London.
- Sarptaş, H. ve Alpaslan, N. (2007). Katı atık depolama alanları yer seçimi için bir konumsal karar destek sistemi, *Çevre Mühendisliği Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim, 257-266.
- Satty, L. T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Comp., U.S.A.
- Satty, L. T. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the Analytical Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 74, 426-447.
- 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.
- Scanlon, R. B., Healy, R. W., Cook, & P. G. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrology Journal*, 10, 18-39.
- Sekin, Y., Eryurt, A. ve Bağdatlıoğlu, N. (2001). Manisa bölgesinde yeraltı sularında mevsimsel değişiklikler iz elementler. *Yeraltı suları ve Çevre Sempozyumu*. 21-23 Mart 2001, İzmir. 255-262.
- Smith, A.H., Lingas, E.O., ve Rahman, M. (2000). Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 78, 1093–1103.

Stone, W.J. (1992). Paleohydrologic implications of some deep soilwater chloride profiles, Murray Basin, *South Australia. Journal of Hydrology* 132, 201-223.

Şahinci, A. (1991). *Doğal suların jeokimyası*. İzmir: Reform Matbaası.

Şen, Z. (1995). *Applied hydrogeology for scientists and engineerings*. Lewis Publishers, New York.

Şimşek, C., ve Filiz, Ş. (2001). Torbalı Çevresinin Hidrojeolojik İncelemesi, *Çevre ve Jeoloji Sempozyumu*, 21-24 Mart, İzmir.

Şimşek, C. (2002). *Torbalı Ovası'nın katı atık depolama alanı yer seçimine yönelik hidrojeoloji incelemesi*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Şimşek, C., ve Gündüz, O. (2006). IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality, *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-006-9312-8.

Şimşek, C., Kınal, C., ve Gündüz, O. (2006). A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping, *Environmental Geology*, 49, 620-633.

Şimşek, C. (2007). The GIS-integrated surficial aquifer potential mapping and its importance for aquifer protection, Kucuk Menderes Basin/ West Turkey. State Hydraulic Works, *International Congress on River Basin Management*, 22-24 March 2007, Antalya, Turkey, 78-94.

Şimşek, C. ve Barış, N. (2007). Analitik hiyerarşi süreci kullanılarak akifer kirlenebilirliğinin değerlendirilmesi, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Uluslar arası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi yayını*, 24-25, 47-57.

- Şimşek, C., Elçi, A., ve Gündüz, O. (2008). *Nif Dağı karstik kaynaklarının hidrojeolojik yapısının belirlenmesi*, Tübitak Projesi.
- Talwar, S., Journeay, M. (2005). Water Resources in the Okanagan, *Natural Resources Canada, Smart Growth on the Ground*, Oliver BC.
- Terzaghi, K. ve, Peck, G. M. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*, (3), U.S.A. [www. decagon.com](http://www.decagon.com)
- Thirumalaivasan, D., ve Karmegam, M. (2001). Aquifer Vulnerability Assessment Using Analytic Hierarchy Process and GIS for Upper Palar Watershed, 22nd *Asian Conference on Remote Sensing*, 5-9 November 2001, Singapore.
- Thirumalaivasan, D. Karmegam, M., ve Venugopal K. (2003). Software for Specific Aquifer Vulnerability Assessment Using DRASTIC model and GIS, *Environmental Modelling and Software*, 18, 645-656.
- Thorntwaite, W.C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev.* 38:55–94.
- Todd, D. K., ve Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology* (3rd. ed.), New York: Willey, 656 p.
- TSE 266 (2005). Türk Standartları Enstitüsü İçme Suyu Standartları TS266, Ankara.
- Blessing, A. (2005). *Purdue Pesticide programs*, Purdue University Cooperative Extension Service West Lafayette, www.btny.purdue.edu/PPP-35.watersupply.jpg

- US. EPA (Environmental Protection Agency). *DRASTIC: a standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings*, Ada, Oklahoma WA/EPA Series; 1985. 163.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H. (2005a). Batı Anadolu' daki transtansiyonel ortama ait yapısal veriler: Kuvaterner yaşlı Cumaovası havzasından bir örnek. 58. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri*, 52-53, Ankara.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H. (2005b). First record of Quaternary pull-apart basin in western Anatolia: the Cumaovası basin, İzmir-Turkey, *International Earth Sciences Colloquium on the Aegen Regions*, 4-7 October, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.
- Uzel, B. (2007). *Cumaovası (Menderes) Havzasının Kuvaterner jeolojisi ve aktif tektoniği*. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Üren, A. (1998). Çekirdeksiz kuru üzümelerde iz elementler, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, *Gıda Mühendisliği Bölümü Dergisi*, İzmir.
- Van Stempvoort, D., Evert, L., ve Wassenaar, L. (1993). Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Can Wat Res J*, 18, 25-37.
- Vural, N. (1984). Toksikoloji, Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi. Yayın no, 56.
- Wang, S.W., Liu, C.W., ve Jang, C.S. (2007). Factors responsible for high arsenic concentrations in two groundwater catchments in Taiwan. *Applied Geochemistry* 22, 460-476.

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

Wilcox, L. V. (1948). The quality of water for irrigation use, *U.S. Department of Agriculture Circular No. 962*, Washington, District of Columbia, 40 p.

Wind, Y. ve Saaty, T. (1980). Marketing applications of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 26;641-658.

Yavuz, A. B. (1997). *Torbalı yöresi mermerlerin mühendislik özellikleri*, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.

Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Güner, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Koracık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. (2000), When did the Western Anatolia grabens begin to develop: Eds. Bozkurt, E., Winchester, S. A. and Piper, J. D. A., *Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area, Geological Soc. London, Special Pub.*, 173, 353-384.

Zagana, E., Obeidat, M., Kuells, Ch., Udluft, P. (2006). Chloride, Hydrochemical and Isotope Methods of Groundwater Recharge Estimation in Eastern Mediterranean Areas: A Case Study in Jordan, DOI 2112-2123. 10.1002/hyp.6390.

EKLER

Ek: 1 Akifer ortam verileri (DSİ)

No	X	Y	PAFTA	FORMASYON	AHS değerleri
L1	527222	4263315	K18-c4	Kireçtaşı- marn	0,151
L2	514580	4248873	L18-b4	alüvyon-neojen(killi kçt)	0,151
L3	529250	4240100	L18-b4	Alüvyon	0,423
L4	523975	4236900	L18-b4	Alüvyon	0,423
L5	522100	4237475	L18-b4	Çkt, kmt, klt	0,151
L6	517045	4247820	L18-b4	Kçt, kil	0,091
L7	528375	4240625	L18-b4	Alüvyon-Filiş	0,091
L8	513950	4248675	L18-a2	Çakıllı kil - kireçtaşı-marn	0,250
L9	519750	4230750	L18-d2	Konglomera	0,091
L10	511500	4224750	L18-d2	Konglomera	0,091
L12	518775	4218925	L18-d3	Alüvyon-Filiş	0,091
L13	513800	4218125	L18-d3	Kil-kum-çakıl	0,423
L14	518375	4212250	L18-d3	Çatlaklı kireçtaşı	0,151
L15	513300	4217550	L18-d3	Kil-kum-çakıl	0,423
L16	514250	4217625	L18-d3	Kil-kum-çakıl	0,423
L17	513450	4217400	L18-d3	Alüvyon	0,423
L18	513500	4217450	L18-d3	Alüvyon	0,423
L19	518375	4222950	L18-d2	Konglomera	0,151
L20	516250	4221350	L18-d2	Konglomera	0,091
L21	517900	4223300	L18-d2	Alüvyon-kireçtaşı	0,151
L22	519050	4221100	L18-d2	Nebati toprak-aluvyon	0,423
L23	512650	4219975	L18-d2	Moloz-alüvyon	0,423
L24	512750	4213100	L18-d2	Alüvyon-kireçtaşı	0,151
L25	511700	4219925	L18-d2	Killi çakıl	0,151
L26	513530	4220635	L18-d2	Alüvyon-kireçtaşı	0,151
L28	512500	4228700	L18-d2	Kil-kum-çakıl	0,151
L29	513900	4228600	L18-d2	killi kirectasi	0,151
L30	511842	4242247	L18-a3	Konglomera	0,151
L31	511221	4235883	L18-a4	aluvyon(killi kumluçakıl)	0,091
L32	514650	4231250	L18-d2	Aluvyon(Çakıl-kum-silt)	0,151
L33	524075	4246100	L18-b4	Filiş	0,032
L34	523500	4246300	L18-b4	Filiş	0,032
L35	521679	4244831	L18-b4	Killi kireçtaşı	0,091
L36	521375	4244850	L18-a3	Aluvyon-neojen	0,091
L37	514975	4222925	L18-a4	Konglomera	0,151
L38	516936	4247841	L18-b4	Çakıllı kum-kil	0,091
L39	527759	4242149	L18-b4	Kireçtaşı- marn	0,091
L40	514975	4235075	L18-a3	Alüvyon	0,423
L41	518150	4236550	L18-a3	Kiltaşı-konglomera	0,091
L42	516450	4209350	L18-d3	Alüvyon	0,423
L43	516600	4209725	L18-d3	Nebati toprak-kirectasi-kil	0,151
L44	512075	4229550	L18-d2	Alüvyon-blok çakıl	0,423
L45	508925	4233875	L18-a4	Klt-kumlu çkt	0,151
L46	516950	4214690	L18-d3	kumlu klt	0,091
L47	517170	4216025	L18-d3	kumlu klt	0,091
L48	515900	4214500	L18-d3	kumlu klt	0,091

Ek 1'in devamı					
L49	514250	4216900	L18-d3	Yamaç molozu-Filiş	0,091
L50	514300	4216700	L18-d3	Nebati toprak-alüvyon	0,423
L51	516786	4215968	L18-d3	Filiş	0,091
L52	515750	4215550	L18-d3	Filiş	0,091
L53	514725	4216360	L18-d3	Filiş	0,091
L54	514875	4216300	L18-d3	Filiş	0,091
L55	515675	4215475	L18-d3	Filiş	0,091
L57	519750	4215375	L18-d3	Filiş	0,091
L59	517500	4211150	L18-d3	Alüvyon	0,423
L61	513525	4231736	L18-d2	Alüvyon	0,423
L63	511225	4230950	L18-d1	Kumtaşı-şeyl	0,032
L64	509500	4233400	L18-d1	Konglomera	0,151
L67	515208	4234846	L18-a3	Alüvyon	0,423
L68	511093	4231092	L18-d2	Neojen-volkanik tüf	0,091
L69	518250	4225325	L18-d2	Kil-kum-kçt	0,091
L70	519299	4233647	L18-d2	neojen-klt-konglomera	0,091
L71	519000	4232850	L18-d2	neojen(kiltasi-konglomera)	0,091
L73	519325	4233325	L18-d2	alüvyon-yamac molozu	0,423
L74	518700	4232950	L18-d2	neojen-yamaç molozu	0,423
L79	520825	4227475	L18-d2	neojen-killi kçt	0,151
L80	521250	4228100	L18-d2	kum-kil-çakıl	0,151
L81	522200	4224475	L18-c1	kil	0,091
L82	512000	4226300	L18-c2	Konglomera	0,091
L85	503875	4215825	L18-d4	Şist	0,423
L86	503625	4215500	L18-d4	Alüvyon	0,423
L88	518250	4225325	L18-d2	kil-kum-kçt	0,091
L89	515500	4225625	L18-d2	Alüvyon	0,423
L90	518625	4224125	L18-d2	Kçt, kil	0,151
L91	532025	4226423	L18-d3	Alüvyon	0,423
L92	524050	4237100	L-18-b4	killi çkt	0,091
L93	524630	4236350	L18-b4	Konglomera	0,091
L96	514750	4216375	L18-d2	kil-çakıl	0,151
L98	515225	4231500	L18-d1	kil ağırlıklı kum	0,151
L99	517025	4216100	L18-d3	Alüvyon	0,423
L100	515825	4216975	L18-d3	Konglomera	0,091
L106	519050	4221100	L18-d2	Alüvyon	0,423

Ek: 2 Vadoz ortam verileri (DSİ)

No	X	Y	Pafta	VADOZ ZON	AHP indeks
L1	527222	4263315	K18-c4	Alüvyon	0,444
L3	529250	4240100	L18-b4	Alüvyon	0,444
L4	523975	4236900	L18-b4	Alüvyon	0,444
L5	522100	4237475	L18-b4	Alüvyon	0,444
L7	528375	4240625	L18-b4	Alüvyon	0,444
L12	518775	4218925	L18-d3	Alüvyon, fliş	0,139
L15	513300	4217550	L18-d3	Alüvyon	0,444
L25	511700	4219925	L18-d2	Alüvyon	0,444
L26	513530	4220635	L18-d2	Alüvyon	0,444
L30	511842	4242247	L18-a3	Çakıl, kumlu çakıl	0,139
L31	511221	4235883	L18-a4	Alüvyon	0,444
L32	514650	4231250	L18-d2	Alüvyon	0,444
L33	524075	4246100	L18-b4	Toprak, fliş	0,087
L35	521679	4244831	L18-b4	Kıltaşı, killi kireçtaşı	0,087
L36	521375	4244850	L18-a3	Alüvyon	0,444
L38	516936	4247841	L18-b4	Çatlaklı kireçtaşı	0,139
L45	508925	4233875	L18-a4	Kıltaşı, kumlu çakıltaşı	0,087
L46	516950	4214690	L18-d3	Alüvyon	0,444
L47	517170	4216025	L18-d3	Alüvyon	0,444
L48	515900	4214500	L18-d3	Fliş	0,087
L50	514300	4216700	L18-d3	Alüvyon	0,444
L51	516786	4215968	L18-d3	Fliş	0,087
L52	515750	4215550	L18-d3	Alüvyon	0,444
L55	515675	4215475	L18-d3	Alüvyon	
L64	509500	4233400	L18-d1	Konglomera	0,087
L67	515208	4234846	L18-a3	Alüvyon	0,444
L68	511093	4231092	L18-d2	Volkanik tüf, kum, çakıl, kil	0,087
L76	518497	4232620	L18-d2	Alüvyon	0,444
L88	518250	4225325	L18-d2	Kil, kum	0,139
L92	524050	4237100	L18-b4	Az killi çakıl, kırmızı kil, çakıl	0,139
L99	517025	4216100	L18-d3	Alüvyon	0,444
L100	515825	4216975	L18-d3	Kum, kil, çakıl ardalması	0,139
L101	512250	4218375	L18-d3	Çatlaklı kireçtaşı	0,139
L102	532025	4226423	L18-c1	Toprak, çakıllı kum	0,139
L103	519325	4233325	L18-d1	Yamaç molozu, alüvyon	0,444
L104	519750	4215375	L18-d3	Mermer arakatlı şist	0,050
L106	519050	4221100	L18-d2	Alüvyon	0,444
L107	514250	4217625	L18-d3	Alüvyon	0,444
L108	514725	4216360	L18-d3	Fliş	0,050
L109	514875	4216300	L18-d3	Fliş	0,050
L111	519725	4230200	L18-d2	Az çakıllı kil, killi kireçtaşı	0,050
L112	519975	4230900	L18-d2	Az çakıllı az kumlu kil	0,050
L113	515500	4224750	L18-d2	Çakıllı kum	0,139
L114	519325	4233325	L18-d2	Alüvyon, yamaç molozu	0,444
L115	513300	4217550	L18-d3	Alüvyon	0,444
L116	516450	4209350	L18-d3	Alüvyon	0,444

Ek: 3 Yeraltı su derinliği verileri (der. derinlik; tab. tablası)

Örnek no	X	Y	Z	Su der.yağışlı dönem (m)	Su tab.yağışlı dönem (m)	Su der. Kurak dönem (m)	Su tab.kurak dönem (m)
K25	523465	4236389	149	55,05	93,84	50,64	98,36
N05	518110	4224127	50	0	50	-	-
N07	516097	4225548	58	39,8	18,2	24,98	33,02
N11	514234	4222207	70	0	70	-	-
N15	514467	4224023	55	9,87	45,13	-	-
N18	514666	4226385	66	0	66	-	-
N19	513962	4228481	71	5,97	65,03	7,74	63,26
N20	513962	4228481	71	0	71	7,74	63,26
N21	512716	4227294	78	10,6	67,4	18,43	59,57
N25	509807	4226045	93	2,05	90,95	3,03	89,97
N27	510902	4229536	92	11,15	80,85	13,74	78,26
N30	514089	4230198	84	4,94	79,06	32,78	51,22
N34	512792	4231945	91	6,79	84,21	20,06	70,94
N36	511326	4231667	99	11,19	87,81	15,75	83,25
N42	513289	4232957	100	7,19	92,81	-	-
N51	523234	4244791	265	9,37	255,63	26,44	238,56
N57	521407	4235258	171	12,42	158,58	8,44	162,56
N62	514755	4234711	100	3,28	96,72	6,21	93,79
N63	510522	4235833	142	10,8	131,2	11,33	130,67
N64	507675	4233002	147	2,79	144,21	5,87	141,13
N65	505242	4231435	176	2,04	173,96	2,8	173,2
N67	524514	4240998	362	9	353	22,51	339,49
N69	518859	4233037	129	0	129	-	-
N70	517731	4235913	130	9,18	120,82	18,59	111,41
N71	514386	4232121	91	3,42	87,58	7,62	83,38
N72	513757	4233929	105	8,34	96,66	11,56	93,44
N73	510753	4233153	109	3,68	105,32	7,19	101,81
N74	512179	4238200	125	26,61	98,39	42,84	82,16
N75	512391	4227942	83	18,79	64,21	-	-
N76	514985	4229060	71	8,51	62,49	-	-
N79	511832	4220924	79	3,62	75,38	22,86	56,14
N81	516368	4234174	107	0	107	0	107
N84	528392	4240473	336	4,9	331,1	5,41	330,59
N86	521756	4237257	199	36,28	162,72	5,8	193,2
N87	520763	4241086	183	4,56	178,44	-	-

Ek: 4 Hidrolik iletkenlik verileri

Kuyu no	X	Y	PAFTA	K (m/gün)
S1	517045	4247820	L18-b4	4,6
S2	528375	4240625	L18-b4	23,8
S3	519750	4230750	L18-d2	5,5
S4	511500	4224750	L18-d2	0,1
S5	511842	4242247	L18-a3	343,6
S6	511221	4235883	L18-a4	53,0
S7	524075	4246100	L18-b4	70,3
S8	521375	4244850	L18-a3	98,9
S9	518150	4236550	L18-a3	7,1
S10	516950	4214690	L18-d3	515,4
S11	514250	4216900	L18-d3	28,0
S12	509500	4233400	L18-d1	176,7
S13	518250	4225325	L18-d2	294,5
S14	519299	4233647	L18-d2	17,9
S15	519000	4232850	L18-d2	6,0
S16	519325	4233325	L18-d2	242,5
S17	518497	4232620	L18-d2	304,4
S18	521258	4227980	L18-d2	0,0
S19	521925	4225075	L18-d2	70,8
S20	520825	4227475	L18-d2	0,0
S21	515225	4231500	L18-d1	494,6
39486	522265	4224284	L18-c1	22,3
39487	521950	4224160	L18-c1	22,1
39488	521775	4224000	L18-d2	25,6
39489-A	522080	4224750	L18-c1	12,5
39490	521975	4224850	L18-c1	82,8
39491	521925	4225075	L18-c1	70,8
39492	521600	4223850	L18-d2	29,3
39493	521425	4223975	L18-d2	30,6
39494	521325	4224125	L18-d2	37,6
39495	521097	4224312	L18-d2	2,8
43018	530375	4217075	L18-c4	19,3
43339	519750	4230750	L18-d2	5,5
48231	519519	4233493	L18-d2	51,0
48232	519785	4233617	L18-d2	52,9
48233	519299	4233647	L18-d2	17,9
48234	519056	4233646	L18-a3	4,7
26887	522300	4234875	L18-b4	287,3
31482	521258	4227980	L18-d2	0,0
36407	517125	4218875	L18-d3	6,4
37149	517750	4218600	L18-d3	21,4
37335	503875	4215825	L18-d4	230,9
41953	516700	4219300	L18-d3	8,2
41954	517150	4219125	L18-d3	8,4
41955	517300	4219050	L18-d3	5,7
54133	515500	4224750	L18-d2	0,1

Ek: 5 Yeraltı suyu fasiyesleri ve SAR değerleri

Örnek no	X	Y	SAR	Sulama sınıfı	Su Fasiyesi
K25	523465	4236389	0,6	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N05	518110	4224127	1,71	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N07	516097	4225548	0,77	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N11	514234	4222207	0,51	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N15	514467	4224023	1,52	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N18	514666	4226385	0,47	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N19	513962	4228481	0,57	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N20	513962	4228481	0,64	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N21	512716	4227294	3,95	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N25	509807	4226045	2,31	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N27	510902	4229536	3,28	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N30	514089	4230198	3,45	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N34	512792	4231945	0,9	Kaliteli su	Ca-HCO ₃
N36	511326	4231667	2,33	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N42	513289	4232957	0,63	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N51	523234	4244791	0,6	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N57	521407	4235258	0,5	Kaliteli su	Ca-HCO ₃
N62	514755	4234711	0,79	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N63	510522	4235833	0,35	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N64	507675	4233002	0,44	Kaliteli su	Ca-HCO ₃
N65	505242	4231435	1,97	Kaliteli su	Na-Ca-HCO ₃
N67	524514	4240998	0,4	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N69	518859	4233037	0,29	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N70	517731	4235913	0,4	Kaliteli su	Na-Ca-HCO ₃
N71	514386	4232121	0,62	Kaliteli su	Ca-Na-HCO ₃
N72	513757	4233929	0,53	Kaliteli su	Ca-HCO ₃
N73	510753	4233153	0,84	Kaliteli su	Ca-HCO ₃
N74	512179	4238200	0	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N75	512391	4227942	1,55	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N76	514985	4229060	0	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N79	511832	4220924	0,43	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N81	516368	4234174	0,33	Kaliteli su	Na-Ca-HCO ₃
N84	528392	4240473	0,36	Kaliteli su	Ca-Mg-HCO ₃
N86	521756	4237257	0,38	Kaliteli su	Na-Ca-HCO ₃
N87	520763	4241086	0,35	Kaliteli su	Ca-HCO ₃

Ek.6 Yeraltı sularının karşılaştırıldığı standartlar

Parametre	Birim	Türk Standartları TSE 266 (2005)	ABD Çevre Koruma Ajansı EPA (2003)	Dünya Sağlık Örgütü WHO (2004)
Sıcaklık	°C	25	-	-
pH	-	6.5-9.2	6.5-8.5	6.5-8.5
EC	µS/cm	2500	-	-
K ⁺	mg/L	12	-	-
Ca ⁺²	mg/L	200	-	-
Mg ⁺²	mg/L	50	-	-
Na ⁺	mg/L	175	-	200
SAR	-	-	-	-
Cl ⁻	mg/L	250	250	250
NO ₂ ⁻	mg/L	0.5	-	-
NO ₃ ⁻	mg/L	50	44.3	50
SO ₄ ⁻²	mg/L	250	250	250
HCO ₃ ⁻	mg/L	-	-	-
Al	µg/L	200	200	200
As	µg/L	10	10	10
Cd	µg/L	5	5	3
Cr	µg/L	50	100	50
Cu	µg/L	2000	1300	2000
Fe	µg/L	200	300	200
Mn	µg/L	50	50	400
Pb	µg/L	50	15	10
Sb	µg/L	10	6	20
Zn	µg/L	5000	5000	5000