

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÖKE OVASI VE BAFA GÖLÜ ÇEVRESİNİN
HİDROJEOLojİK İNCELENMESİ: JEOTERMAL
POTANSİYELİ, TOPRAK VE SU KİRLİLİĞİ

Anıl KÜÇÜKSÜMBÜL

Ekim, 2018

İZMİR

SÖKE OVASI VE BAFA GÖLÜ ÇEVRESİNİN HİDROJEOLojİK İNCELENMESİ: JEOTERMAL POTANSİYELİ, TOPRAK VE SU KİRLİLİĞİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı**

Anıl KÜÇÜKSÜMBÜL

**Ekim, 2018
İZMİR**

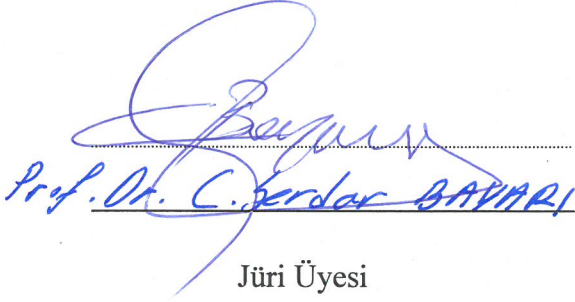
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ANIL KÜÇÜKSÜMBÜL, tarafından PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN yönetiminde hazırlanan “SÖKE OVASI VE BAFA GÖLÜ ÇEVRESİNİN HİDROJEOLojİK İNCELENMESİ: JEOTERMAL POTANSİYELİ, TOPRAK VE SU KİRLİLİĞİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



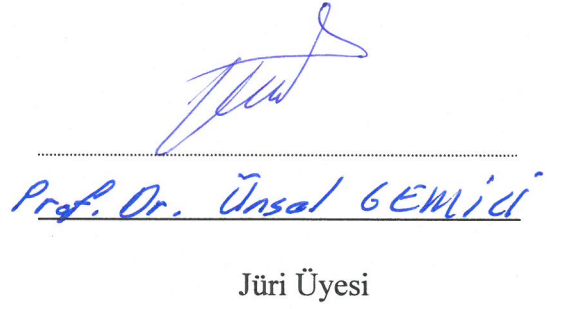
Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici



Prof. Dr. C. Serdar BAYAR

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi 2017.KB.FEN.014 numaralı projeden sağlanan ödenek yardımıyla gerçekleştirilebilmiştir. Bilime olan desteğin artması dileğiyle...

ODTÜ Merkez Laboratuvarından Uzm. Dr. Selin Süer'e, Hacettepe Su Kimyası Laboratuvarından Prof. Dr. Serdar Bayarı, Prof. Dr. Nur Özyurt ve Uzm. Dr. Füsün Muslu'ya, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarından Uzm. Dr. Hilal Kılıç'a analiz sürecindeki yardım ve öğretme çabalarından dolayı minnettarım.

Tez yazım sürecinde önerileriyle yol gösteren; alçak gönüllülüğü ve içtenliğini örnek aldığım danışman hocam Prof. Dr. Gültekin Tarcan'a, program bilgilerini aktaran ve her konuda yardımcı olmaya çalışan Arş. Gör. Toygar Akar'a, motive eden konuşmaları ve desteği nedeniyle Arş. Gör. Zeynep Büçkün'e, fikir alışverişinde bulunup kaynak paylaşan Arş. Gör. Ökmen Sümer'e, laboratuvar çalışmalarında önerilerde bulunan Yrd. Doç. Dr. Murat Tokçaer'e, arazi çalışmalarında yardımı dokunan Fulden Kaplan ve yağmur çamur demeden eşlik eden Abdulhafız Sayyed'e, çalışmalarda içten gelen yardımlarından dolayı Volkan Fakoğlu ve Sibel Köroğlu'na, selamı çok görmeyip güleryüzünü eksik etmeyen Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü çalışanlarının hepsine,

Eğitim hayatım boyunca bugünlere gelmemi sağlayan her daim gönülden destek olan anneciğime, maddi katkıda bulunmakta hiç tereddüt etmeyen babama, güleryüzlü kardeşime ve her bunaldığımda yüzümü güldürüp strestli zamanlarımda yanımda olmaya çalışan yol arkadaşım Gizem Özbay'a teşekkürlerimi sunarım.

Anıl KÜÇÜKSÜMBÜL

SÖKE OVASI VE BAFA GÖLÜ ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİK İNCELENMESİ: JEOTERMAL POTANSİYELİ, TOPRAK VE SU KİRLİLİĞİ

ÖZ

Bu çalışma, Büyük Menderes Grabeni'nin batısında yer alan Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesini, jeotermal potansiyelinin belirlenmesini ve havzadaki mevcut yüzey-yeraltı suları ile toprakların inorganik kirliliğinin araştırılmasını kapsamaktadır.

İnceleme alanının temelinde Menderes Masifi'ne ait kayaçlar yer almaktadır. Prekambriyen'den Eosen'e kadar değişik yaşlar veren gnays, şist, mermer, rekristalize kireçtaşı türü kayaçlardan oluşan bu birimler Neojen yaşlı karasal tortullar tarafından üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise tüm birimleri uyumsuz olarak örter. Havzada yer alan alüvyonlar, Neojen gölsel karbonatlar ve mermerler akifer oluşturan birimlerdir ve birçok kaynak ile kuyudan yeraltı suyu üretimi bulunmaktadır. Arazi çalışması kapsamında, yüzey ve yeraltı suları ile sıcak ve mineralli suların sayımları yapılarak hidrojeolojik harita oluşturulmuştur. Alüvyon ovanın kuzey ve güney sınırları boyunca Menderes Masifi'ne ait mermerlerden gelen ılık, tuzlu, karstik sular bulunmaktadır. Analiz amaçlı yedisi sıcak, toplam yirmi sekiz yeraltı suyu (kaynak, kuyu) ile on iki adet yüzey suyu (deniz, göl, akarsu) olmak üzere toplamda kırk adet su noktası çalışılmıştır.

Kimyasal ve izotopik analizler değerlendirilerek alandaki egemen hidrojeokimyasal süreçler ve çözünmüş iyonlar ile jeotermal sistem özellikleri ve deniz suyu girişi arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kavramsal hidrojeolojik ve jeokimyasal modeller geliştirilip kirlilik oluşumu irdelenmiştir.

Jeotermal akışkanda yüzde yetmiştenden fazla oranda deniz suyu girişi belirlenmiştir. Deniz suyu girişi denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Akköy Fayı ile denetlenmektedir. İçme sularında sınır değer üzerinde potasyum, kalsiyum,

magnezyum, klorür, sülfat, bor, arsenik, demir, mangan, alüminyum, selenyum, nikel, kurşun, uranyum, selenyum belirlenmiştir. Toprak örneklerinde kirlilik indeksi hesaplanmıştır. Büyük Menderes Nehri ile sulanan alanlarda kirlenme tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Söke Ovası, Bafa Gölü, yeraltı suları, deniz suyu girişimi, jeotermal potansiyel, su ve toprak kirlenmesi



HYDROGEOLOGICAL STUDY OF SÖKE PLAIN AND LAKE BAFA SURROUNDINGS: GEOTHERMAL POTENTIAL, SOIL AND WATER CONTAMINATION

ABSTRACT

This study includes hydrogeological and hydrogeochemical studies of Söke Plain and Lake Bafa environs in the western part of the Büyük Menderes Graben, determination of geothermal potential, and investigation of the present inorganic contaminations for surface and groundwaters and soils in the basin.

The rocks belonging to the Menderes Massif form the basis of the geological structure in the study area. These rocks comprising metagranite, schist, marble, recrystallized limestone type rocks with different ages from Precambrian to Eocene, are overlain with an unconformity by Neogene terrestrial sediments. Quaternary alluvium discordantly covers all the units. Alluvium, Neogene lacustrine carbonates and marbles occur as aquifers producing groundwaters from many wells and springs. Within the scope of field work, surface and groundwaters and hot and mineral waters were marked and hydrogeological map was prepared. Along the northern and southern border of the alluvial plain, there are low-temperature saline karstic waters discharged from the marbles belonging to the Menderes Massif. In total, forty water samples were collected for chemical and isotopic analysis: twenty-eight were groundwater (spring, well), seven of them were hot water, and twelve were surface water (sea, lake, stream).

By evaluating the chemical and isotopic analysis; the relations between the dominant hydrogeochemical processes and dissolved ions in the field, geothermal system properties and seawater intrusion have determined. Conceptual hydrogeological and geochemical models have developed and contamination processes were investigated.

More than seventy percent seawater intrusion to the geothermal waters have been determined. The seawater intrusion is controlled by the Akköy Fault from the sea to

Bafa Lake. Potassium, calcium, magnesium, chloride, sulphate, boron, arsenic, iron, manganese, aluminum, selenium, nickel, lead, uranium, selenium were determined above the limit of the value in drinking water. The pollution index of the soil samples were calculated. Contamination was detected in the irrigated areas by Büyük Menderes River.

Keywords: Söke Plain, Lake Bafa, groundwater, seawater intrusion, geothermal potential, water and soil contamination



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı	2
1.2 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri	2
1.3 Çalışmanın Konu ve Kapsamı	3
1.4 Kaynakça Taraması	4
1.5 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri	12
1.5.1 Ofis Çalışmaları	12
1.5.2 Arazi Çalışmaları	15
1.5.3 Laboratuvar Çalışmaları.....	17
1.5.3.1 Klorür Analizi	18
1.5.3.2 Karbonat-Bikarbonat Analizi	18
1.5.3.3 Sülfat Analizi	19
1.5.3.4 Katyon Analizi	21
1.5.3.5 Element Analizi.....	21
1.5.3.6 Oksijen ve Hidrojen İzotop Analizi	21
1.5.3.7 Toprak Analizi	21

BÖLÜM İKİ - JEOLojİ..... 24

2.1 Stratigrafi.....	24
2.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri	24
2.1.2 Karasal Kırınılar.....	25
2.1.3 Gölsel Karbonat	26

2.1.4 Alüvyon Yelpazesi	26
2.1.5 Alüvyon.....	26
2.1.6 Plaj - Kumul	27
2.2 Yapısal Jeoloji	27
BÖLÜM ÜÇ - HİDROLOJİ.....	28
3.1 Su Noktaları.....	28
3.2 Drenaj Ağı	30
3.3 Su Bütçesi.....	31
3.4 İzotop Hidrolojisi	35
BÖLÜM DÖRT - HİDROJEOLJİ	44
4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	48
4.2 Mermer Akiferi Fiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi.....	50
4.2.1 Cooper ve Jacob (1946) yöntemi yaklaşımıyla K, T, S değerlerinin hesaplanması.....	54
4.2.2 Theis (1935) yöntemi yaklaşımıyla K, T, S değerlerinin hesaplanması	55
4.3 Mermer Akiferi Geri Basım (Reenjeksiyon) Uygunluğu.....	56
4.3.1 Üretim İndeksi (Prodüktivite İndeksi)	57
4.3.2 Enjektivite İndeksi (EI)	58
BÖLÜM BEŞ - HİDROJEOKİMYA	60
5.1 Söke Havzası Sularının Fiziksel Niteliği.....	66
5.2 Söke Havzası Sularının Kimyasal Niteliği	66
5.2.1 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram’a Göre Su Sınıflaması.....	72
5.2.2 Piper Diyagramına Göre Suların Sınıflaması.....	76
5.2.3 Durov Diyagramına Göre Suların Sınıflaması.....	80
5.2.4 Gibbs Diyagramı’na Göre Suların Sınıflandırılması	82
5.3 Su Kalitesi	84
5.3.1 İçme Suyuna Uygunluk.....	84
5.3.1.1 Gnays Akiferi	92
5.3.1.2 Menderes Masifi Mermer Akiferi	93

5.3.1.3 Gölsel Karbonat Akiferi	95
5.3.1.4 Alüvyon Akiferi	96
5.3.2 Sulama Suyuna Uygunluk.....	101
5.3.2.1 Suların Wilcox Diyagramı Aracılığıyla Değerlendirilmesi	101
5.3.2.2 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı Yorumlaması.....	104
5.3.2.3 Magnezyum Tehlikesi (MH).....	109
5.3.2.4 Geçirgenlik İndeksi (PI).....	110
5.3.3 Bafa Gölü Kalitesi ve Yüzey – Yeraltı Suları İlişkisi	114
5.4 Deniz Suyu Girişimi	126
BÖLÜM ALTI - JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI	137
6.1 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulaması.....	137
6.2 Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları	139
6.2.1 Niteliksel Kimyasal Jeotermometre Değerlendirmesi	140
6.2.2 Niceliksel Kimyasal Jeotermometre Değerlendirmesi.....	141
6.2.2.1 Katyon Jeotermometre Uygulamaları	142
6.2.2.2 Silis Jeotermometre Uygulamaları	144
6.2.2.3 Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi.....	147
BÖLÜM YEDİ - TOPRAK JEOKİMYASI	151
7.1 PI (Pollution İndeks) Sınıflaması	153
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇ VE ÖNERİLER	157
KAYNAKLAR	165

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2 Büyük Menderes Havzası ve çalışma alanı yer bulduru	3
Şekil 1.3 Büyük Menderes Deltası'nın jeomorfolojik haritası.....	5
Şekil 1.4 Ege Bölgesi genişlemeli fayların Büyük Menderes Grabeni haritası	5
Şekil 1.5 Büyük Menderes deltasını paleocoğrafik evrimi	8
Şekil 1.6 Büyük Menderes Nehri'nin ve deniz kıyı çizgisinin tarihsel dönemler boyunca değişimi.....	9
Şekil 1.7 Söke Ovası fayları ve havza oluşumu zaman sınırları	11
Şekil 1.8 Literatürde örnekleme yapılan tüm su noktaları birleştirilmiş harita.....	13
Şekil 1.9 Avenza Map Android uygulaması cep telefonu görüntüsü	14
Şekil 1.10 Arazi çalışması Google Haritalar uygulaması ekran görüntüsü	14
Şekil 1.11 Gps Test Android uygulaması ekran görüntüsü.....	16
Şekil 1.12 Arazi çalışması sırasında bikarbonat titrasyon deneyi.....	16
Şekil 1.13 (a) Klorür analizi renk dönümü başlangıç rengi	18
Şekil 1.14 Karbonat analizi renk dönümü sonrası suyun son görüntüsü	19
Şekil 1.15 (a) Sulara HCl ve BaCl ₂ eklenmesi (b) krozelerin tartılması (c) suların süzülme işlemi (d) 1 saat kadar süren yakılma işlemi)	20
Şekil 2.1 Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinin jeoloji haritası	23
Şekil 3.1 Örnekleme yapılan su noktaları	29
Şekil 3.2 Çalışma alanı drenaj ağı haritası	31
Şekil 3.3 Söke ilçesi yağış-buharlaşma veri setinin göre yorumlanması	34
Şekil 3.4 İzotop oranından suların kökeninin yorumlanmasını sağlayan diyagram ..	38
Şekil 3.5 Yıllık yağıştaki ortalama $\delta^{18}\text{O}$ 'ın küresel dağılımı	39
Şekil 3.6 Yıllık yağıştaki ortalama δD değerlerinin küresel dağılımı.....	40
Şekil 3.7 Suların $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ grafiği	41
Şekil 3.8 Soğuk yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafiği	41
Şekil 3.9 Başlıca hidrojen kaynaklarının $\delta^2\text{H}$ içeriği ve suların $\delta^2\text{H}$ sonuçları.....	43
Şekil 4.1 Jeoloji haritası ve örnekleme noktaları	46

Şekil 4.2 Jeotermal kökenli sulardan CO ₂ uzaklaştırmak amacıyla kullanılan su toplama havuzu	51
Şekil 4.3 Kuyu testi yapılan tesisin uydu görüntüsü ve kuyu yerleri.....	51
Şekil 4.4 (a) E-3 pompaj yapılan kuyu ve loğu (b) E-4 gözlem kuyusu ve loğu	53
Şekil 4.5 Sadece E-3’de pompaj yapılıyorken E-4 gözlem kuyusunda su seviye düşüm – zaman grafiği.....	54
Şekil 5.1 Yeraltı sularının Schoeller (Yarı Logaritmik) Diyagramı ile gösterimi	73
Şekil 5.2 Yüzey suların Schoeller (Yarı Logaritmik) Diyagramı ile gösterimi	74
Şekil 5.3 Balık üretim tesisi SK-38 kodlu atık su bekletme havuzu.....	75
Şekil 5.4 Piper Diyagramı sınıflamasını gösteren şekil	76
Şekil 5.5 Yeraltı sularının Piper Diyagramı’nda gösterimi	78
Şekil 5.6 Yüzey sularının Piper Diyagramı’nda gösterimi	79
Şekil 5.7 Suların Durov Diyagramı’nda gösterimi	80
Şekil 5.8 Suların Gibbs Diyagramı’nda gösterimi.....	83
Şekil 5.9 Su kaynakları ve etkileşim ağını gösteren kavramsal model.....	85
Şekil 5.10 Noktasal ve alansal kirleticileri gösteren model	86
Şekil 5.11 Elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde arasındaki bağıntı.....	91
Şekil 5.12 (a) Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan SK-31 kuyusu ve yüzeylenen SK-30 yeraltı suyu kaynağı (b)	96
Şekil 5.13 Aydın ili Maden Haritası	99
Şekil 5.14 Alüvyon akiferinde uranyum-mangan ilişkisini gösteren grafik	100
Şekil 5.15 Alüvyon akiferinde uranyum-potasyum ilişkisini gösteren grafik	100
Şekil 5.16 Suların Wilcox Diyagramı’nda gösterimi	102
Şekil 5.17 Yüzey Sularının Wilcox Diyagramı’nda gösterimi	103
Şekil 5.18 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı’ndan gösterimi	106
Şekil 5.19 Yüzey sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı’nda gösterimi	107
Şekil 5.20 Suların geçirgenlik indeksi (PI) değerine göre sınıflandırılması	111
Şekil 5.21 Bafa Gölü üzerindeki yapılar	114
Şekil 5.22 (a) Bafa Gölü, Dalyan Kanalı, Büyük Menderes Nehri ilişkisini gösteren fotoğraf b) Dalyan Kanalı, Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri ilişkisini gösteren uydu görüntüsü	116
Şekil 5.23 Bafa Gölü ve ilişkili yüzey - yeraltı sularının bor bolluk karşılaştırması.....	121

Şekil 5.24 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey ve yeraltı sularının arsenik, lityum, mangan, selenyum, bakır, çinko bolluk karşılaştırması	121
Şekil 5.25 Bafa Gölü ve ilişkili yüzey-yeraltı sularının baryum karşılaştırması	122
Şekil 5.26 Bafa Gölü çevresi ve örnekleme noktaları	122
Şekil 5.27 Bafa Gölü çevresi nitrit bollukları	125
Şekil 5.28 Toplam çözünmüş madde ile sodyum ve klorür ilişkisi	127
Şekil 5.29 Deniz suyu karışım yüzdesi ile SAR arasındaki bağıntı	130
Şekil 5.30 Söke Ovası aşırı çekim sonucu deniz suyu girişimi kavramsal modeli ..	131
Şekil 5.31 Söke Ovası faylarla denetlenen deniz suyu girişim modeli	133
Şekil 6.1 Jeotermal kökenli yeraltı sularının Giggenbach Üçgen Diyagramı'nda gösterimi	139
Şekil 6.2 SK-1 kaynağı sıcaklık - mineral denge diyagramı	148
Şekil 6.3 SK-32 kaynağı sıcaklık - mineral denge diyagramı	148
Şekil 6.4 SK-36 kuyusu sıcaklık - mineral denge diyagramı	149
Şekil 7.1 Söke Ovası toprak örnekleme yapılan noktalar	152
Şekil 7.2 Söke Ovası kirlilik dağılım haritası	155

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinin kolon kesiti	24
Tablo 3.1 Söke İlçesi 1940-2017 yıllarını kapsayan karşılaştırmalı su bütçesi	33
Tablo 3.2 Suların izotop oranı.....	37
Tablo 4.1 Suların nokta tipi, akifer – su noktası karşılığı, sıcaklık, Eİ, pH değerleri	45
Tablo 4.2 Kayaç birimlerinin tahmini kalınlıkları ve hidrojeolojik özellikleri.....	49
Tablo 4.3 E-3 pompajı esnasında E-4 gözlem kuyusu zaman-düşüm tablosu.....	53
Tablo 4.4 Cooper-Jacob ve Theis yöntemleriyle bulunan parametre değerleri	56
Tablo 4.5 E-4 kuyusu çekim ve sabitlendikten sonraki düşüm değerleri	57
Tablo 4.6 E-4 kuyusu geri basım miktarı ve yükselimin zamanla değişimi).....	58
Tablo 5.1 Yüzey – yeraltı sularının nokta tipi, koordinatları, akifer – su noktası ve arazi ölçüm parametreleri.....	62
Tablo 5.2 Suların majör iyon analiz sonuçları	63
Tablo 5.3 Suların iz element analiz sonuçları	64
Tablo 5.4 Suların nokta tipi, akiferi, hata yüzdesi ve fasiyes tipi	68
Tablo 5.5 Suların sınıflaması	71
Tablo 5.6 Suların fiziksel parametreleri ve majör iyon analiz sonuçları	88
Tablo 5.7 Suların iz element analiz sonuçları	89
Tablo 5.8 Söke Ovası'nda içme amaçlı tüketilen su noktaları, akiferi ve fiziksel parametre değerleri.....	92
Tablo 5.9 Suların sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), magnezyum tehlikesi (MH), sodyum yüzdesi (%NA), geçirgenlik indesi (PI) değerleri	113
Tablo 5.10 Bafa Gölü civarında balık üretimi yapan tesislerin üretim kapasitesi, kuyu sayısı ve derinliği, toplam yeraltı suyu çekimi ile atık su anlık değerlerini içeren tablo	117
Tablo 5.11 Su kimyasına uyarlanmış periyodik tablo.....	119
Tablo 5.12 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey - yeraltı sularının fiziksel parametreleri ve kimyasal analizleri.....	119
Tablo 5.13 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey - yeraltı sularının iz element analizleri	119
Tablo 5.14 Bafa Gölü ve alışverişte bulunduğu yüzey - yeraltı sularının EC, tuzlu su girişimi değerleri	120

Tablo 5.15 Bafa Gölü çevresinin analiz sonuçları	123
Tablo 5.16 Suların nokta tipi, akifer-su noktası, deniz suyu karışım yüzdesi, fasiyes tipi.....	129
Tablo 6.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı için kullanılan değişkenlerin sonuçları ..	138
Tablo 6.2 Sıcak suların silis, bor, arsenik, lityum, rubidyum, sezyum içerikleri.....	140
Tablo 6.3 Çalışma kapsamında uygulanan katyon jeotermometrelerinin türü, kullanım aralığı, formülü, birimi ve kaynağı.....	143
Tablo 6.4 Yeraltı sularına uygulanan katyon jeotermometre sonuçları	144
Tablo 6.5 Jeotermal kökenli sulara uygulanan silis jeotermometre uygulamasının türü, kullanım aralığı ve kaynağı	145
Tablo 6.6 Jeotermal kökenli sulara uygulanan silis jeotermometre sonuçları	146
Tablo 6.7 Su-kayaç ilişkisi kısmen dengelenmiş SK-1, SK-32 kaynakları ve SK-36 kuyusunun Silis-katyon jeotermometre uygulaması en değerleri	146
Tablo 7.1 Toprak örneklerin Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Cr, Hg bollukları ve PI değerleri.....	154

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

İnceleme alanı, Türkiye Ege Bölgesi Büyük Menderes Havzasının batı kısmında kalan yaklaşık 700 km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Yer bulduru haritası

Büyük Menderes Havzası; ünlü tarihçi Herodot (M.Ö 484 – M.Ö. 425) tarafından ‘Uygurluklar Vadisi’ olarak tanımlanmıştır, kendine has ekosistemiyle insanlık tarihi boyunca önemini korumuştur. Tahıl dışı tarımın yaygınlığı ve yüksek verimi nedeniyle önemli ticaret merkezlerinden birisidir. Havza, parayı bulan Lidyalılara ev sahipliği yapmıştır. İlkçağlarda, gemicilik ticaretinin gelişmesiyle havzada yetişen ürünler Ege limanlarından dünyaya yayılmıştır. Bu özelliği nedeniyle Osmanlı ekonomisinde de özel yeri olan havza; incir meyve üretiminin yarısından fazlasının (3,5 milyon incir ağacı) dışında pamuk, zeytin, üzüm, kestane, meyan kökü gibi ürünlerin üretilebildiği niteliğe sahiptir. Aşağı havzada yer alan çalışma alanı Söke Ovası ise yoğun olarak pamuk üretiminin yapıldığı bölgedir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Hedefleri

Bu tez çalışması kapsamında Söke Ovası ile Bafa Gölü çevresi su-toprak jeokimyası açısından incelenerek, jeolojik yapıya bağlı olarak gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin tespit edilip yüzey-yeraltı suyu ve toprak inorganik kirlilik nedenlerinin belirlenmesi ve çözüm önerisi üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların kimyasal-izotopik analizlerin yorumlanarak deniz suyu girişi, jeotermal potansiyelin açığa çıkartılması; kökeninin, hazne sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

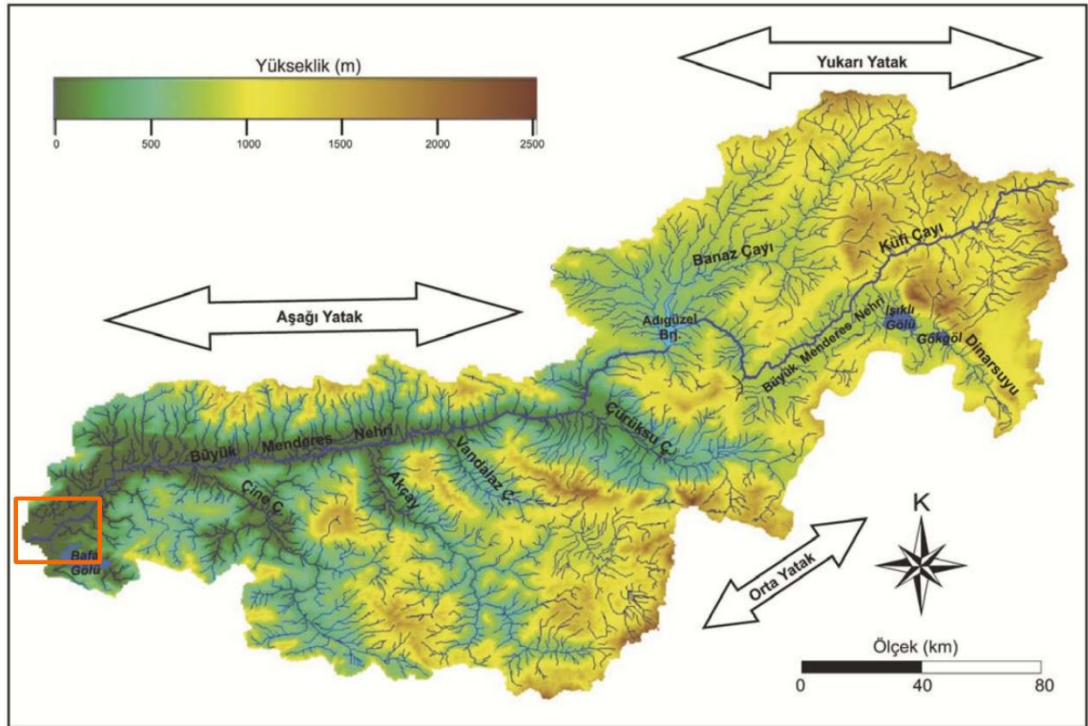
Bu amaçlar doğrultusunda hedefler: yüzey suları ve yeraltı suları ile sıcak ve mineralli suların envanterlerinin (sayımlarının) yapılarak hidrojeolojik haritanın oluşturulması; yüzey ve yeraltı sularının özellik, köken, oluşum ve beslenme-boşalım ilişkilerinin ortaya konulması; Büyük Menderes Nehri, Bafa Gölü, yeraltı suları ve deniz suları arasındaki ilişkilerin saptanması; alandaki egemen hidrojeokimyasal süreçlerin ve çözünmüş iyonlar arasındaki ilişkilerin incelenmesi; olası su ve toprak kirliliği kaynakları ile kirlenmiş alanların belirlenerek bölgedeki inorganik kirliliğin oluşum mekanizması ve etkenlerinin ortaya konulması; inorganik kirlilik olarak nitelendirilen iz elementlerin kaynağının jeolojik yapı göz önüne alınarak yorumlanması planlanmıştır. Ayrıca jeotermal bağlantılı yeraltı sularının saptanarak bölgenin jeotermal sistem özelliklerinin ve hazne sıcaklıklarının belirlenerek kavramsal hidrojeolojik ve jeokimyasal modellerin geliştirilmesi ve kirlilik oluşum süreçlerinin aydınlatılması hedeflenmiştir.

1.3 Çalışmanın Konu ve Kapsamı

Önerilen çalışma alanı Büyük Menderes Grabeni'nin batısında, Büyük Menderes Nehri'nin denize döküldüğü alanda Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinde yer almaktadır (Şekil 1.2). Bölgedeki yüzey ve yeraltı sularının hidrojeolojik incelenmesi, bölgenin jeotermal potansiyelinin belirlenmesi, yüzey ve yeraltı sularının kalitesinin, hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya konması ana konulardır. Ayrıca alandaki başlıca hidrojeokimyasal süreçlerin belirlenerek göl, akarsu, deniz suyu ve yeraltı suyu

ilişkilerinin araştırılması diğer konu başlığıdır. Bölgedeki suların tuzlu su girişi ve toprakların inorganik kirlilik sorununun değerlendirilmesi de bu çalışmanın konuları arasındadır.

Özellikle son yüzyılda artan nüfus, kentleşme, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak su ve toprak kirliliğini de kapsayan çevre problemleri artmaktadır. Bunlara paralel olarak olumsuz yönde değişen iklim koşulları yeraltı - yüzey suları ve tarım arazilerinin miktar ve kalite açısından kullanılabilirliğini tehdit etmeye başlamıştır. Bu çalışma; bölgede mevcut inorganik kirliliğe sebep olan litolojik, endüstriyel, tarımsal kaynaklı kirliliklerin varlığının saptanması ve elde edilecek verilerin yorumlanıp değerlendirilerek bu kirliliklere neden olan problemlerin çözüme kavuşturulması açısından atılmış adım niteliğindedir. Mevcut sorunların verilerle ifade edilmesi, idari yönetimlerce etkili bir kontrol stratejisinin uygulanması ve toplum sağlığının güvence altına alınması açısından gereklidir.



Şekil 1.2 Büyük Menderes Havzası ve çalışma alanı yer bulduru (Kazancı, Dünder, Alçiçek, ve Gürbüz, 2011)

1.4 Kaynakça Taraması

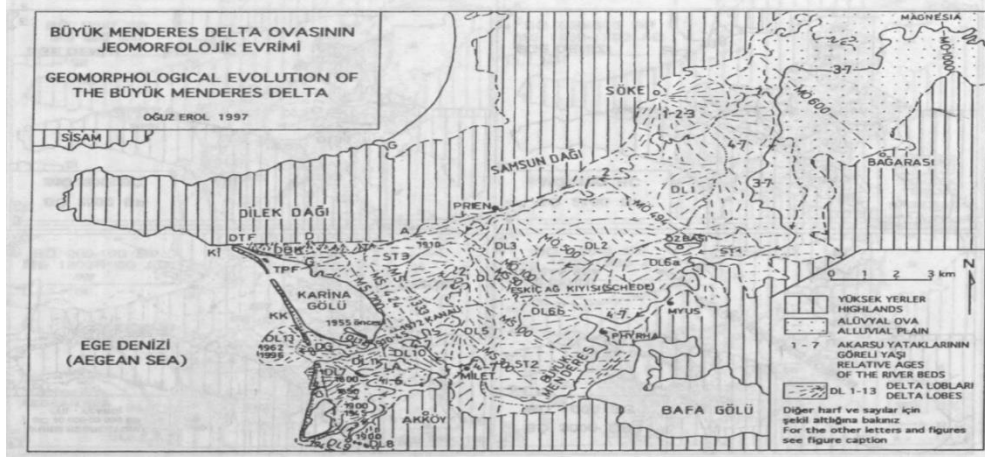
Alandaki jeolojik çalışmalar çoğunlukla Menderes Masifi'nin yaşına veya Büyük Menderes Grabeni'nin tektoniğine, sedimantolojisine ve jeotermal özelliklerine yöneliktir.

Mckenzie (1978), 1955 Söke-Balat depreminin tüm fay düzleminin analizini yaparak depremin güneydoğu yönünde dalımlı normal fay olduğunu ve az miktarda sıyrılma özelliği gösterdiğini belirtmiştir. Bu yıkıcı depremin kaynağı Söke Grabeni'nin Kuzeybatı sınırındaki faydır.

Ercan, Akat, Günay, ve Savaşın (1986), Söke-Selçuk-Kuşadası bölgesinin jeolojisini ve petrokimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Bölgede gözlemlenebilen çeşitli kaya gruplarını incelemişler, litolojilerini ayrıntılı biçimde tanımlamışlar ve ayrı ayrı stratigrafik kaya birimleri halinde adlandırmışlardır. Söke ilçesinin kuzeydoğu ve kuzeybatı yakınlarındaki volkanik kayaların adlandırılmalarını ve radyometrik yaşlandırılmalarını yaparak KD ve KB uzanımlı bazı fayları çizgisellikler olarak haritalamışlardır.

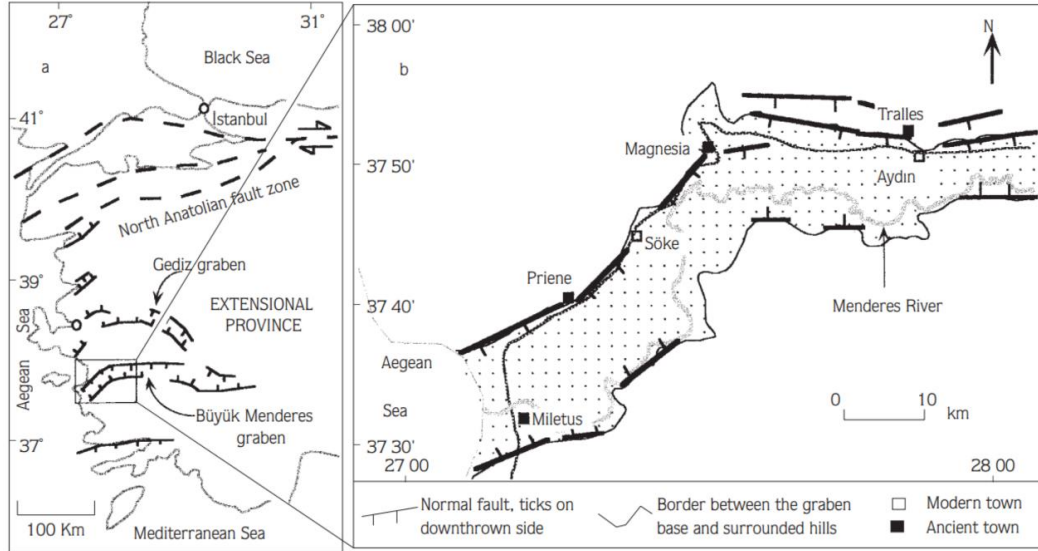
Hancock ve Barka (1987), Kuşadası, Aydın ve Söke ilçeleri civarındaki açığa çıkmış bazı normal fayların yüzeyleri üzerindeki kinematik göstergeler üzerinde arazi çalışması yapmışlardır. Bu faylardan bazılarını Efes Fayı, Yavansu Fayı, Dilek Fayı ve Menderes Fayı olarak adlandırmışlar ve Söke Grabeni'nin kuzey kuzeybatı sınırındaki fayı "Söke-Balat Fayı" olarak adlandırmışlardır.

Erol (1996), Büyük Menderes Deltası boyunca yapmış olduğu fotojeolojik incelemelerle bölgenin genç jeomorfolojik evrimini açıklayarak inceleme alanındaki delta oluşumunun 19. ve 20. Yüzyıllar boyunca birbirini izleyen dilimler halinde olduğunu açıklamıştır. 19. ve 20. Yüzyıl önceki delta oluşumunu incelemek amacıyla alanın sınırlarını doğuya doğru genişleterek yaptığı çalışmalarda birbirini izleyen 13 delta diliminin varlığını belirtmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Büyük Menderes Deltası'nın jeomorfolojik haritası (Erol, 1996)

Altunel (1998), antik Priene kentinin tarih boyunca karşılaştığı depremleri inceleyerek bugünkü haline iki yıkıcı deprem (MÖ 350 ve 12. yüzyıl depremleri) sonucunda geldiği sonucuna varmıştır. Antik Priene kentinin yıkıntıları KD uzanımlı ve güneydoğu batımlı Priene ana fay segmanının yukarı atılan taban bloğu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Ege Bölgesi genişlemeli fayların Büyük Menderes Grabeni haritası (Altunel, 1998)

Ünay ve Göktaş (1999), Söke ilçesi çevresinde açığa çıkmış nehir-göl kökenli çökelim birimi üzerinde paleontolojik saha çalışması yaparak, Erken Miyosen ve Geç Pliyosen-Erken Kuvaterner yaş aralığında mikro-memeli fosiller tanımlamışlardır.

Hakyemez, Erkal, ve Göktaş (1999), Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin Geç Kuvaterner evrimini çalışarak Holosen boyunca Büyük Menderes grabeninin daha basit bir oluşumda alüvyonal delta oluşuklarıyla Bafa Gölü önünü kapatarak denizden uzaklaşmasını ve iç lagünel göl oluşumunu açıklamışlardır.

Sarıca (2000), Söke ilçesinin kuzey kısmı yakınlarındaki genç karasal kırıntılıları çalışarak, D-B uzanımlı grabenlerin ve sınır faylarının Kuvaterner döneminde oluştuğunu açıklamıştır. Buna neden olarak da sınır fayları etkinliği sonucunda Üst Pliosen memeli fosilleri içeren teras çökellerinin faylanma ve yükselmesini göstermiştir.

Tarcan ve Gemici (2001), Gümüşköy ve Söke-Sazlıköy kaynaklarında yaptıkları hidrojeokimyasal çalışmada, Menderes Masifi'ne ait karstik mermerlerin bu kaynakların rezervuar kayacını oluşturduklarını, Gümüşköy kaynağında Na ve Cl iyonların egemenliğinin deniz suyu katkısından kaynakladığını belirtirler. Yaptıkları jeotermometre hesaplamalarında rezervuar sıcaklığının 60-80°C aralığında değişen düşük entalpili jeotermal sisteme ve mineral doygunluk jeotermometrelerine dayanarak bu düşük entalpili jeotermal sisteme karışan 150°C - 175°C arasında değişen yüksek entalpili akışkanın varlığına değinirler.

Gürer, Bozcu, Yılmaz, ve Yılmaz (2001), Kuşadası-Söke Üst Tersiyer havzası üzerinde ve çevresinde yapısal ve stratigrafik araştırma yaparak yüzeylemiş kaya gruplarının ve fayların çeşitli özelliklerini belirlemişler ve haritalamışlardır. Üst Tersiyer Kuvaterner birimler hakkında tam stratigrafik kesit vermişler ve fayların analizini ve yorumlamasını yapmışlardır.

Vengosh, Helvacı, ve Karamandere (2002), Batı Anadolu'daki termal suların jeotermal özellikleri ile ilgili yaptıkları incelemede; denizel olmayan sıcak sularda - farklı kökenli kayalar ve farklı derin dolaşımları yansıtan üç tip kimyasal bileşimli jeotermal su ayırt etmişlerdir.

Karamanderesi ve Helvacı (2003), Menderes Masifi'ndeki tektonik gelişim ve evreleri ile hidrotermal alterasyonların ilişkili olduğunu ifade ederler. Araştırmacılar göre, klorit, kalsit, illit, kaolinit, dikt, montmorillonit, pirit ve hidrobiyotit mineral parajenezi, Salavatlı jeotermal alanının rezervuar sıcaklığının 200°C olduğunu işaret etmektedir.

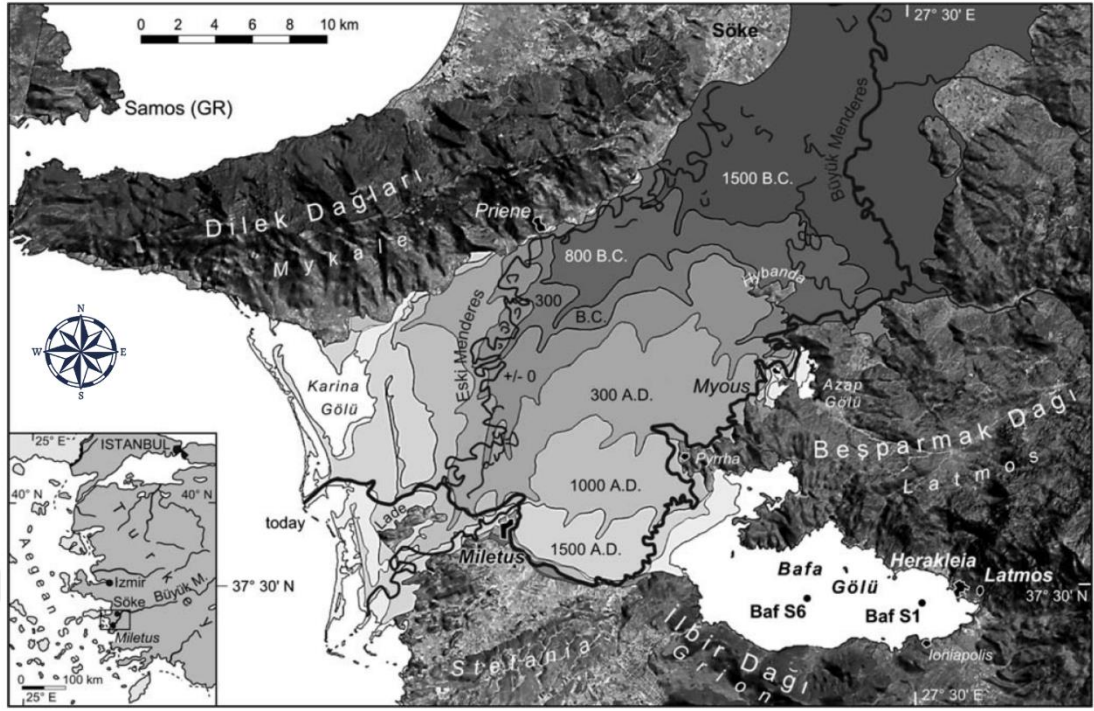
Şimşek (2003), Büyük Menderes Grabeni boyunca yer alan jeotermal sahalarda yaptığı izotopik çalışmalarda özellikle Kızıldere ve Germencik sahalarında yüksek rezervuar sıcaklığının göstergesi sayılan ^{18}O zenginleşmesi varlığını saptamıştır.

Akçay, Oğuz, ve Karapire (2003), Gediz nehri boyunca 6, Büyük Menderes Nehri boyunca 4 farklı noktadan aldığı yüzey suyu örneklerinden yorumla Büyük Menderes Havzası genelinde kirliliğe dikkat çekmiştir.

Güner ve Yıldırım (2005), Ömerbeyli–Germencik bölgesinde yaptıkları jeokimyasal çalışmada, bölgedeki beslenmenin günümüzdeki iklim koşullarından daha soğuk iklim koşulları altında ve jeotermal suların tatlı-tuzlu su karışımından meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Çakmakoğlu (2007), Dilek Yarımadası ve çevre yöreleri olan Kuşadası, Söke ve Selçuk ilçelerinde yüzeyleyen Neojen öncesi kayaçların ayrıntılı tektono-stratigrafik çalışmasını gerçekleştirmiştir. Menderes Masifi'ni oluşturan metamorfik kayaları tektonik açıdan birbirinin üzerine yerleşmiş beş farklı tektonik birim olarak ayırt etmiştir. Bu tektonik birimlere Permian ve Erken Paleozoik arası stratigrafik yaşlar vererek, tektonik birimlerin bugünkü konumlarına Erken Miyosen öncesi yerleştiklerini söylemiştir.

Knipping, Müllenhoff, ve Brückner (2008), Bafa Gölü çevresinde yapmış oldukları palinolojik ve sedimentolojik çalışmada Büyük Menderes Deltası'nın ve alüvyon ovanın paleocoğrafik evrimini incelemişlerdir (Şekil 1.5).

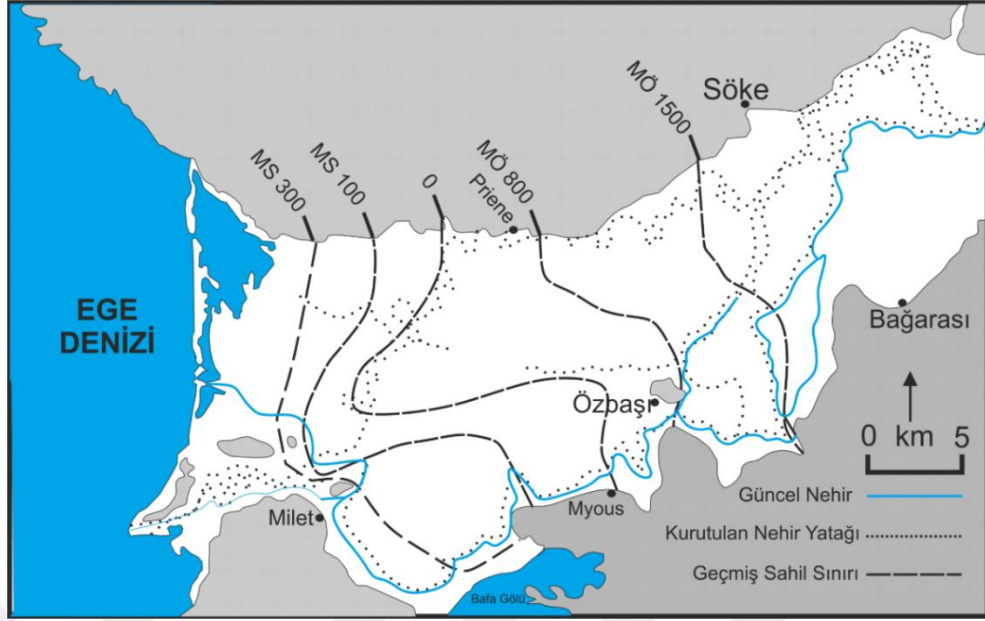


Şekil 1.5 Büyük Menderes deltasını paleocoğrafik evrimi (Knipping ve diğer., 2008)

Mutlu, Güleç, ve Hilton (2008), Batı Anadolu’da kabuk kökenli CO₂ gazının bölgede temeli oluşturan Menderes Masifi’ne ait mermerlerden kaynaklandığını, manto kökenli helyumun graben fayları aracılığı ile yüzeye ulaştığını belirtmişlerdir.

Keser (2008), Aydın ve çevresindeki ovalarda Menderes Nehriyle sulanan ve sulanmayan bazı meyve ve sebzelerin (Börülce, Bamya, Mısır, Biber, Ispanak, Patlıcan, Domates, Karpuz, Fasulye) iz metal element Cu (Bakır), Fe (Demir), Pb (Kurşun), Cd (Kadmiyum), Zn (Çinko) düzeylerini ürün bazında karşılaştırarak oadaki toprak kirliliğine dikkat çekmiştir.

Kazancı, Dünder, Alçiçek, ve Gürbüz (2009), Büyük Menderes grabeni boyunca yapmış oldukları sedimentolojik çalışmalarda BMG deltası boyunca BM Nehrinin ve deniz kıyısının tarihsel dönemler boyunca oluşumunu açıklamışlardır (Şekil 1.6).



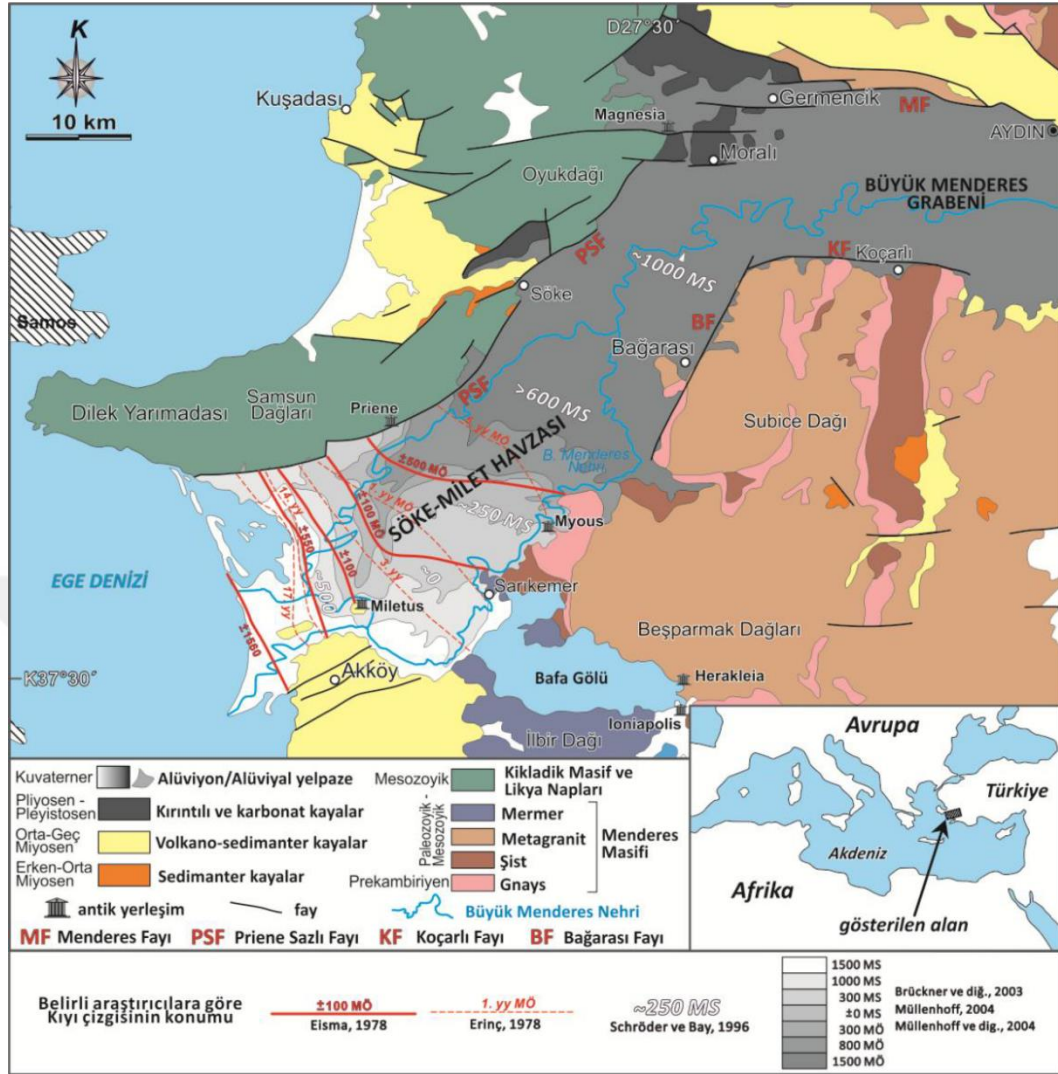
Şekil 1.6 Büyük Menderes Nehri'nin ve deniz kıyı çizgisinin tarihsel dönemler boyunca değişimi (Kazancı ve diğer., 2009'dan değiştirilerek)

Şimşek (2010), “Büyük Menderes Grabeni Batı Kesiminde Yer Alan Jeotermal Sistemlerin Hidrodinamik Yapılarının Jeokimyasal Teknikler ve Asal Gaz İzotopları Yardımıyla İncelenmesi” konulu TÜBİTAK projesinde, BMG boyunca Sarayköy'den Ege denizine değin uzanan alanlarda jeotermal alanlara yönelik çalışma yapmıştır. Tez kapsamında çalışılan ovanın kuzeybatısındaki Doğanbey ve Atburgazı kaynaklarını inceleyerek 25-26°C sabit sıcaklıktaki jeotermal kaynak olduklarına değinmiştir.

Somay ve Gemici (2012), Büyük Menderes Deltası kesimini sulak alan açısından değerlendirerek Kuzey kesimde bulunan karstik kaynakları ve güneydeki bazı kuyuların kimyasal analizlerini değerlendirmişler ve tuzlanmadan kaynaklanan su kalitesi azalmasından bahsetmişlerdir. 9 su noktasının kimyasal ve Oksijen-18 döteryum izotop analizinin ortak değerlendirmişlerdir. Alandaki tuzlanma sorununu belirterek tuzlanmanın başlıca 3 faktörden kaynaklandığını savunmuşlardır. Bu faktörler 1-Deltanın geçirgen kısmından deniz suyu girişi, 2-Tuz içerikli zeminden süzülen kış yağışlarının akiferi tuzlandırması ve 3-Alüvyon altında uzanan Holosen denizel tortullarının etkisi olarak özetlenmiştir.

Karakuş ve Şimşek (2013), Büyük Menderes Grabeni'nde Doğuda Sarayköy'den Batıda Ege Denizi'ne kadar uzanan bir alanda yaptıkları hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalarda jeotermal alanların özellikleri, beslenme boşalma ilişkileri, sistemlerin oluşumları ve kökenleri üzerinde durulmuştur. Su kimyası ve izotop analizlerine ilaveten asal gaz analizleri ile akışkanların kökeni ısı akısı Curie sıcaklığı vb konulara değinmişlerdir. Büyük Menderes Grabeninde doğudan batıya doğru gidildikçe manto kökenli ^3He oranının giderek azaldığını, Curie sıcaklığı derinliğiyle ısı akısı dağılımları ve sıcak boşalımların RA değerleri arasında negatif korelasyon bulunduğunu; buna ana fayların derinlerde sönümlenen listrik fay karakterinde olmasından dolayı mantodan gelen uçucu bileşenin sınırlı kalması ve radyojenik ^4He katılımının neden olduğunun düşünülebileceğini savunurlar.

Sümer, İnci, ve Sözbilir (2013), tez alanında yaptıkları çalışmalarda Söke Havzası'nın tektonik evrimiyle stratigrafik ve sedimentolojik özelliklerini incelemişlerdir. İnceleme alanını Söke-Milet Havzası olarak tanımlayarak havzanın sınır fayları boyunca oluşum evrimini açıklamışlardır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Söke Ovası fayları ve havza oluşumu zaman sınırları (Sümer, 2013)

Tarcan, Özen, Gemici, Çolak, ve Karamanderesi (2013), Büyük Menderes Grabeni boyunca Pamukkale'den Söke'ye kadar uzanan bölgedeki jeotermal alanlarda su kimyası, kabuk kimyası ve izotop analizi çalışmalarıyla jeotermal alanlardaki kabuklaşma problemi değerlendirilmiştir. Büyük Menderes jeotermal alanlarında CaCO_3 (kalsit ve aragonit) kabuklaşmasının üretim ve geri basım kuyuları ile yüzey donanımları için kaçınılmaz olduğunu belirten araştırmacılar, geri basım kuyuları için önemli tehlike oluşturan amorf silis kabuklaşmasının Pamukkale, Yenicekent, Aydın ve Ortaklar-Söke suları için söz konusu olmadığını belirtirler. Tez sahası bu çalışma alanının güneybatısında yer almaktadır.

Yılmaz ve Koç (2016), Büyük Menderes Nehri'ndeki organik kirlilik ve tarıma olan etkisi araştırılmıştır. Söke bölgesindeki evsel atık ve kimyasal gübre kullanımından kaynaklı yüzey sularında gözlenen organik kirlilik vurgulanmıştır.

Durmaz, Kocagöz, Bilacan, ve Orhan (2017), TÜBİTAK (112Y199) projesi kapsamında Büyük Menderes Nehri boyunca sudaki canlı türlerinin risk durumunun tespiti için nehir suyu, toprak, balık ve çeşitli su kuşları kas dokusu ile yumurtalarından alınan örneklerin metal seviyelerini analiz ederek insanlar tarafından gıda olarak tüketilmesinin sağlık riski oluşturduğu tespit edilmiştir. Söke havzasındaki canlılardaki Hg (Cıva) değeri limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Bafa Gölü sularındaki yüksek Se (Selenyum) ve Ba (Baryum) değerine dikkat çekilmiştir.

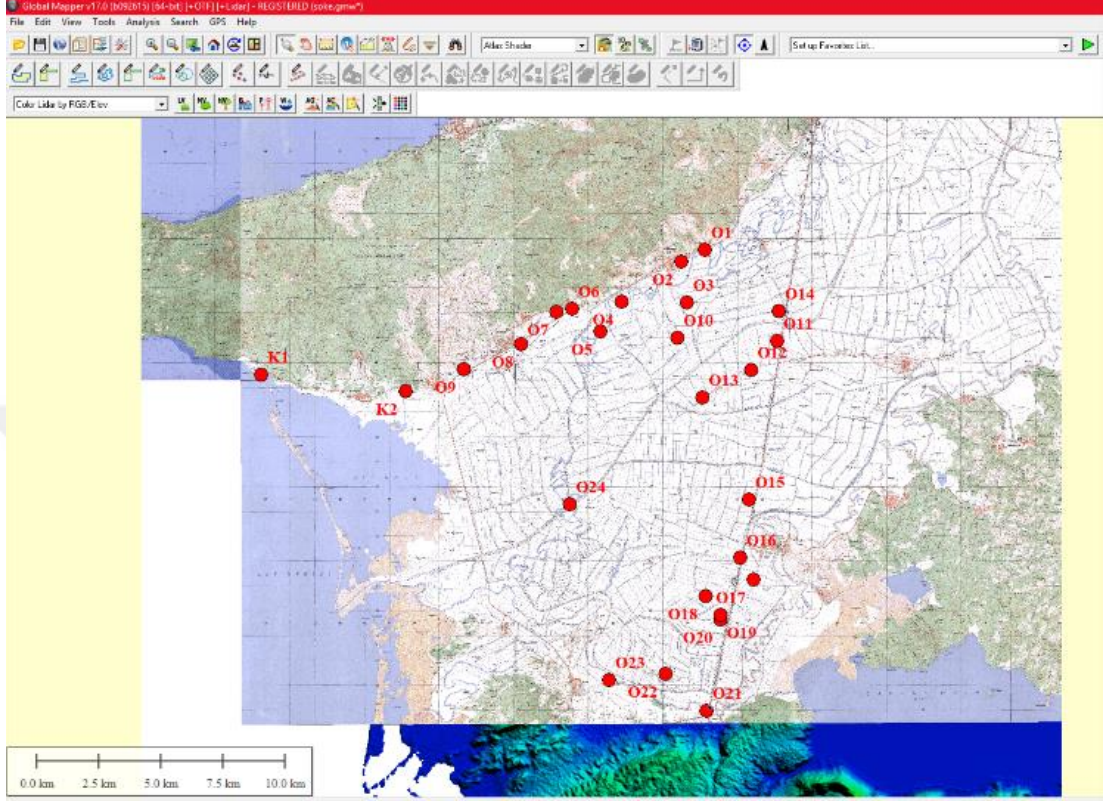
1.5 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Söke ve Bafa Gölü çevresinin hidrojeolojik incelenmesini konu alan bu araştırma; ofis, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak 3 farklı adımda çözümlenmiştir.

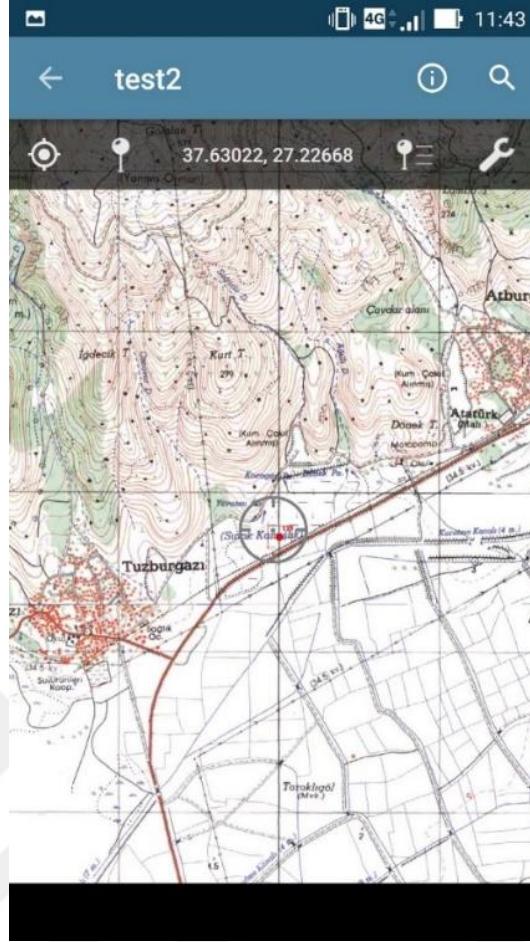
1.5.1 Ofis Çalışmaları

Ofis çalışması kapsamında kaynakça (literatür) taraması yapılmış olup arazi çalışması öncesi literatürde su örnekleme noktaları belirtilen makaleler (Şimşek, 2003; Öztürk, 2009; Somay ve Gemici, 2012; Karakuş ve Şimşek, 2013) ayıklanarak Global Mapper v17 (Blue Marble Geographics, 2015) aracılığıyla tüm noktalar tek bir haritada toplanmıştır (Şekil 1.8). Örnekleme noktalarına kolayca ulaşabilmek için oluşturulan .tif uzantılı harita, UTM (Evrensel Enlem Merkatörü) ED50 koordinatlarıyla uyumlu hale getirilip Android uygulaması olan Avenza Map üzerinden kullanılmıştır (Şekil 1.9). Toprak örnekleme yapılmadan önce ovanın jeolojik arka plan (Geological Background) değerinin tespiti için uygulanan yöntem gereği kafes (grid) yöntemine uygun homojen dağılım amaçlanmıştır. Google Earth'te 30 örnekleme noktası için işaretleme yapılarak Google Maps üzerinden işaretlenmiştir. Mail hesabına kaydedilen örnekleme noktaları sayesinde arazide cep telefonu ve/veya

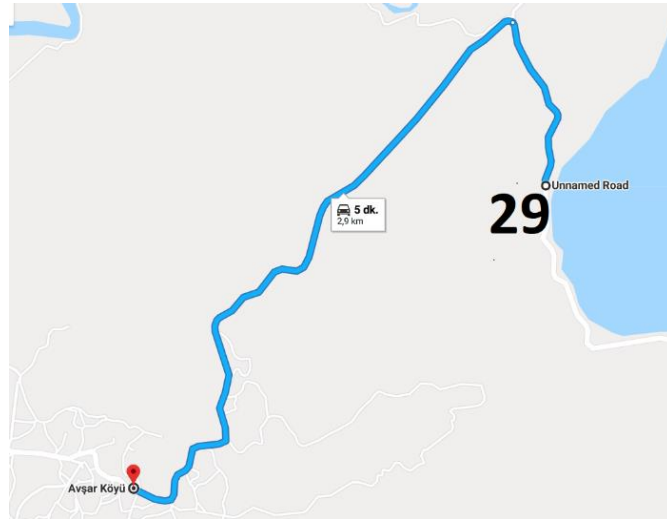
tablet aracılığıyla örnek alınacak noktalara kolaylıkla gidilmesi sağlanmıştır (Şekil 1.10).



Şekil 1.8 Literatürde örnekleme yapılan tüm su noktaları birleştirilmiş harita



Şekil 1.9 Avenza Map Android uygulaması cep telefonu görüntüsü



Şekil 1.10 Arazi çalışması Google Haritalar uygulaması ekran görüntüsü

Arazi çalışması sonrası jeolojik harita CorelDraw X8 programından düzenleme yapılarak çizilmiştir. Örnekleme noktaları aynı gün Google Earth Pro'ya işlenerek çalışılmıştır. Microsoft Excel 2016'da derlenen veriler, diyagramlar için gerekli formüllerle birlikte programa işlenmiştir. ArcGIS 10.5.1 (Esri, 2016) ve Surfer 12 (Golden Software, 2014) yazılımları aracılığıyla drenaj ağı ve metal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Majör, minör, iz element analiz sonuçları, içerdiği miktarlara göre mg/L (ppm) ve µg/L (ppb) cinsinden listenelerek bağıntı (korelasyon) çalışması yapılmıştır.

1.5.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları Aralık 2017 – Mart 2018 tarihleri arasında farklı zaman aralıklarında yürütülmüştür. WTW 340i marka multimetreye bağlı olan pH ve EC probu aracılığıyla elektriksel iletkenlik, pH ve tuzluluk değerleri yerinde ölçülmüştür. Numune kapları standartlara uygun şekilde işlem öncesi saf suyla yıkanmış olup probalar her kullanım öncesi ilgili örneklerden kalan artıklardan arındırılmak üzere saf su ile yıkanmıştır. Örnekler 500 ml ve 1000 ml'lik yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) kaplara şişelerde hava kabarcığı kalmayacak şekilde alınmıştır. Su noktalarının koordinatları “GPS Test” Android uyumlu cep telefonu uygulamasıyla belirlenmiştir (Şekil 1.11). Koordinatlar, EC, pH, tuzluluk değerleri ve kaynağı tanımlayan birkaç cümle ile birlikte tablette yer alan Microsoft Excel programında kayıt altına alınmıştır. Toplamda 62 adet su örnekleme yapılmış olup ölçümlerde pH değeri 8.2'nin üzerinde olan sulardan 50 ml alınarak 0.1 M HCl ile pH 8.2 olana dek titre edilerek karbonat (CO_3^{-2}) içeriği arazide hesaplanmıştır (Şekil 1.12). İlgili denklem aşağıda ifade edilmiştir. Örnekler analiz edilene kadar laboratuvarında 4°C'de buzdolabında bekletilmiştir.

$$CO_3^{-2} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{C_{HCl} \left(\frac{mmol}{L} \right) * V_{pH\ 8.2\ olana\ dek} (ml)}{50 (ml)} * 60.008 \left(\frac{mg}{mmol} \right) \quad (1.1)$$



Şekil 1.11 Gps Test Android uygulaması ekran görüntüsü



Şekil 1.12 Arazi çalışması sırasında bikarbonat titrasyon deneyi (Kişisel arşiv, 2018)

Söke Ovası'nda tarım yapılan alüvyonda, ofis çalışması kapsamında kafes methoduna uygun olacak şekilde 30 adet örnekleme noktası belirlenmiştir. Belirlenen noktalarda, kirliliğin insan (antropojenik) ve/veya formasyon (jeolojik) kaynaklı olup olmadığını ayırt edebilmek için B horizonunu kapsayacak şekilde örnekleme yapılmıştır. Örneklenen toprak, bitkilerden oluşan A horizonundan daha koyu renkli olmasıyla ayırt edilmiştir. Yaklaşık 20 – 30 cm derinlikten örnekleme yapılmıştır. Ek olarak, farklı birimlerden olmak üzere 4 adet kayaç örneği alınmıştır.

1.5.3 Laboratuvar Çalışmaları

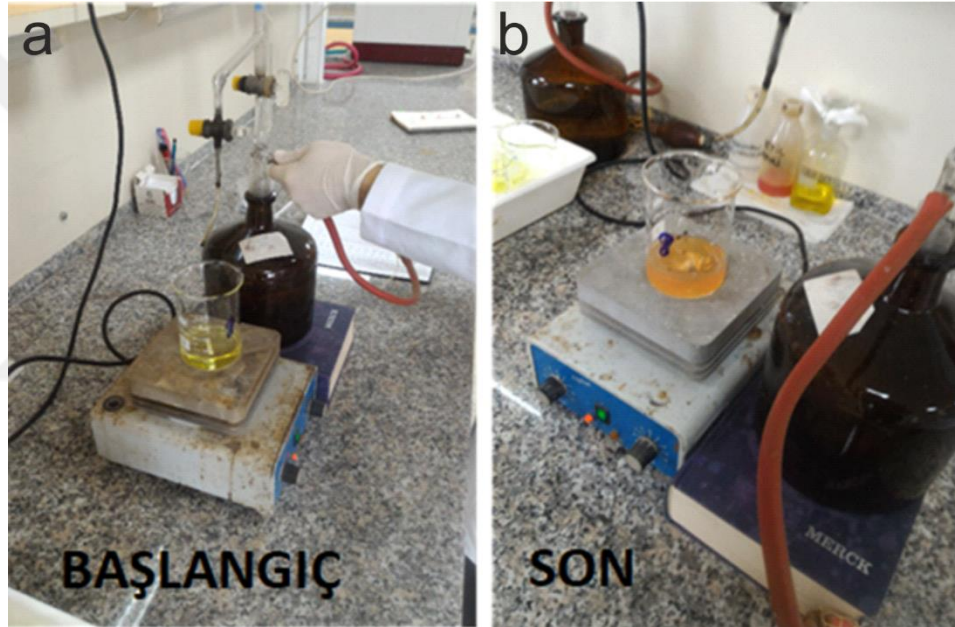
Fiziksel parametreleri (EC, Sıcaklık, pH) benzer olan birbirine yakın konumdaki kaynak ya da kuyulardan alınan su örnekleri hidrojeoloji laboratuvarında ayıklandıktan sonra geriye kalan 37 örneğin tamamı 0.45 µm hidrofilik membran filtre kağıt ile filtrasyon setinde süzölmüştür. Her örnekleme noktası için 500 ml'lik 2 ayrı HDPE kaba alınan sular 4 °C'de laboratuvar buzdolabında korunmuştur. Hizmet alımıyla analiz edilmesi planlanan örnekler, ilgili laboratuvarların örnek alım taleplerine uygun olacak şekilde duraylı izotop analizleri için 10 ml ve ağır metal analizleri için 100 ml'lik kaplara aktarılmıştır. Aktarımdan sonra kalan sular 250 ml HDPE kaplara katyon analizi, 500 ml'lik diğer HDPE kaptaki örnekler ise anyon analizinde kullanılmak üzere buzdolabında korunmuştur. Majör katyon (Na^+ , Mg^{+2} , SO_4^{+2} , K^+) analizleri Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarında Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresiyle gerçekleştirilmiştir. İyon tayini için volümetrik ve gravimetrik analiz yöntemleri uygulanmıştır.

Proje kapsamında temin edilen kimyasallarla majör anyon grubu analiz edilmiştir. Ayıklanan her su örneği için volümetrik analiz yöntemiyle belli molar derişimine sahip titre edici asidin harcanma miktarı belirlenerek klorür (Cl^-), karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) hesaplanmıştır.

1.5.3.1 Klorür Analizi

Klorür analizi için ayrılan kaptan 50 ml örnek erlene aktarılırak 2, 3 damla potasyum kromat (K_2CrO_4) damlatılır. Örnek, hazırlanan 0.0141 Normalite değerine sahip gümüş nitrat ($AgNO_3$) çözeltisiyle rengi sarıdan kiremit kırmızısına dönene titre edilir (Şekil 1.13). Harcanan gümüş nitrat ($AgNO_3$) kaydedilir. Klorür miktarı aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanmıştır.

$$Klorür \left(\frac{mg}{mL} \right) = \frac{1000 \times AgNO_3 \text{ sarfiyatı (mg)} \times 0.5}{Örnek Miktarı (ml)} \quad (1.2)$$



Şekil 1.13 (a) Klorür analizi renk dönümü başlangıç rengi (Kişisel arşiv, 2018), (b) son rengi (Kişisel arşiv, 2018)

1.5.3.2 Bikarbonat Analizi

Bikarbonat (HCO^-) tayini için açık ve belirgin renk değişiminden dolayı 2, 3 damla metil turuncusu (metil oranj) damlatılır. Suyun pH değerinin 4,4 üzerinde olduğu şartlarda sarı renkte olan gösterge karışım, pH 3,1 olduğunda tamamen kırmızı renge dönmesiyle bilinmektedir. Yöntem olarak sülfürik asit (H_2SO_4) ile renk dönümü gözlenene kadar titre edilir ve bikarbonat (HCO^-) tayinine geçildiği süreçten itibaren sarfiyat miktarı kaydedilir (Şekil 1.14). Bikarbonat (HCO^-) miktarı aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanmıştır.

$$HCO_3 \left(\frac{mg}{L} \right) = H_2SO_4 \text{ Sarfiyat} \left(\frac{mg}{L} \right) \times 24,4 \quad (1.3)$$



Şekil 1.14 Karbonat analizi renk dönümü sonrası suyun son görüntüsü (Kişisel arşiv, 2018)

1.5.3.3 Sülfat Analizi

Sularda çözünmüş sülfat (SO_4^{2-}) tayini, bir reaksiyon ile çökelti oluşturup bu çökeltinin ağırlığından istenen iyon miktarını bulmayı sağlayan gravimetrik analiz yöntemiyle hesaplanmıştır. 10 farklı sudan 200 ml örnek alınarak 10 ml 0.1 M saflıkta hidroklorik asit (HCl) eklenerek ısıtılır. Isındıktan sonra baryum klorür ($BaCl_2$) eklenir. Yaklaşık 12 saat boyunca bekletilir ve çökme gözlenmeye başlar. Bekletmenin ardından sular filtre kağıdında süzülür. Yöntem ayırtlanan sülfatın yakılarak elde edilen katı miktarın ölçülmesine dayanmaktadır. Yakma işleminden

önce filtre kağıtlarının konulacağı porselen krezeler tartılır. Dolu ve boş ağırlık arasındaki fark, analizin doğruluğu açısından çok önemli olduğu için havayla temas olmayacak şekilde sıfırdan sonra 5 basamağa kadar ölçekbilen hassas tartıda ölçüm yapılır. Porselen krezeler boş ağırlıkları kaydedildikten sonra süzme kağıtları içine yerleştirilir. Fırında 800°C’de 1 saat kadar yakılır. Ardından krezeler fırından çıkartılarak tekrar hassas tartıda bu defa yanmış süzme kağıtla birlikte (dolu) olarak ağırlık ölçümü yapılır. Dolu ağırlıktan boş ağırlık çıkartılarak katı sülfat (SO_4^{2-}) hesaplanır. Suda çözülmüş haldeki sülfat (SO_4^{2-}) miktarı aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanmıştır.

$$SO_4^{2-} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{Katı BaSO_4 \text{ miktarı (mg)} \times 0,4116 \times 10^6}{\text{Örnek Miktarı (ml)}} \quad (1.4)$$



Şekil 1.15 (a) Sulara HCl ve BaCl₂ eklenmesi, (b) krezelerin tartılması, (c) suların süzülme işlemi, (d) 1 saat kadar süren yakılma işlemi (Kişisel arşiv, 2018)

1.5.3.4 Katyon Analizi

Suların majör katyon (Na^+ , K^{+2} , Mg^{+2} , Ca^{+2}) değerleri ise Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) aracılığıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarında Dr. Hilal Kılıç tarafından tayin edilmiştir.

1.5.3.5 Element Analizi

37 adet su örneğinin minör ve eser elementleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarında Prof. Dr. Nur Özyurt tarafından ICP-MS cihazında analiz edilmiştir.

1.5.3.6 Oksijen ve Hidrojen İzotop Analizi

29 adet yeraltı suyunun duraylı izotop oranları ODTÜ Merkez Laboratuvarına bağlı Duraylı İzotop Oranı Kütle Spektrometresi Laboratuvarında ThermoFinnigan DeltaplusXP Kütle Spektrometresi – Gas Bench sistemi ile Dr. Selin Süer tarafından analiz edilmiştir.

1.5.3.7 Toprak Analizi

B horizonundan örneklenen 30 toprak 4 kayaç örneği plastik kaplarda nemsiz ışık almayan serin odada bekletilmiştir. Laboratuvar çalışması kapsamında, kayaç örnekleri öncelikle çeneli kırıcıda parçalanarak ardından çeyrekleme yöntemi uygulanmıştır. Analize hazır tane boyutuna ulaşana dek halkalı değirmende öğütülmüştür. Örnekler hizmet alınacak laboratuvarın talebi doğrultusunda 25 gramlık poşetlerde üstlerine her birinin kodu yazılarak gönderime hazır hale getirilmiştir. Analize kadar 4°C’de saklanmıştır. Toprak örneklerinin iz element analizi ACME laboratuvarlarında Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP – MS) ile gerçekleştirilmiştir.

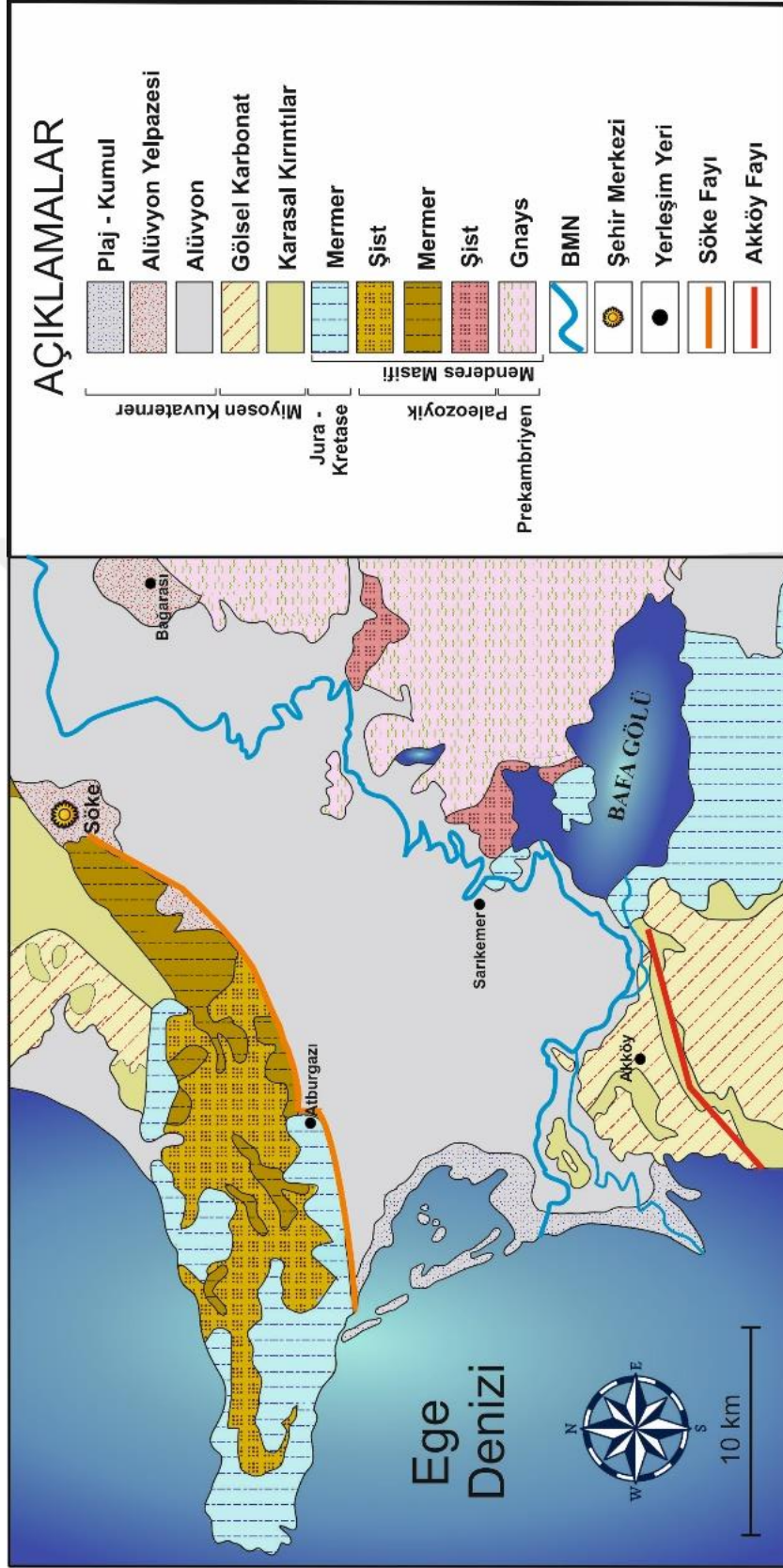
BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

İnceleme alanı ve çevresindeki jeolojik yapının temelinde Menderes Masifi'ne ait kayaçlar yer almaktadır. Kayaçlar alan çevresinde Prekambriyen'den Eosen'e kadar değişik yaşlar veren gnays, metagranit, şist, kuvars şist, fillit şist, kalk şist, mermer, rekristalize kireçtaşı ve meta filiş türü kayalardan oluşmaktadır. Alanın en yaşlı ve altta kalan birimleri gnays ile çeşitli şistlerden oluşan birimlerdir. Bunların üzerine gelen mermerler ve rekristalize kireçtaşları gibi karbonatlı birimler alüvyon biriminin altında yer alırlar.

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı yer yer kırıntılıları da içeren gölsel karbonatlar, tez çalışma alanının güneybatı kesimlerinde çoğunluğu mermerlerden oluşan karbonatlıların üzerinde açısız uyumsuz olarak yer almaktadır. Bu tortullar çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı, marn ve gölsel kireçtaşı ardalanmasından oluşurlar ve Bafa Gölü'nden Didim çevresindeki güncel deniz kıyısına kadar yayılım gösterirler. Ancak bu birimin altında mermerler devam etmektedir. Genç alüvyonlar tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

Tarihi kayıtlardan da bilindiği üzere, Büyük Menderes Nehri'nin getirdiği alüvyonlar nehrin denize boşaldığı yerde birikmesiyle Bafa Gölü'nün önünde doğal set oluşturmuşlardır. Bu şekilde Bafa Gölü 2000-2500 yıl kadar önce Ege Denizi'nin bir iç körfezi konumundayken denizle bağlantısı kesilerek lagünel kökenli göl oluşmuştur. Alüvyonun altında mermer birimi ve bazı yerlerde Neojen karasal tortulları devam etmektedir. Büyük Menderes Nehri bir çöküntü alanında bulunmaktadır. Çalışma alanı Büyük Menderes Grabeni uzantısı olan "Söke Grabeni" olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002; Sümer, 2013)

2.1 Stratigrafi

Söke Grabeninin temeli, Menderes Masifi'nin Metamorfiklerinden oluşmaktadır. 2 km'den daha derin olduğu tahmin edilen istif, Bafa Gölü yakınlarında Gölsel Karbonatlarla, Söke şehir merkezi Alüvyon yelpazesi ile üzerlenmektedir. Söke Grabeni ise Büyük Menderes Nehri tarafından taşınan Kuvaterner yaşlı silt-kil tane boyutunda oluşumlarla kaplıdır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinin kolon kesiti (MTA, 2002; Sümer, 2013)'den değiştirilerek

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAYAÇ BİRİMİ	Kalınlık (m)	STRATİGRAFİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN	Plaj - Kumul	50-250		Kum, çamur
			Alüvyon			Çakıl, kum, çamur
			Alüvyon Yelpazesi	<50		Blok çakıldaşı, çakıllı kumtaşıları
	NEOJEN	MİYOSEN	Gölsel Karbonat	200		Bej renkli kireçtaşı ve çamurtaşı aralanmalı
			Karasal Kırıntılar	50-100		Çakıldaşı, kumtaşı, kıltaşı, marn ve gölsel kireçtaşı aralanması
PREKAMBRIYEN PALEOZOYİK MESOZOYİK			Menderes Masifi	>2000		Metamorfik kayalardan gnays, şist ve mermer

2.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri

Menderes Masifi'ne ait ilk tarihsel tanımlama Hamilton (1841) tarafından yapılmıştır. Menderes Masifi terimi ise ilk kez Parejas (1940) tarafından kullanılmıştır. Egeran ve Yener (1944) birlikteliğinde yürütülen çalışmada “Menderes Kristalin Masifi” ismiyle ilk defa MTA haritasında yer almıştır. Schuilling (1962) tarafından çekirdek ve örtü olarak adlandırılan iki ana birime ayrılan Ege Bölgesinde binlerce m²

alan kaplayan masif, Dora (1975) tarafından Büyük Menderes Grabeni, Küçük Menderes Grabeni, Gediz Grabeni, Simav Grabeni olmak üzere 4 asmasife bölünmüştür. Çekirdek serilerinin polimetamorfik evriminin pan-afrikan (750-450 My), örtü serileri ve çekirdeğin belli kısmını etkisi altına almış olan Alpin Metamorfizmasının Eosen yaşlı olduğu konusunda görüş birliğine varılmıştır (Dora, 2011).

Çalışma alanında metamorfik kayalardan gnays, şist ve mermerler gözlenmiştir. Söke Grabeninin güneyinde Bafa Gölü'nün kuzeyinde kalan bölgelerde bol feldispat içeren yapraklanma aralığı farklılık gösteren foliyasyonlu gnayslar gözlenmiştir. Araştırmacıların tamamına yakınına göre gnayslar çekirdek serisi olarak kabul edilir. Masifin çekirdeğini oluşturan temel birim olarak gnayslar Prekambriyen-Kambriyen olarak yaşlandırılmıştır (Hetzl ve Reischmann, 1996). Aynı bölgede grabene yakın noktalarda mika içeriği yüksek şistlerde gözlenmiştir.

Söke Grabeninin kuzeyinde Samsun dağlarının tamamına yakınında mermer ve şistler gözlenmiştir. Bu bölgedeki şistlerin metamorfizma süreci güneyden farklıdır. Şist kayası içindeki fengit kristallerine argon izotop yöntemi uygulanarak 40 My (Orta Eosen) olarak yaşlandırılmıştır (Oberhansli ve diğer., 1998). Grabenin kuzey kolunda kalan şist-mermer geçişleri gözlenen metamorfik serinin, bazı güncel çalışmalarda Menderes Masifi Metamorfiklerinden ayrı tutularak Kikladik Masif'e ait metamorfik kayalar olarak tanımlanmaktadır. Şist-mermer-gnays metamorfik birimleri bu tez çalışması kapsamında Menderes Masifi olarak ele alınmıştır.

2.1.2 Karasal Kırıntılar

Söke ilçe merkezinin batısında ve Bafa Gölü'nün güneyinde yer alan bej renkli kireçtaşlarına uyumsuz olarak kilden kuma kadar farklı boyutlarda sedimanter oluşumlar gözlenmiştir. Gölsel karbonat olarak tanımlanan kireçtaşlarıyla yaklaşık aynı zamanda olduğu tahmin edilen birim, Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu tortullar çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, marn ve gölsel kireçtaşı aralanmasından oluşurlar ve Bafa Gölü'nden Didim çevresindeki güncel deniz kıyısına kadar yayılım gösterirler.

2.1.3 Gölsele Karbonat

Bej renkli kireçtaşı ve çamurtaşı ardalanmalı gözlenen birim Bafa Gölü güneyinde ve Söke ilçe merkezinin batısında gözlenmiştir. Arazi çalışması kapsamında *Planorbis* ve *Turitella* fosilleri tespit edilmiştir. Birimin faunal bileşimleri sıg tatlı su karbonat göl ortamını işaret etmektedir. Sümer (2013) çalışmasında Kuşadası formasyonunun üyesi olarak tanımlanan birim, formasyonun alt bölümünü kesen Hisartepe Volkanitleri'nden elden edilen Argon izotopu radyometrik yaş hesaplamalarına göre Orta-Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.

2.1.4 Alüvyon Yelpazesi

Söke Grabeninin güney ve kuzey sınırları boyunca birçok alüvyon yelpazesi gözlenir. En büyük yelpazenin yer aldığı Söke başta olmak üzere yerleşim yerlerinin çoğu alüvyon yelpazesinin üzerine kuruludur. Alüvyon yelpazeleri, Söke Grabeni'nin kuzeyinde yer alan Söke Fay hattı boyunca yükselen Metamorfik kayaların üzerinde gözlenir. Sazlıköy, Yenidoğan, Güllübahçe, Yuvaca, Atburgazı, Tuzburgazı, Doğanbey ve Karina alüvyon yelpazeleri arazi çalışması kapsamında ayırt edilmiştir. Yelpazeler içeriğinde açık kahverengi, kötü boylanmış, az yuvarlaklaşmış blok çakıltası, çakıllı kumtaşları barındırmaktadır. Alüvyon yelpazeleri tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Görünür kalınlıkları 25-30 metre arasında değişmekle birlikte kabaca 50 metreden kısa olarak yorumlanarak Kuvaterner olarak yaşlandırılmıştır.

2.1.5 Alüvyon

Büyük Menderes Nehri graben boyunca Denizli'den itibaren akmakta ve son olarak Söke Ovası'ndan deniz boşalmaktadır. Nehrin taşıdığı sedimanlarla meydana gelen güncel delta, verimli arazi olmasıyla bilinmekte ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimi olarak ifade edilmektedir.

2.1.6 Plaj - Kumul

Söke Grabeni'nin kuzeybatısında, kurutulan nehir yatağının denize boşaldığı noktalarda Karina Lagünü olarak ifade edilen bölgede belirmektedir. Tuzburgazı ilçesinin kurulu olduğu denizel yelpaze deltası ve Büyük Menderes Nehri akarsu delta çökelleri ile ilişkili olarak meydana gelen plaj kumlarını ve kum barlarını temsil eder. Bu güncel oluşumlar haliyle Kuvaterner olarak yaşlandırılmıştır.

2.2 Yapısal Jeoloji

Söke Grabeni kuzeybatı – güneydoğu hattı boyunca faylar gözlenmiştir. Çalışma alanında en dikkat çeken yapısal öge ise kuzeybatı hattı boyunca graben sınırında gözlenen yaklaşık 40 kilometre uzunluğundaki fay zonudur. Birçok çalışmaya konu olan fayın varlığı en son 1955 yılında gerçekleşen depremde Söke ve grabenin güneybatısında yer alan Balat bölgesinde hissedilmiştir. 6.8 büyüklüğündeki yıkıcı depremde 23 insan hayatını kaybetmiş 470 binada hasar meydana gelmiştir. Hasara sebep olan ve grabenin kuzey hattını kontrol eden fay, araştırmacılar tarafından Söke – Balat Fayı (Mckenzie, 1978; Hancock ve Barka, 1987), Priene – Sazlı Fayı (Gürer ve diğer., 2001; Sümer, 2013) ve Söke Fayı (Duman ve diğer., 2012) olarak farklı adlandırmalar üzerinden çalışılmıştır. Bu araştırma kapsamında ilgili fay 'Söke Fayı' olarak anılmaktadır. Yüksek açılı Söke Fayı genel olarak Kuzeydoğu – Güneybatı uzanımlıdır, yalnızca Karina – Atburgazı sınırı boyunca Doğu – Batı uzanımlı olarak belirmektedir. Tavan bloklarında Menderes Masifi Metamorfiklerine ait mermer ve şistler, taban bloklarında ise Miyosen yaşlı sedimanter kayalar ve fay yüzeyinde birikmiş çökeller bulunmaktadır.

Söke Grabeni güneyinde Akköy yerleşim yerinin güneyinde 'Akköy Fayı' yüzlek vermekte olup doğuda Bafa Gölü'nden başlayıp Ege Denizi'ne kadar sürmektedir. Fay taban ve tavan bloklarında karasal kırıntılar ve gölsel karbonat kayaları içermektedir.

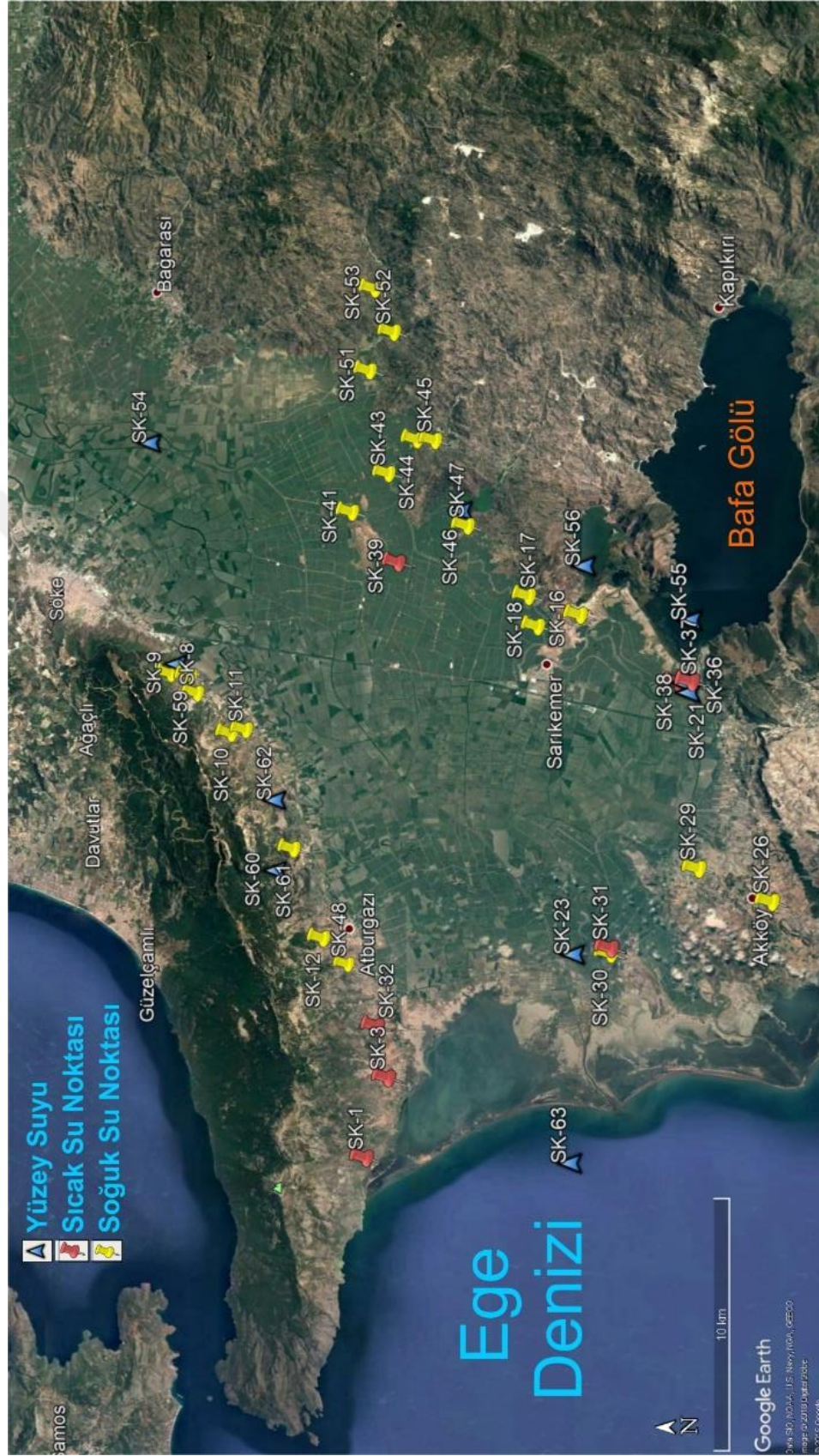
BÖLÜM ÜÇ

HİDROLOJİ

Bu bölüm akaçlama (drenaj) ağının ve beslenme alan sınırlarının belirlenmesi, meteorolojik veri seti yardımıyla hesaplanan su bütçesi sonuçlarının değerlendirilmesi konularını kapsamaktadır.

3.1 Su Noktaları

Söke Ovası'nı besleyen ve havzada yer alan yeraltı (kuyu, kaynak) – yüzey (Nehir, dere) sularından toplamda 62 noktadan örnekleme yapılmıştır. Birbirlerine olan yakınlık ve benzer fiziksel parametrelere (Eİ, tuzluluk, pH) sahip sular laboratuvar çalışması kapsamında anyon analiz sonuçlarındaki benzerliğin ardından 37 örneğe indirgenmiştir. Kaynak taraması yapılan SK-37 ile gösterilen Egemar üretim kuyusu (Tarcan, 2013)'den, SK-55 ile işaretlenen Bafa Gölü (Tarcan, Gemici, ve Savaşçın, 2007)'den, SK-63 deniz suyu ise (Gemici ve Somay, 2012) çalışmasından alınmıştır. 40 örnek noktası Google Earth Pro programına işlenerek çalışılmıştır (Şekil 3.1).

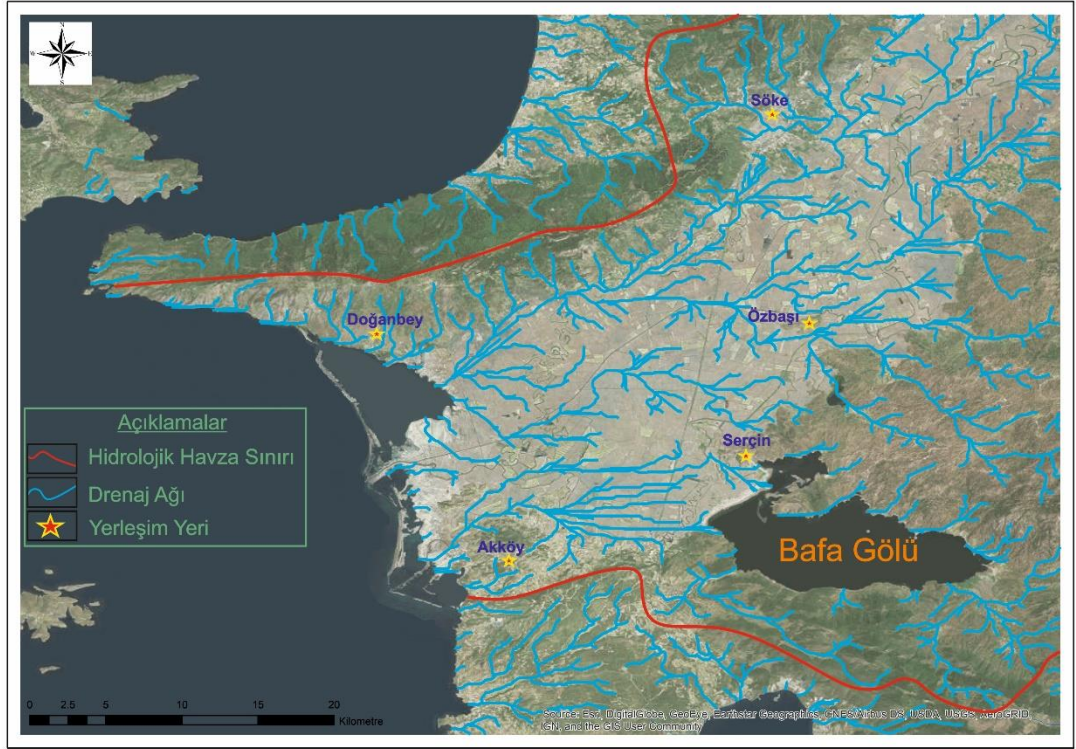


Çalışma alanının başlıca yüzey suları Bafa Gölü, Serçin Gölü, Azap Gölü, Büyük Menderes Nehri, Dalyan Kanalı ve nehrin kuzey kolu kurutularak tarımsal sulama ihtiyacının karşılanması amaçlı kurulmuş olan kanaldır. SK-54 örnek noktasına karşılık gelen konum aynı zamanda Söke regülatörünün bulunduğu yeri ifade etmektedir. Tarımsal su ihtiyacını karşılamak amacıyla kuzeyde bir hat boyunca kurulan sulama kanalına, regülatör aracılığıyla Büyük Menderes Nehri suları dönemsel olarak aktarılmaktadır.

Bafa Gölü ve çevresindeki yüzey suları, idare tarafından geliştirilen yapılarla yönlendirilmektedir. Bafa Gölü, 1994 yılında Tabiat Parkı olarak koruma alanı ilan edilmiştir. Büyük Menderes deltasına benzer ekosisteme sahip göl, nesli tükenmekte olan birçok canlıya ev sahipliği yapmakta ve birçok kuş türü için üreme ortamı sağlamaktadır. Maksimum derinliği 25 metre olan Bafa Gölü'nde, kurak dönemlerde gerçekleşen toplu balık ölümleri, tuzlanma ve su seviyesindeki düşüşün önlenmesi amacıyla farklı mühendislik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5.3.3'de detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.2 Drenaj Ağı

Hidrolojik drenaj ağı incelenecek olursa Söke Ovası, güneyde şist-gnays-mermer ve kuzeyde şist-mermer boyunca akaçlanmaktadır (Şekil 3.2). Ovanın kuzeyi boyunca yer alan Samsun Dağı'nın güney kısmı ovayı besliyorken, kuzey kısmı Kuşadası Körfezini beslemektedir. Akköy fayının güneyinde kalan alanlar ise Didim körfezini beslemektedir. Çalışma alanındaki akiferlerin beslenmesi, metamorfik kayalar; yüksek kesimlerdeki gnays, mermer, şist, kuvarsit ve Neojen yaşlı tortul birimleri üzerindeki derelerden beslenen Büyük Menderes Nehri ile yıllık yağışlar tarafından karşılanmaktadır.



Şekil 3.2 Çalışma alanı drenaj ağı haritası

3.3 Su Bütçesi

Söke Ovası yakınında bulunan Aydın iline ait 1940-2017 yıllarını kapsayan aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ve Söke Ovası yakınındaki 17881 numaralı istasyonun 2005 – 2017 yıllarını kapsayan aylık ortalama yağış (mm) değerinden veri seti oluşturulmuştur. Thornthwaite (1948) yöntemi uygulanarak karşılaştırmalı su bütçesi yapılmıştır. Bu uygulama buharlaşma ve terleme (Evapotranspirasyon) değerlerinin doğrudan hesaplanamadığı sahalarda etkili olarak kullanılabilir.

Evaporasyon, suyun sıcaklık etkisiyle buhar hale geçmesini ifade eden fiziksel olaydır. Çalışma alanındaki topraktan ve diğer yüzeylerden doğrudan buharlaşan suların toplamıdır. Terleme (Transpirasyon), bitkilerin topraktan emilim sağladığı suyu, buhar halinde atmosfere bırakmasıdır. İki değişkenin bir arada değerlendirilebildiği bu yöntemde buharlaşma ve terleme toplamı Evapotranspirasyon (Etp) olarak adlandırılır.

Etp'yi değiştiren etkenler; meteorolojik, hidrolojik ögeler ve fizyolojik olaylar olarak 3 temel grupta incelenebilir. Meteorolojik ögeler; su noksanlığı, sıcaklığı, rüzgar hızı ve basınca bağlı olarak değişkenlik göstererek buharlaşma gücüne etki ederler. Hidrolojik ögeler; buharlaşma yüzeyi, su tablasının yeryüzüne yakınlığıdır. Buharlaşma olması beklenen kıtasal kabuğun yüzey özellikleridir. Fizyolojik olaylar; bitki türü, yaşı, kök derinliği, toprak gelişimi gibi özelliklerdir. Ayrıca enlem derecesi, yükselti gibi coğrafik değişkenlerde evapotranspirasyon üzerinde etkilidir.

Yukarıda verilen ön bilgilerin ardından Thorntwaite (1948) yönteminin uygulanması için öncelikle bölgenin ortalama sıcaklık değerleri üzerinden her ay için sıcaklık indisi (i) hesaplanır. Ardından her ay için elde edilen değerler toplanarak toplam sıcaklık indisi (I) bulunur. Etp hesaplamadan önce 'a' katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Aşağıda ifade edilen denklemlerle her ay için Etp hesaplanır.

$$i = (t/5)^{1.541} \quad (3.1)$$

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (3.2)$$

$$a = (675 * 10^{-9})I^3 - (771 * 10^{-7})I^3 + (179 * 10^{-4})I + 0,492 \quad (3.3)$$

$$Etp = 16 * \left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad (3.4)$$

Bu yöntemde, hesaplanan Etp değeri çalışma alanının enlemine göre düzeltme katsayısı ile çarpılarak daha doğru değere dönüştürölür. Yüksek sıcaklık ve güneş ışığı açısı en dik olsa bile buharlaşma olması için su gerekmektedir. Gerçek buharlaşma değeri, aylık yağış ve zeminde tutulan su ile ilgilidir. Yöntemdeki en önemli değişkenlerden zemin yedeği ya da bitkilerin maksimum su tutma kapasitesi, ovanın organikçe zengin killi (Clay Loam) birim ile kaplı olduğu göz önünde bulundurularak 39 mm olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık ve buharlaşma potansiyeli olmasına rağmen yeteri kadar yağış olmamış ise, zemin yedeğinde depolanan suyun buharlaştığı kabul edilir. Zemin yedeğinin tükenmesi ardından yağış miktarının, buharlaşma (Etp) miktarından fazla olmaması durumu 'su kıtlığı' olarak yorumlanır.

Tablo 3.1 Söke İlçesi 1940-2017 yıllarını kapsayan karşılaştırmalı su bütçesi

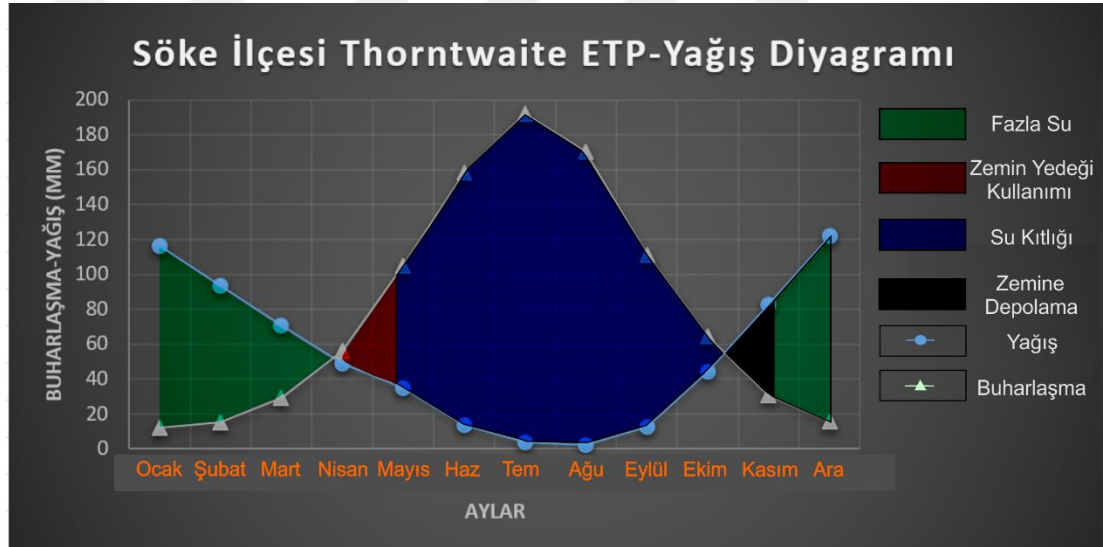
SÖKE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM	ORTALAMA
Sıcaklık - t (°C)	8,10	9,30	11,70	15,90	20,90	25,80	28,40	27,60	23,50	18,40	13,40	9,50	-	17,71
Sıcaklık indisi*	2,08	2,56	3,62	5,76	8,72	11,99	13,87	13,28	10,41	7,19	4,45	2,64	86,58	7,21
P=Yağış (mm)	116,5	93,6	70,9	48,8	35,2	13,7	3,7	2,3	12,6	44,1	82,6	122	646,00	53,83
Etp (mm) **	14,10	18,33	28,37	50,84	85,51	127,65	153,22	145,12	106,88	67,11	36,72	19,09	852,94	71,08
Enlem Düzeltme Kats. (38°)	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,83	-	-
Etr = Düzeltilmiş Etp	11,98	15,40	29,22	56,43	105,18	158,28	192,29	170,51	111,15	64,43	30,84	15,75	961,48	80,12
Yağış Fazlası (P- Etr)	104,52	78,20	41,68	-7,63	-69,98	-144,58	-188,59	-168,21	-98,55	-20,33	51,76	106,25	-	-
Zemin Yedeği	39,00	39,00	39,00	31,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	39,00	-	-
Gerçek Buharlaşma (ETr)	11,98	15,40	29,22	56,43	66,57	13,70	3,70	2,30	12,60	44,10	30,84	15,75	302,59	25,22
Fazla Su	104,52	78,20	41,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,76	106,25	343,41	-
Yeraltına Sızan Su (I)	78,82	78,51	60,10	30,05	15,02	7,51	3,76	1,88	0,94	0,47	6,61	53,13	336,79	51,81
P-I	37,68	15,09	10,80	18,75	20,18	6,19	-0,06	0,42	11,66	43,63	75,99	68,87	309,21	-

* I = $(t/5)^{1,514}$

** Etp = $16 \times (10t/I)^a$

** a = $(675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 + (179 \times 10^{-4})I + 0,492$

Söke ilçesini kapsayan 77 yıllık sıcaklık ve yağış ortalaması üzerinden yapılan hesaplar sonucunda toplam yıllık yağış 646 mm, buharlaşma potansiyeli 961,48 mm olduğu ancak gerçek buharlaşmanın 302,59 mm ile sınırlı kalması dikkat çekmektedir. Yağışların ardından yeraltına sızan su miktarı yıllık 336,79 mm olarak bulunmuştur. Yıllık toplam yağışın 646 mm olduğu göz önünde bulundurulursa, yağışların %52,1'i yeraltına sızarak alüvyon akiferi beslemektedir. Söke ilçesi civarı ve güneyinden itibaren tarım yapılan alan yaklaşık olarak 500 km² olarak hesaplanmıştır. Yağış sonrası yeraltına sızan su miktarı ile tarım yapılan alan üzerinden değerlendirme yapılacak olursa yeraltı suyu emniyetli çekim miktarı yılda yaklaşık 168 milyon metreküp olmalıdır (Tablo 3.1). Emniyetli çekim hesaplamasında yanıl beslenmeler ihmal edilmiştir.



Şekil 3.3 Söke ilçesi yağış-buharlaşma veri setinin Thorntwaite (1948)'e göre yorumlanması

Ocak-Şubat-Mart-Nisan aylarında mm cinsinden yağış toplamı, Etp'den fazladır. Bu durum, fazla su olarak ifade edilir. Yağış miktarının buharlaşmadan (Etp) büyük olması nedeniyle gerçek buharlaşma değeri (Etr) ile Etp eşittir. Nisan ayı ortalarına kadar yeraltı suyu rezervi doludur. Nisan ayı sonlarından itibaren zemin yedeği olarak ifade edilen vadoz zonda bitkiler tarafından tutulan sular buharlaşmaya başlamaktadır. Mayıs ayında tamamen tüketilmiş olan zemin yedeğinden sonra, Ekim ayı sonlarına kadar su kıtlığı yaşanmaktadır. Yağışlı dönemin başlayıp sıcaklığın düşmesiyle beraber kasım ayındaki yağış suları zeminde depolanmakta ve zemin yedeği

tamamlanmaktadır. Kasım ayı ortasından itibaren yağış fazlası (fazla su) vermekte olup yeni yılın Nisan ayına kadar durum değişmemekte ve aynı döngü her sene yaklaşık olarak tekrar etmektedir (Şekil 3.3).

3.4 İzotop Hidrolojisi

Periyodik tabloda tek simge ifade edilen elementin, proton sayısı eşit iken nötron sayısının farklı olma durumu izotop olarak adlandırılır. İzotopların çekirdekte bulunan nötron sayısının aynı olmamasından kaynaklı atom ağırlık değerleri birbirinden farklılık gösterir. İzotoplar duraylı (durağan) olarak bulunabiliyorken, bazılarının çekirdekleri devamlı bozunum göstererek farklı cinsteki atomlara dönüşürler. Radyoaktif bozunma olarak tanımlanan bu dönüşüm sürecine sahip elementler, duraysız ya da radyoaktif olarak sınıflandırılır. Aynı proton sayısına sahip bir elementin 10'larca izotopu bulunabilir, izotop elementler laboratuvar ortamında yani yapay olarak elde edilebilir.

Duraylı izotoplar ise radyoaktif bozunma göstermeyen kararlı haldeki izotoplardır. Derişimleri izotop ayırılmasıyla kontrol edilir. Doğada birçok elementin birden fazla duraylı izotopu bulunmaktadır. Elementin bütün izotopları aynı elementi temsil ettiği gibi aynı kimyasal özelliklere sahiptir. Farklı nötron sayısından dolayı ortaya çıkan atomik kütle farklılığı nedeniyle fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik süreçler boyunca elementin izotop dağılımlarında değişiklik gözlenir.

İzotop ayırılması olarak adlandırılan bu durumun sebebi, molekül veya kristal yapısında bulunan nötron fazlalığından dolayı atomların titreşim frekanslarındaki farklılıklardır. İzotopça zengin olanın titreşim frekansı, fakire göre daha düşük olması nedeniyle zengin izotopların diğer atomlarla kurduğu bağlar daha kuvvetli olmaktadır.

Yeraltı suyu çalışmalarında kullanılan iki önemli çevresel izotop Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (^2H)'dur. Bu çalışma kapsamında yeraltı sularının hidrojen ve oksijen izotop oranları analiz edilerek ve yorumlanmıştır. Hidrojen elementi doğada %99,985 ^1H , %0,015 ^2H (Döteryum) bolluk oranlarında bulunmaktadır. Tritiyum (^3H) izotopu

çok daha düşük oranda bulunmakla birlikte radyoaktiftir. Oksijen elementi doğada %99,762 ^{18}O , %0,038 ^{17}O , %0,200 ^{16}O bolluk oranlarında bulunmaktadır. Yeraltı suyu çalışmalarında başvurulmuş H ve O izotop analizleri, en bol bulunan ^{18}O , ^1H ve en az bulunan ^{16}O , ^2H oranının hesaplanmasını hedef almaktadır. Oksijenin ^{17}O izotopunun doğadaki derişimi çok küçük olması nedeniyle en bol ve en az bulunan izotoplar hesaba katılır. Bu iki izotopun hidrolojik çevrim içindeki miktarları, ortam koşullarına bağlı olarak değışiklik gösterir. Bu değışiklik sonucunda meydana gelen yeni oranlar sürecin yorumlanması için kullanılır. Oksijen – Hidrojen izotop değeri miktar olarak değil oransal olarak işlem yapıldığında anlam kazanır. Küresel Meteorik Su Çizgisi (GMWL) standardı temel alınarak sapmalar üzerinden izotop oranı hesaplanır. Duraylı izotop oranı δ (delta) notasyonu ile ifade edilir. Sonuç sıfırın çok uzağında olması nedeniyle işlem kolaylığı için bin ile çarpılır.

$$\delta \text{ Çok bulunan izotop (binde)} = \frac{\left(\frac{\text{Çok}}{\text{Az}}\text{izotop}\right)_{\text{örnek}} - \left(\frac{\text{Çok}}{\text{Az}}\text{izotop}\right)_{\text{standart}}}{\left(\frac{\text{Çok}}{\text{Az}}\text{izotop}\right)_{\text{standart}}} \times 10^3 \quad (3.5)$$

Söke Ovası'na ait 28 örnek noktasının $\delta^{18}\text{O}$ ve D oranları analiz edilmiştir. 2 örnek noktası için geçmiş çalışma verileri kullanılmıştır. 30 analizin örnek numaraları, nokta tipi, izotop oran sonuçları Tablo 3.2'de, örnekleme noktaları ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

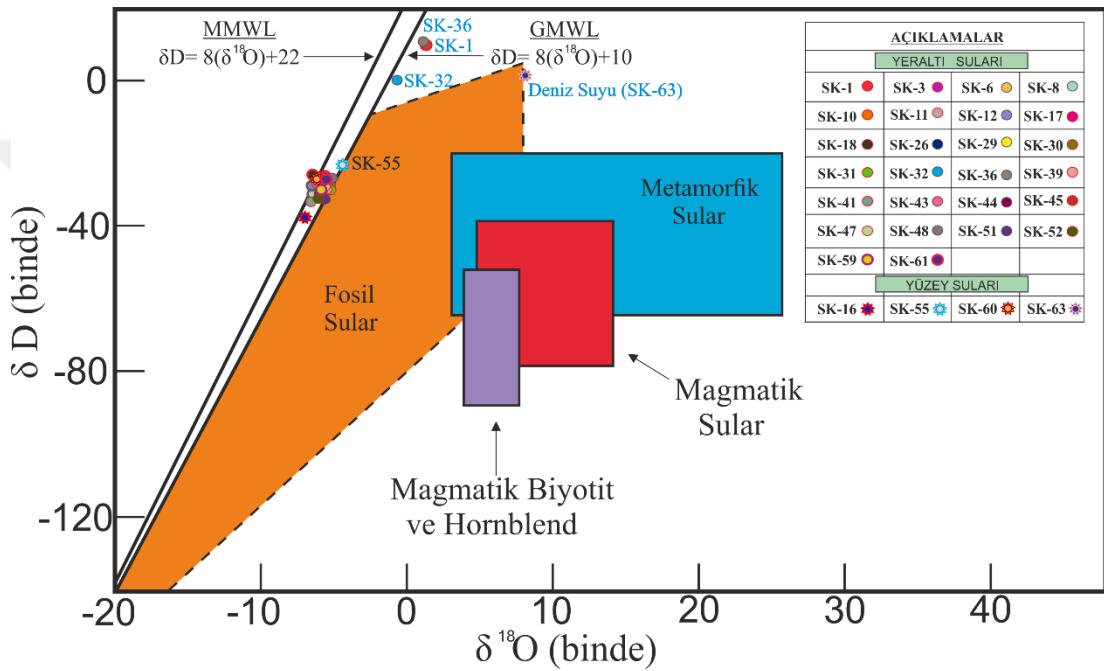
Tablo 3.2 Suların izotop oranı

NU	Nokta Tipi	İzotop Oranı	
		$\delta^{18}\text{O}$	δD
SK-1	Jeotermal Kaynak	1,33	9,68
SK-3	Jeotermal Kuyu	-5,6	-26,66
SK-6	Kuyu	-5,86	-29,08
SK-8	Kaynak	-6,43	-31,15
SK-10	Kuyu	-5,83	-27,44
SK-11	Kuyu	-5,84	-27,88
SK-12	Kuyu	-6,47	-28,89
SK-16	Yağmur Suyu	-7	-37,29
SK-17	Kaynak	-5,61	-26,79
SK-18	Kaynak	-5,49	-25,46
SK-26	Kuyu	-5,48	-25,51
SK-29	Kuyu	-5,41	-26,82
SK-30	Kaynak	-5,15	-26,84
SK-31	Jeotermal Kuyu	-5,14	-27,71
SK-32	Jeotermal Kaynak	-0,62	1,01
SK-36	Jeotermal Kuyu	0,9	10,78
SK-39	Jeotermal Kuyu	-5,55	-28,49
SK-41	Kuyu	-6,52	-30,97
SK-43	Kuyu	-5,84	-27,5
SK-44	Kuyu	-5,54	-28,46
SK-45	Kuyu	-5,54	-28,2
SK-47	Kuyu	-5,38	-27,29
SK-48	Yüzey	-5,22	-24,83
SK-51	Kuyu	-5,72	-29,87
SK-52	Kuyu	-5,75	-29,37
SK-55**	Yüzey	-5,4	-27,9
SK-59	Kuyu	-5,74	-27,48
SK-60	Yüzey	-6,2	-26,88
SK-61	Kuyu	-5,74	-26,37
SK-63***	Deniz Suyu	8,1	1,3

** (Tarcan vd., 2007)

*** (Gemici ve Somay, 2012)

Söke Ovası çevresinden alınan örneklerin izotop oranları ilk olarak suların kökeni hakkında yorum yapabilmemizi sağlayan (Taylor, 1974), (Taylor, 1977), (Sheppard, Brown, ve Chambers, 1977) ve Sheppard (1981) tarafından geliştirilen diyagram aracılığıyla yorumlanmıştır. Küresel Meteorik Su Çizgisi (GMWL) Craig (1961)'den; Akdeniz Meteorik Su Çizgisi (MMWL) Gat ve Carmi (1970)'den alınarak diyagrama işlenmiştir. İlk bulgular göstermektedir ki yeraltı sularının tamamına yakını ya Akdeniz Meteorik Su çizgisi (MMWL) üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.4).



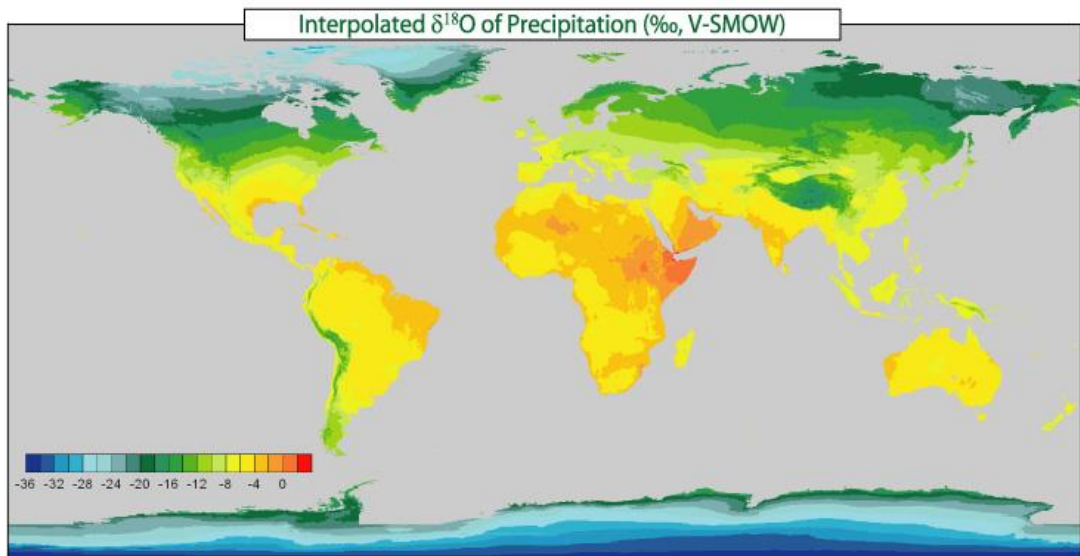
Şekil 3.4 İzotop oranlarından suların kökeninin yorumlanmasını sağlayan diyagram, magmatik su bölgesi Taylor (1974) ve Sheppard ve diğer. (1977)'den; metamorfik su bölgesi Taylor (1977) ve Sheppard (1981)'den; fossil su, biyotit ve hornblend bölgesi Taylor (1974)'ten; Küresel Meteorik Su Çizgisi (GMWL) Craig (1961)'den; Akdeniz Meteorik Su Çizgisi (MMWL) Gat ve Carmi (1970)'den alınmıştır

İlk bulgular, suların tamamına yakınının güncel ve yağış (meteorik) kaynaklı olduğunu işaret etmektedir. Aykırı 4 örnek irdelenecek olursa, deniz suyu (SK-63) beklendiği gibi farklı karakterdedir. Deniz suyu girişimi etkisindeki jeotermal kaynaklar (SK-1, SK-32) ile jeotermal kuyu (SK-36) suları ise tuzlu su girişimi etkisinden dolayı oksijen-18 oranında zenginleşme gözlenen örneklerdir. Jeotermal kökenli suların dolaşımı sırasında hidrokarbon ya da hidroksiapatit kaynaklı döteryum (^2H) zenginleşmesi meydana gelmektedir.

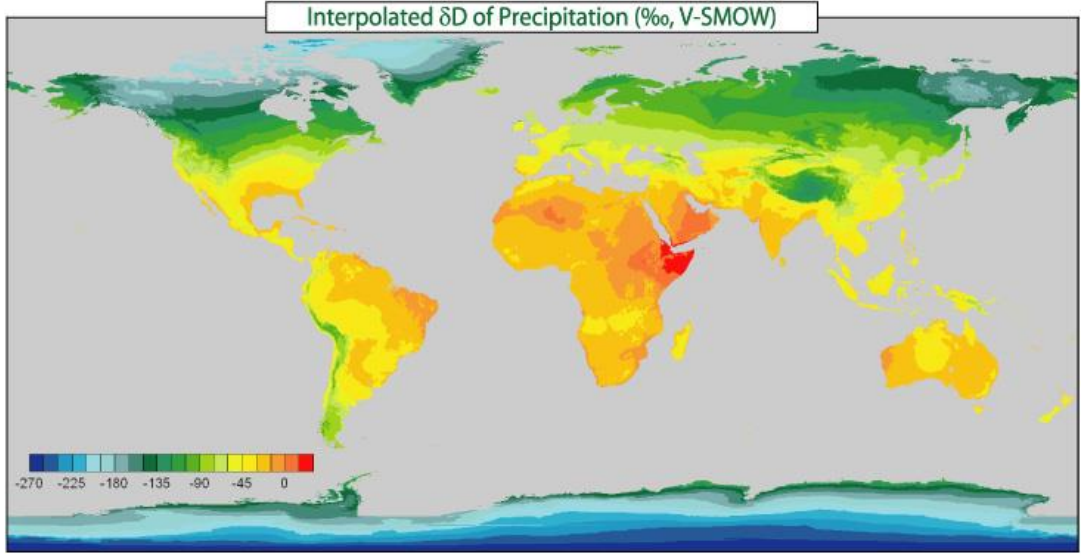
Yeraltı sularının beslenmesi meteorik (yağış) kökenlidir. Değerlerin kıyaslanması, çalışılması ve yorumlanması için sudaki döteryum ve oksijen-18 değerlerini etkileyen faktörlerin sebep-sonuç ilişkisiyle birlikte özümsemiş olması gerekmektedir.

İzotop oranında sapmalara neden olan temel değişken, okyanuslarda meydana gelen buharlaşma ve yoğunlaşma sürecidir. Buharlaşmada hafif olan izotoplar daha çok buhar fazına geçme eğilimindedir, yoğunlaşmada ise ağır olan izotoplar önceliklidir. Moleküler boyutta dahi olsa ağırlık farkından kaynaklanan bu süreç sonunda meteorik yağış suları, deniz suyuna (SK-63) oranla daha düşük $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop oranlarına sahip hale gelmektedir.

Meteorik suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop oranları yıllık ortalama hava sıcaklığına da bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık, izotopik ayırım sürecinde suyu izotopça zenginleşme yönünde doğrudan değiştirebilen etkidir. Yapılan çalışmalarda yaz yağmurları, kış yağmurlarından daha fazla $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içermektedir (Gonfiantini, 1985). Türkiye’de kış ve yaz mevsimleri arasındaki sıcaklık farkının fazla olduğu bölgelerde $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriğinde meydana gelen zenginleşme daha bariz olarak gözlenir (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005). Örneklerin kış mevsiminde alınmasından dolayı yazla kıyasla daha düşük oranda izotop zenginleşmesi beklenir.



Şekil 3.5 Yıllık yağıştaki ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ’ın küresel dağılımı (Bowen ve Wilkinson, 2002)

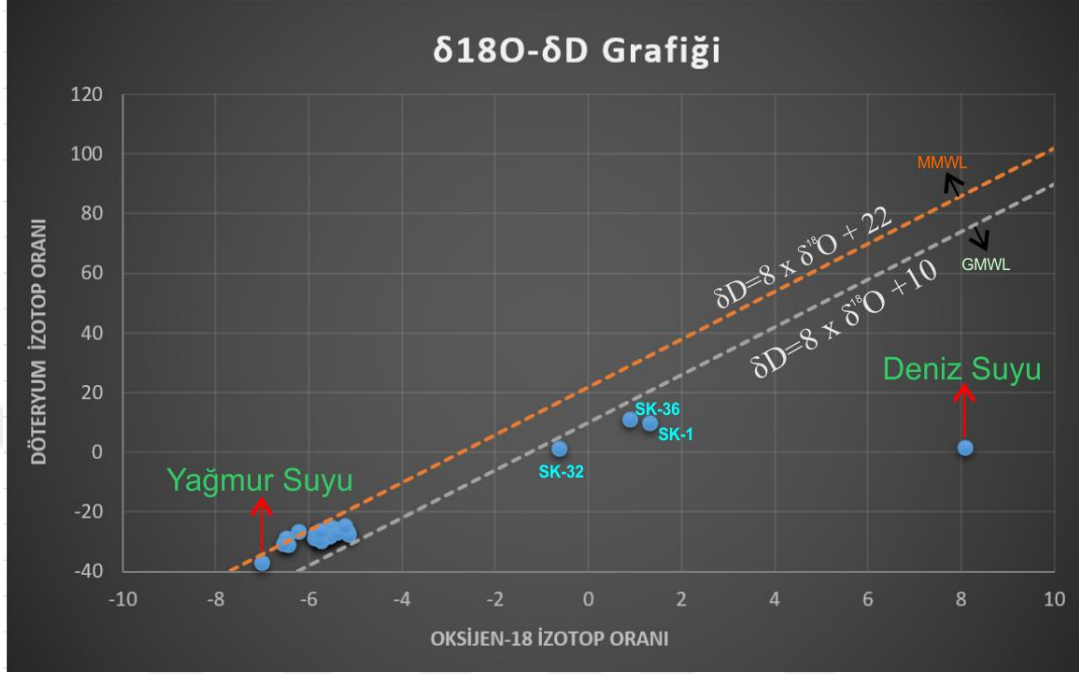


Şekil 3.6 Yıllık yağıştaki ortalama δD değerlerinin küresel dağılımı (Bowen ve Wilkinson, 2002)

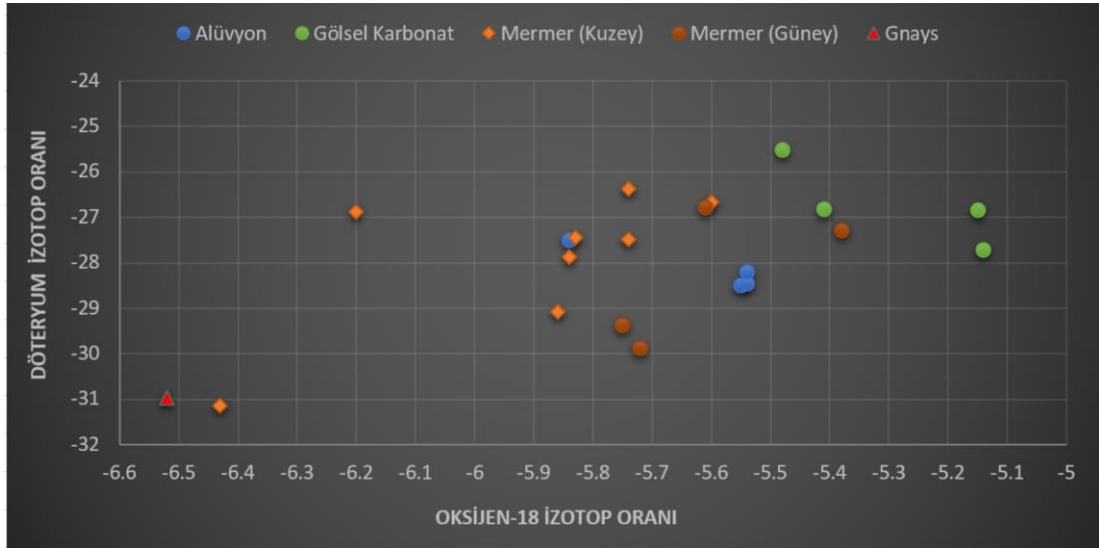
Meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD izotop oranları bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak da değişim göstermektedir. Enlem ve yükseklik arttıkça $\delta^{18}O$ ve δD değerleri negatifleşmektedir (Şekil 3.5, 3.6). Ekvatorun kuzeyi ve güneyindeki sonuçların örtüşmesi gerekiyorken farklı değerlere sahip olmasının nedeni, karasallık ile mevsimsellik etkisi olarak açıklanabilir. Diğer tüm yaklaşımlarda olduğu gibi enlem etkisi tek başına belirleyici özellik değildir.

Küresel Meteorik Su Çizgisi olarak ifade edilen ‘GMWL’ olarak kısaltılan kavram, okyanus sularının izotop içeriği ortalamasını belirtmektedir. (Craig, 1961) tarafından önerilen eşitlikte $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$ olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanını temsil edecek Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (MMWL) ise (Gat ve Carmi, 1970) tarafından önerilen eşitlikte $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 22$ olarak tanımlanmıştır. GMWL ve MMWL doğrusu göz önünde bulundurularak örneklerin δ^2H ve $\delta^{18}O$ izotop oranları grafiğe işlenmiştir. Deniz suyu (SK-63) izotop oranına yakın izotop oranlarına sahip yeraltı suları dikkat çekmektedir (Şekil 3.7). SK-63 deniz suyu örneği izotop oranları diğer tüm örneklerden aykırı olacak şekilde yer edinmektedir. SK-16 yağmur suyu örneğinin izotop oranları (Gat ve Carmi, 1970) tarafından önerilen Akdeniz Meteorik Su doğrusu ile neredeyse aynı noktadadır. SK-1, SK-32 jeotermal kaynakları ile SK-36 jeotermal kuyusu deniz suyu girişi nedeniyle yüksek tuzluluk içerisindedir. Tuzlu su girişi

ile ilgili hidrojeokimyasal veriler üzerinden yapılan çalışmalar 5. Bölümde detaylandırılmıştır.



Şekil 3.7 Suların $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ grafiği



Şekil 3.8 Soğuk yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafiği

Gnays akiferinden üretim sağlanan tek örnek SK-41'dir. Menderes Masifi Metamorfiklerinin Mermer akiferinden üretim sağlanan 9 örnek SK-6, SK-8, SK-10, SK-11, SK-17, SK-47, SK-59, SK-60, SK-61'dir. Akköy fayı kuzeybatısından Gölsel

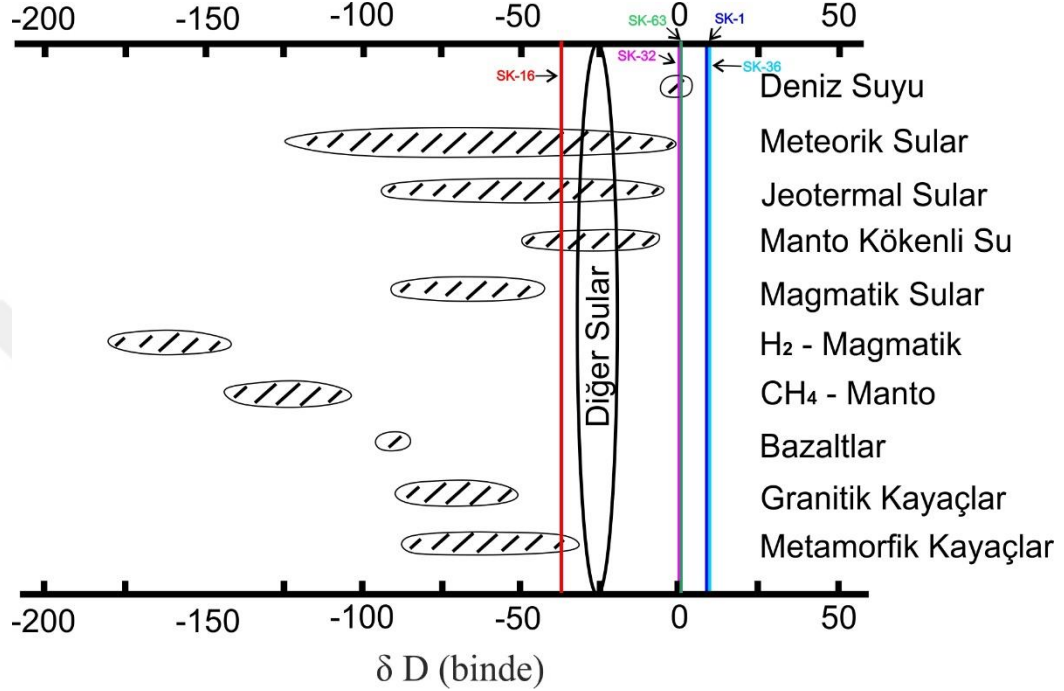
Karbonat akiferinden üretim sağlanan 4 örnek SK-26, SK-29, SK-30, SK-31'dir. Alüvyon akiferinden üretim sağlanan 6 örnek SK-39, SK-43, SK-44, SK-45, SK-51, SK-52'dir. Ek olarak Mermer akiferi Kuzey – Güney olarak ayrıca değerlendirilmiştir (Şekil 3.8)

Soğuk yeraltı sularının izotop bolluk oranlarını gösteren Şekil 3.8 yorumlanacak olursa, Gölsel Karbonat akiferi izotopça en zengin akiferdir. Özbaşı beldesinde içme amaçlı üretim sağlanan SK-41 kuyusu, diğer akiferlerden bağımsız olarak Gnays içindeki hızlı dolaşımından dolayı izotopca fakirleşmektedir. Aynı zamanda çalışma alanındaki en düşük elektriksel iletkenliğe sahip sulardan birisi olan SK-41, yağmur suyuna en yakın izotop bolluk oranına sahiptir. Bu durum, su döngüsünün diğer yeraltı sularına oranla hızlı gerçekleştiğini işaret etmektedir.

Ovanın iç kısmında tuzlanma nedeniyle üretim sağlanamayan alüvyon biriminde; gnays, şist ve mermere yakın noktalarda örneklenen sular (SK-39, SK-43, SK-44, SK-45, SK-51, SK-52) neredeyse aynı izotop içeriğine sahiptir. SK-43 kuyudan üretim sağlanan yeraltı suyudur ve gnaysa çok yakın noktadan üretim sağlanmaktadır. Gnays birimi içinde dolaşımda olan SK-41'e benzer biçimde izotopça fakir sulardır.

Ayrıca kuzeyde ve güneyde gözlenen mermer akiferi meteorik sularla beslenmektedir. İki değişik alanda aynı birimden üretim sağlanan Mermer akiferinde beslenme açısından kot ve enlem farkı vardır. Kuzey mermerleri daha yüksek kotta ve enlemde yer alıyorken, güney mermerleri daha düşük kot ve enlemde bulunmaktadır. Kuzey Mermer akiferi örnekleri (SK-6, SK-8, SK-10, SK-11, SK-59, SK-60, SK-61), Güney Mermer akifer örneklerine (SK-17, SK-47) kıyasla ^{18}O içeriği daha negatiftir. Kuzey Mermer akiferi, güneye kıyasla çok daha yüksek kottadır. Bulutların hareketi esnasında basınç farkından dolayı yükselme esnasında daha fazla yağış meydana gelmesi beklenmektedir. Yağış esnasında ağır izotoplarca uzaklaşma, buharlaşma esnasında hafif izotoplarca zenginleşme gerçekleşecektir. Kuzeyde yer alan Mermer akiferinin bulunduğu Samsun Dağları, Güneyde yeralan Gölsel Karbonat akiferi ve Mermer akiferine oranla daha sarpıtır. Düşük kottaki yağışlarla beslenen güney akiferleri, kuzey mermerlerine oranla ^{18}O içeriği daha pozitiftir.

Yeraltı sularının özellikle döteryum izotop oranını etkileyen en önemli olaya suyun dolaşım halinde olduğu kayaçlardır. Suyun aşındırdığı ve çözünmüş iyonlarını takas ettiği kayaçlar, bulunduğu ortam ve basınç-sıcaklık farkları oransal değişime etkendir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Başlıca hidrojen kaynaklarının δ²H içeriği (Clark and Fritz, 1997) ve suların δ²H sonuçları

Örnekler incelenecek olursa birçoğu meteorik su çizgisi üzerinde çıkan, tatlı ve tuzlu su girişi etkisinde olan sular *diğer sular* olarak belirtilen alana karşılık gelmektedir. Deniz suyu (SK-63) beklendiği üzere sıfıra yakın değere karşılık gelmektedir. Kuzeyde mermerlerden yüzeyleyen ve denize karışan SK-1 jeotermal kaynağı ile güneyde Bafa Gölü civarında balık üretim tesisleri tarafından kullanılan SK-36 jeotermal kuyusu döteryumca en zengin sulardır. Lagüne boşalan SK-32 jeotermal kaynağı ise deniz suyuyla yakın değerinde döteryum izotop oranına sahiptir. Yağmur suyu (SK-16) örneği ise diğer tüm sulardan ayrı olarak en düşük döteryum oranına sahiptir. Başlıca hidrojen kaynaklarının δ²H içeriği ile Söke Ovası su verileri kıyaslandığında döteryumun kaynağının meteorik sular olduğu ve jeotermal akışkanda deniz suyu girişi olmasından dolayı döteryum oran artışından söz edilebilir.

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOLOJİ

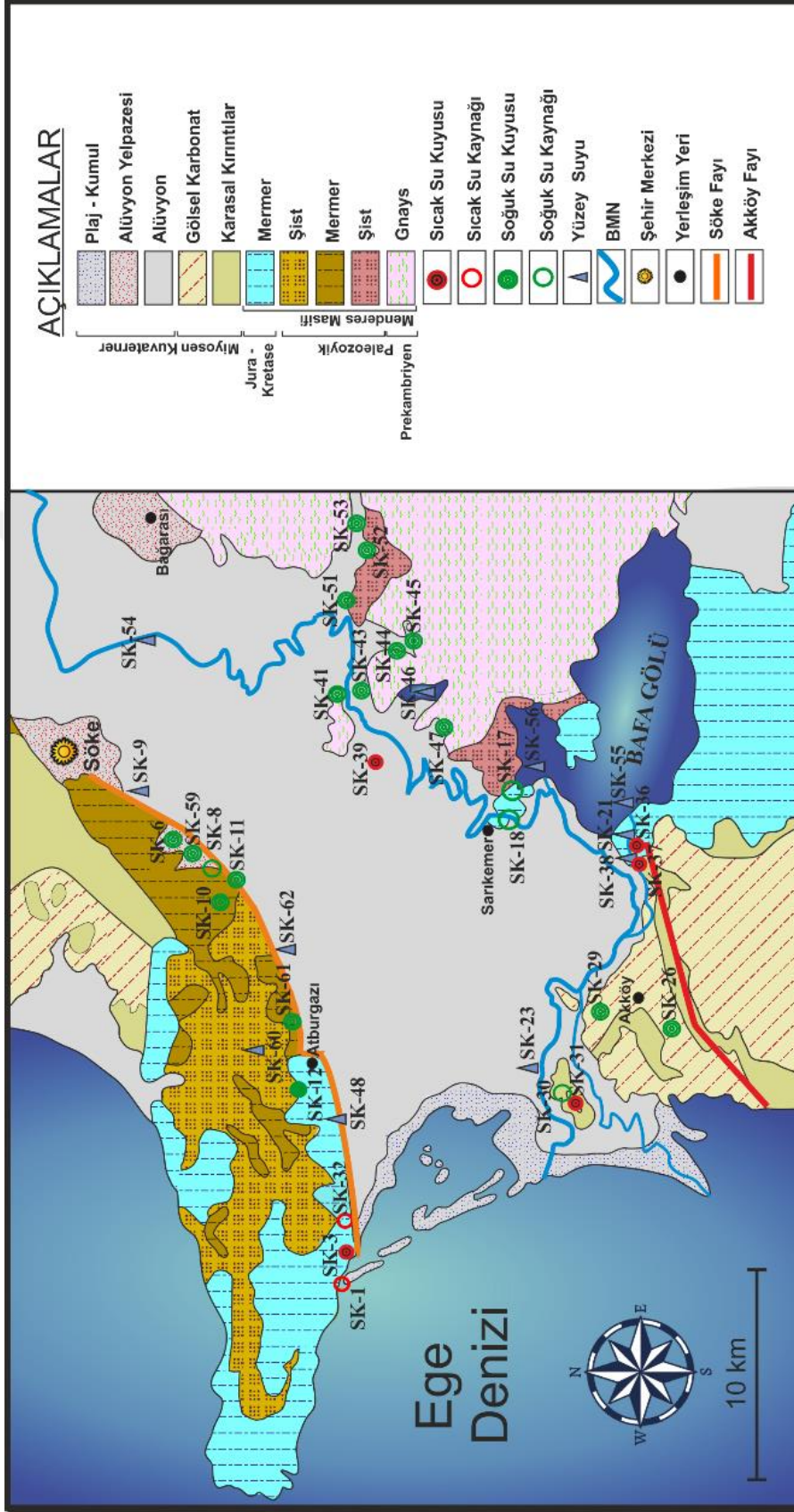
İnceleme alanı ve çevresindeki jeolojik yapının temelinde Menderes Masifi'ne ait kayaçlar yer almaktadır. Prekambriyen'den Eosen'e kadar değişik yaşlar veren gnays, şist, mermer kayaçlarından oluşan bu birimler; Neojen yaşlı karasal tortullar tarafından üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise tüm birimleri uyumsuz olarak örter. Havzada yer alan alüvyonlar, Neojen gölsel karbonatlar ve mermerler akifer oluşturan birimlerdir. Birçok kaynak ile kuyudan yeraltı suyu üretimi bulunmaktadır. Arazi çalışması kapsamında, yüzey ve yeraltı suları ile sıcak ve mineralli suların sayımları yapılarak hidrojeolojik harita oluşturulmuştur. Alüvyon ovanın kuzey ve güney sınırları boyunca Menderes Masifi'ne ait mermerlerden gelen ılık, tuzlu, karstik sular bulunmaktadır. Analiz amaçlı 7'si sıcak toplam 28 adet yeraltı suyu (kaynak, kuyu) ile 12 adet yüzey suyu (deniz, göl, akarsu) olmak üzere toplamda 40 adet örnekleme noktası üzerinden çalışılmıştır. Yerinde yapılan analizler göstermektedir ki; suların elektriksel iletkenlik değerleri 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 57,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sıcaklıkları 9,9 °C ile 27,3 °C ve pH değerleri 6,32 ile 8,92 arasında değişmektedir.

Çalışma alanının jeolojik haritası güncellenmiş ve örnekleme yapılan su noktaları haritalandırılmıştır (Şekil 4.1). 5686 sayılı jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular kanunu (2007) incelendiğinde jeotermal kaynak; jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki sulara göre daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak çıkan veya çıkarılan su olarak tanımlanmaktadır. Arazi çalışması kış aylarında yapılmış olup sıcaklığı 20°C üzerinde ve çözünmüş madde miktarı soğuk sulara kıyasla yüksek olan sular 'jeotermal kaynak-kuyu' olarak ifade edilmiştir. Fiziksel parametre değerleri de göz önünde bulundurularak haritalanan örnekleme noktalarındaki suların etkileşimde olduğu akifer birimleri ayırtlanmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Suların nokta tipi, akifer – su noktası karşılığı, sıcaklık, Eİ, pH değerleri

NU	Nokta Tipi	T (°C)	Eİ (μS/cm)	pH	Akifer - Su Noktası
SK-1	Jeotermal Kaynak	27,3	56600	7,16	Menderes Masifi Mermerleri
SK-3	Jeotermal Kuyu	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri
SK-6	Kuyu	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri
SK-8	Kaynak	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri
SK-9	Yüzey	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)
SK-10	Kuyu	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri
SK-11	Kuyu	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri
SK-12	Kuyu	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)
SK-16	Yağmur Suyu	14,0	30	7,70	Yağmur Suyu
SK-17	Kaynak	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri
SK-18	Kaynak	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri
SK-21	Yüzey	16,7	20000	8,50	Dalyan Kanalı
SK-23	Yüzey	15,0	7000	7,96	Menderes Nehri Havza Çıkışı
SK-26	Kuyu	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat
SK-29	Kuyu	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat
SK-30	Kaynak	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat
SK-31	Jeotermal Kuyu	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat
SK-32	Jeotermal Kaynak	26,1	43800	6,75	Menderes Masifi Mermerleri
SK-36	Jeotermal Kuyu	25,6	56000	6,97	Menderes Masifi Mermerleri
SK-37*	Jeotermal Kuyu	25,0	25500	7,46	Menderes Masifi Mermerleri
SK-38	Yüzey	23,0	51700	7,53	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu
SK-39	Jeotermal Kuyu	22,3	4700	7,20	Alüvyon
SK-41	Kuyu	13,6	388	7,85	Gnays
SK-43	Kuyu	14,1	943	7,16	Alüvyon
SK-44	Kuyu	14,7	518	6,80	Alüvyon
SK-45	Kuyu	19,7	1268	6,52	Alüvyon
SK-46	Yüzey	13,1	590	8,92	Azap Gölü
SK-47	Kuyu	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri
SK-48	Yüzey	18,0	6700	7,81	Gölet
SK-51	Kuyu	14,0	631	8,17	Alüvyon
SK-52	Kuyu	15,4	484	8,11	Alüvyon
SK-53	Kuyu	12,7	225	7,72	Alüvyon
SK-54	Yüzey	14,4	2110	8,25	Menderes Nehri Havza Girişi
SK-55**	Yüzey	14,9	23400	8,58	Bafa Gölü
SK-56	Yüzey	15,0	7000	8,31	Serçin Gölü
SK-59	Kuyu	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri
SK-60	Yüzey	18,4	900	8,10	Dere
SK-61	Kuyu	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri
SK-62	Yüzey	17,0	1200	8,10	Sulama Kanalı (Bahar)
SK-63***	Deniz Suyu	17,5	57700	8,03	Deniz Suyu

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007) , *** (Gemici ve Somay, 2012)



Şekil 4.1 Jeoloji haritası (MTA, 2002; Sümer, 2013) ve örnekleme noktaları

Çalışma kapsamında jeotermal kökenli 5 kuyu suyu, 2 kaynak suyu örneklenmiştir. Haritada işaretlenen kırmızı içi boş olan noktalar (SK-1, SK-32), Söke Fayı boyunca doğal çıkışlar gözlenen jeotermal kökenli kaynaklardır. İçi dolu kırmızı ile işaretlenen noktalar (SK-3, SK-31, SK-36, SK-38, SK-39) jeotermal kökenli akışkan üretilen kuyulardır. SK-3 ve SK-36 Menderes Masifi Mermer biriminden, SK-31 Gölsel Karbonat biriminden, SK-39 ise Alüvyon biriminden üretim sağlanan jeotermal kökenli sulardır. SK-36 kuyusu aynı zamanda Bafa Gölü yakınında yer alan çiftliklerden balık üretimi yapılan yüksek çözünmüş madde içeren 20'ye yakın kuyuyu temsil etmektedir.

Doğal çıkış gözlenen soğuk su kaynakları 4 noktadan yüzeilenmektedir. SK-8 kaynağı Söke Fayı yakınında Akçakonak beldesi çevresinde Mermer biriminden yüzeilenmektedir. SK-17 ve SK-18 ise Bafa Gölü kuzeyinde yine Mermer biriminde doğal çıkış gözlenen yeraltı su kaynaklarıdır. SK-30 kaynağı ise Gölsel Karbonat biriminden yüzeilenmektedir. Bölge halkı tarafından içme amaçlı tüketilmektedir.

Kuyulardan üretim sağlanan soğuk yeraltı suları çoğunlukla içme amacıyla tüketilmektedir. Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinde 16 kuyudan soğuk yeraltı suyu örneklenmiştir. Tarımsal etkinlik için gerekli su, idare tarafından kurulan 'sulama kanalı' aracılığıyla karşılanmaktadır.

SK-41 Gnays biriminden üretim sağlanan Özbaşı Mahallesi tarafından içme amaçlı tüketilen yeraltı su kuyusudur. Söke Fayı boyunca beldelerin çoğunda 5-15 metre arasında değişen kuyulardan içme suyu ya da bahçe sulama amaçlı Mermer biriminden yeraltı suyu üretimi yapılmaktadır. Akçakonak SK-6, SK-59; Doğanbey SK-10, SK-11; Atburgazı SK-12 örnek numarasıyla temsil edilmektedir. SK-12 kuyusu ayrıca ilçe şebeke hattını beslemektedir. Mermer biriminde birden fazla kuyudan üretim yapılarak depoda toplanan sular, bölgenin evsel tüketimine sunulmaktadır.

SK-26, SK-29, SK-30 ise Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan kuyulardır. Yeraltı suyu, sulama kanalından faydalanamayan yöre halkı tarafından hem tarımsal

hem de içme suyu amaçlı kullanılmaktadır. Akköy SK-26, Balat SK-29, Batıköy SK-30 ile temsil edilmektedir.

Diğer kuyu noktaları Bafa Gölü civarındaki Alüvyon-Mermer dokanağına yakın konumda Alüvyon biriminden üretim sağlanan yeraltı sularıdır. SK-43 Çalıköy, SK-44 ve SK-45 Karacahayıt, SK-47 Avşar, SK-51 Nalbantlar, SK-52 Sayrakçı, SK-53 Kisir mahallerinden örneklenmiştir. Kuyuların derinliği 10 ile 30 metre arasında değişmekte olup statik seviyelerin 5-10 metre arasındadır.

4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Menderes Masifi'nde yer alan Bafa Gölü kuzeydoğusunda gözlenen *Gnays* birimi fay zonları hariç geçirimsizdir. Sadece alüvyon ile sınırı olan bir noktada kuyu aracılığıyla üretim sağlanmaktadır. Masife ait *Şist* birimleri kuzeyde Samsun Dağı ve Bafa Gölü kuzeyinde yer almaktadır. *Şist* birimi ikincil gözeneklilikten dolayı nispeten geçirimli olmakla birlikte genel olarak geçirimsizdir.

Alanda yer alan *Menderes Masifi Mermerleri* yaz – kış 20 °C'nin üzerinde sıcaklığa sahip ılık, tuzlu, karstik akifer olma özelliği göstermektedir. Jeotermal suyun taşınımı Söke Ovası Kuzeybatısında Söke fayı, Güneyde Akköy fayı ile denetlenmektedir. Deniz suyu girişimi belirlenen sıcak suların entalpisi düşük, çözünmüş madde miktarı çok yüksektir. Samsun Dağı boyunca gözlenen mermerler bölge halkının içme suyu ihtiyacını karşılayan soğuk su akiferi olma özelliği de göstermektedir. Mermerler yüksek geçirimliliğe sahiptir. Kuzeybatı Mermerlerinde Söke Fayı sayesinde yüzeyleyen jeotermal kaynağa ait örtü birim bulunmamaktadır ve Doğanbey – Tuzburgazı arasında 26,1 °C sıcaklığa sahip jeotermal kaynak (SK-32) vardır.

Bafa Gölü'nün Güneybatısında yer alan *Gölsel Karbonat* birimi soğuk su doğal çıkışları ve 30-40 metreden itibaren yaz-kış 20°C'nin üzerinde ılık, karstik jeotermal akifer barındırmaktadır. Birim yüksek geçirimliliğe sahiptir. Deniz kıyısına çok yakın olmasına rağmen, bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılayacak nitelikte düşük

çözünmüş maddeye sahip soğuk su barındırabilmesinin nedeni karasal kırıntı olarak adlandırılan birimdeki killerin deniz suyu girişimini engellemesidir.

Kuvaterner yaşlı *Alüvyon* biriminin killi düzeyleri geçirimsizdir. Çalışma alanında bulunan çeşitli kayaçların kum, kil, silt ve çakıl boyutunda kırıntılardan oluşan alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip olup alüvyonal akifer özeliğindedir. Statik seviyesi deniz kenarında 0 metre civarındayken havza girişinde 10 metre dolaylarındadır. (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Kayaç birimlerinin tahmini kalınlıkları ve hidrojeolojik özellikleri

KAYAÇ BİRİMİ	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİĞİ
Plaj - Kumul	50-250		-
Alüvyon			Geçirimli, killi düzeyler geçirimsiz
Alüvyon Yelpazesi	<50		Geçirimli
Gölsel Karbonat	200		Yüksek Geçirimli
Karasal Kırıntılar	50-100		Killi birimler geçirimsiz, Genel olarak düşük geçirimli
Menderes Masifi	>2000		Gnays fay zonları hariç geçirimsiz Şist içeren birimler ikincil gözeneklilikten dolayı geçirimli Mermer birimleri yüksek geçirimli

Söke jeotermal sahası, Ege Bölgesinde horst – graben yapılarının oluşmasına sebep olan tektonik olaylarla meydana gelmiştir. Ege Bölgesinde gelişen yoğun tektonik kuvvet Kuzey – Güney yönünde genişlemeye neden olmuştur, yüksek sıcaklığa sahip sular barındıran jeotermal alanlara kıyasla Söke Grabeni Kuzeybatı – Güneydoğu

yönünde genişlemekte ve daha düşük sıcaklığa sahip su barındırmaktadır. Deniz kıyısı olmasından dolayı tuzlu su girişi nedeniyle entalpide düşüş meydana gelmektedir. Ovada deniz suyu girişi olması ve örtü kaya barındırmaması, Büyük Menderes Grabeni doğusu boyunca yer alan jeotermal sahalara kıyasla düşük sıcaklıklı olmasının nedenlerindendir.

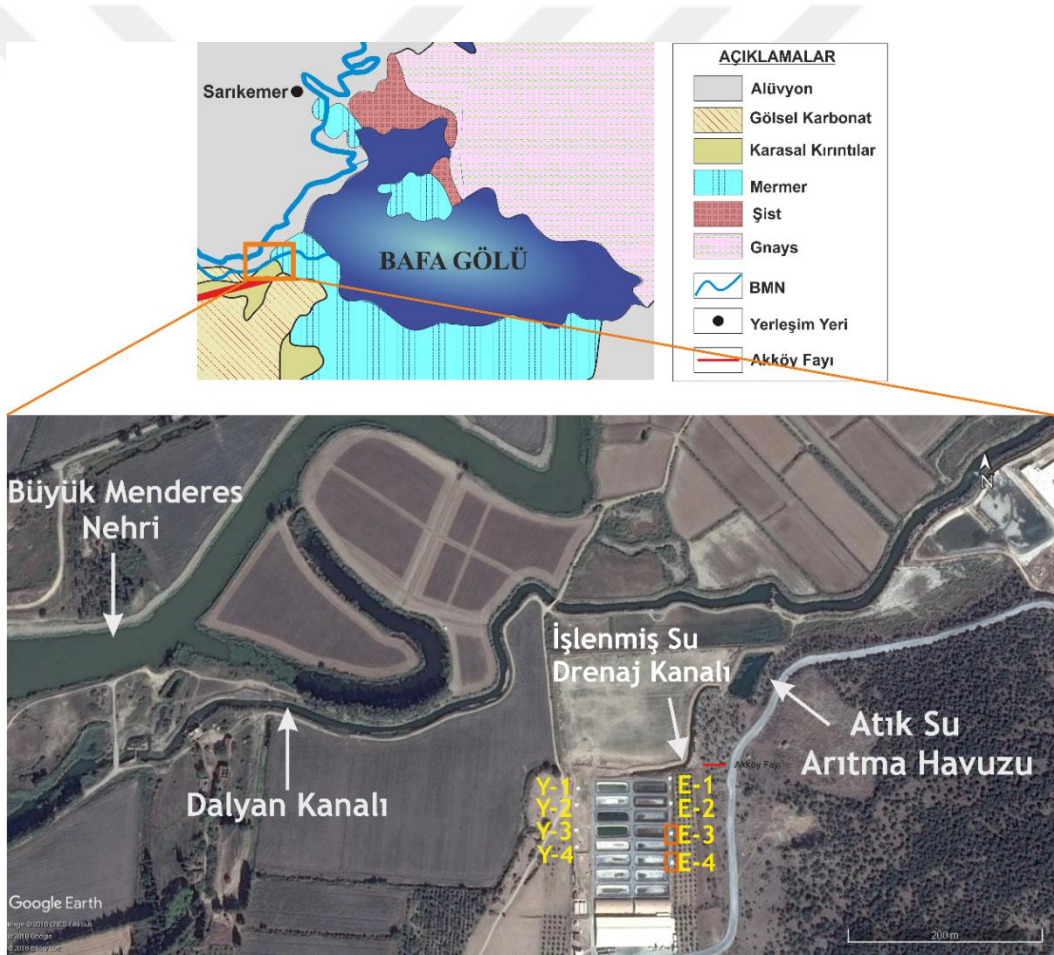
4.2 Mermer Akiferi Fiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi

Bafa Gölü doğusunda yer alan balık üretim tesislerinde derinliği 50-150 metre arasında değişen 20'ye yakın kuyudan 24 °C ile 27 °C arasında değişen sıcaklıkta jeotermal su üretimi yapılmaktadır. Tarcan ve Gemici (2014) tarafından Egemar tesisinde uygulanan kuyu testi, bu çalışma kapsamında tekrar ele alınmıştır. Tesislerin yakın çevresinde yer alan Menderes Masifi Metamorfikleri'ne ait şist ve mermer birimleri temel kayalar oluşturmaktadırlar. Bu kayalar Kuvaterner yaşlı alüvyon ile üzerlenmektedir. Balık üretim çiftlikleri yan yana olarak konumlanmış olup Mermer ve alüvyon dokanağı üzerinde yer almaktadır.

Bafa Gölü yakınında yer alan Mermer biriminden, balık çiftlikleri tarafından işletilen 18 kuyudan toplam 1,8 m³/sn debiyle üretim sağlanmaktadır (Tablo 5.10). Jeotermal akışkan, deniz suyu ile karışmaktadır. Karışım sonrası artış gösteren çözünmüş madde bolluğu, balık üretimi verimini arttırmaktayken; jeotermal kökenli suların yüksek çözünmüş CO₂ gazı içeriğinden dolayı asidik olması, balıkların üreme verimini azaltmaktadır. Kuyuların üretim sularının tamamı atmosfer ile temas halinde olan havuza aktarılarak CO₂'nin atmosfer basıncı altında uzaklaştırılması yöntemiyle jeotermal kökenli sular bazik hale getirilmektedir (Şekil 4.2). Tesislerden sadece bir tanesinde arıtma havuzu bulunmaktadır. Mevcut arıtma havuzunda ilkel çözümlerden çökertme yöntemi uygulanmaktadır. Arıtma durumu fark etmeksizin, tüm jeotermal kökenli yeraltı suları dalyan kanalı aracılığıyla mevsimsel şartlara göre Bafa Gölü ya da Büyük Menderes Nehri aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Jeotermal kökenli suların CO₂ uzaklaştırmak amacıyla kullanılan su toplama havuzu (Kişisel arşiv, 2018)



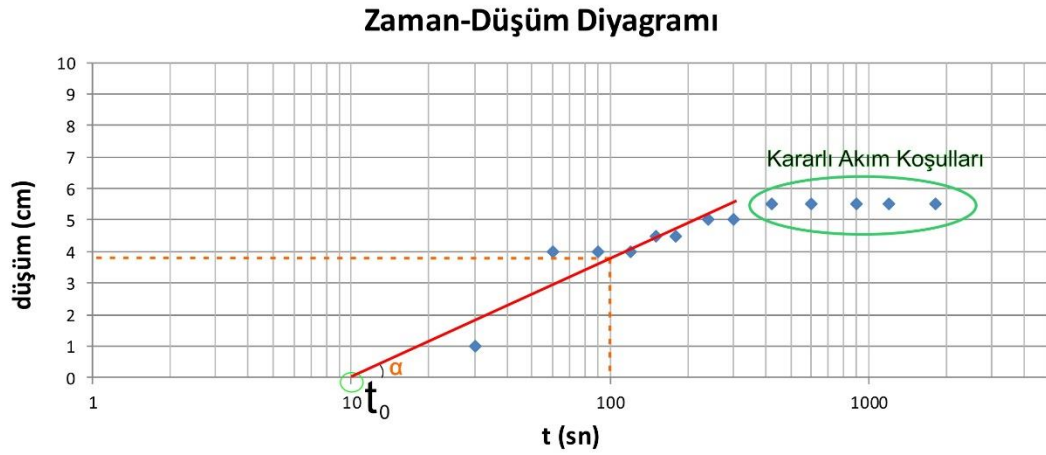
Şekil 4.3 Kuyu testi yapılan tesisin uydu görüntüsü ve kuyu yerleri (Tarcan ve Gemici, 2014)

Kireçtaşlarının metamorfizma geçirmesiyle meydana gelen mermerler, kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşimli kayaçlardır. Yağmur suları, birimdeki kırık ve çatlaklar boyunca yeraltına süzölmektedir. Yağmur suları, gerek atmosferden gerekse bitkilerden edindikleri karbondioksit ile birlikte asidik özellik kazanarak kireçtaşlarını özöndörmektedir. Bu özünme kırık, çatlaklar boyunca devam ederek genişlemekte ve yeraltında mağara benzeri oluşuma neden olmaktadır. Tektonik süreçlerde oluşan ikincil gözeneklilik ile birlikte yüksek geçirimliliğe sahip hale gelen mermer birimi jeotermal kökenli suyun üretiminin sağlandığı jeolojik birimdir.

Sondajlarda 10 metreye kadar alüvyon kesildikten sonra mermer akiferine girilmiş ve sondaj sonlanana kadar mermer akiferinde ilerlenmiştir (şekil 4.4). Yüzeyde herhangi geçirimsiz katman ya da örtü kaya olarak nitelendirilebilecek jeolojik unsur olmadığı için üretim sağlanan birim serbest akifer olarak sınıflandırılmıştır. Söke Ovası alüvyonları için aynısı geçerli olmamakla birlikte kuyu testi yapılan bölgedeki alüvyonun kalınlığı göz önüne alındığında akifer olma özelliği göstermeyecek kadar düşük kalınlığa sahiptir. En derin kuyuyu referans olarak akifer kalınlığı 130 metre olarak kabul edilmiştir. E-4 gözlem kuyusu olarak seçilmiş ve E-3 kuyusu hariç diğer tüm kuyularda üretim durdurularak düşömler ölçölmüştür. Mermer akiferinin hidrolik iletkenlik katsayısı (K), iletimlilik (T) ve depolama katsayısı (S) değerlerinin hesaplanması amaçlanan kuyu testi 30 dakika kadar sürmüştür (Tablo 4.3). Cooper-Jacob (1946) ve Theis (1935) yöntemleri uygulanarak akiferin fiziksel parametreleri hesaplanmıştır. Bu iki yöntem genellikle alüvyonel akiferde uygulanmaktadır. Karstik alan dahi olsa basit yaklaşımla hidrojeolojik parametre sonuçları bulunmaya çalışılmıştır.

4.2.1 Cooper ve Jacob (1946) yöntemi yaklaşımıyla K , T , S değerlerinin hesaplanması

Zaman-düşüm değerleri grafiğe aktarılarak en uygun doğru çizilmiştir. Geçmişte benzer noktada yapılan testlerde 2 saat boyunca pompaj devam etmesine rağmen düşüm sabit kalarak değişmemiştir. Bu testte de düşümün 5,5 cm'ye ulaştığı andan sonra kararlı akım koşuluna geçtiği varsayılarak işlem yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Sadece E-3’de pompaj yapılıyorken E-4 gözlem kuyusunda su seviye düşüm – zaman grafiği

Akifer fiziksel parametreleri, E-3 kuyusunda pompaj saatte 100 m³ olarak devam ediyorken E-4 gözlem kuyusundaki düşüm değerleri ile çözümlenmiştir. Jacob yönteminde uygulanan eşitlik aşağıda ifade edilmiştir.

$$\Delta = \frac{2,3 \times Q}{4\pi T} \log \frac{2,25 \times T \times t}{r^2 \times S} \quad (4.1)$$

$y=ax+b$ doğrusunun eğimi, (a) sabitine eşittir. Diyagramda belirlenen 2 nokta arasındaki doğrunun eğimi alınmıştır. Log100’e karşılık gelen 3,8 cm değeri ile Log10’a karşılık gelen 0 cm değeri ile işlem yapıldığı takdirde, eğim 3,8 cm yani 0,038 metre olarak bulunur. Eğimin katsayıya eşit olduğuna göre aşağıda ifade edilen eşitlikle T sabiti 0,135 m²/sn olarak bulunmuştur.

$$0,038 \text{ m} = \frac{2,3 \times 0,028 \text{ m}^3/\text{sn}}{4\pi T} \quad T = 0,135 \text{ m}^2/\text{sn} \quad (4.2)$$

$$K = \frac{T (0,135 \frac{\text{m}^2}{\text{sn}})}{e(130 \text{ m})} = 1,038 \times 10^{-3} \text{ (m/sn)} \quad (4.3)$$

T değişkeni $0,135 \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak bulunmuştur. $T = K \times e$ eşitliğinden yola çıkarak, K değeri $1,038 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{sn}}$ olarak bulunmuştur. Depolama katsayısı (S) bulmak için ise diyagramda düşümün sıfır olduğu yer t_0 bulunarak işaretlenir. Denklemden düşümün (Δ) sıfır olması durumunda sabit değerler sıfırlanamayacağı için sadece logaritma ile ifade edilen kısmın sıfır olabileceği düşünülerek işlem yapılır. Log x değerinin sıfır olması için x değerinin 1'e eşit olması gerekir. Aşağıda ifade edilen işlemler yapılarak depolama katsayısı (S) % 0,092 olarak bulunmuştur.

$$\text{Log} \left(\frac{2,25 \times T \times t_0}{r^2 \times S} \right) = 0 \quad (4.4)$$

$$\frac{(2,25 \times 0,135 \frac{\text{m}^2}{\text{sn}} \times 10 \text{ sn})}{33 \text{ m}^2 \times S} = 1 \text{ ise } S = \% 0,092 \quad (4.5)$$

4.2.2 Theis (1935) yöntemi yaklaşımıyla K, T, S değerlerinin hesaplanması

Theis (1935) ilk defa basınçlı ve serbest akiferlerde kuyu ve akifer karakteristiklerinin saptanmasında zaman faktörünün etkisini göz önüne almıştır. Bu yöntemde kuyu testinden elde edilen veriler x eksenini zaman, y eksenini düşüm olan tam logaritmik kağıda aktarılır. Deneysel eğri ile karşılaştırılarak iki grafikte de değer elde edilebilecek nokta seçilerek formül uygulanır.

Veriler işlenip karşılaştırıldıktan sonra elde edilen kuyu fonksiyonu ($w(u)$) 6, kuyu parametresi (u) 0,0012 ile düşüm (Δ) ve zaman (t) sırasıyla 5 cm, 230 saniye olarak bulunmuştur. Düşüm aşağıda ifade edilen eşitliğe yazılarak T değeri $0,267 \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak bulunmuştur.

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \text{ ise } T = \frac{0,028 \text{ m}^3/\text{sn}}{4 \times \pi \times 0,05 \text{ m}} = 0,267 \text{ m}^2/\text{sn} \quad (4.6)$$

İletimlilik (T) değerinin, hidrolik iletkenlik katsayısı (K) ile akifer kalınlığı (b) değerlerinin çarpımına eşit olduğu bilgisinden yola çıkılarak aşağıda ifade edilen denklemle K değeri $2,05 \times 10^{-3} \text{ m/sn}$ olarak bulunmuştur.

$$T = Kxb \text{ ise } K = \frac{0,267 \text{ m}^2/\text{sn}}{130 \text{ m}} = 2,05 \times 10^{-3} \text{ m/sn} \quad (4.7)$$

Bulunan iletimlilik (T) değerinin ardından kuyu parametresi eşitliği üzerinden depolama katsayısı (S) değeri aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanarak % 0,09 olarak bulunmuştur.

$$u = \frac{r^2 \times S}{4 \times T \times t} \text{ ise } S = \frac{4 \times 0,267 \frac{\text{m}^2}{\text{sn}} \times 230 \text{ sn} \times 0,0012}{(33\text{m})^2} = \% 0,09 \quad (4.8)$$

İki farklı yöntem içinde hidrolik iletkenlik katsayısı (K) ve iletimlilik (T) değeri birbirine yakın olarak bulunmuştur. Depolama katsayısı (S) ise farklı sonuçlar vermektedir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Cooper-Jacob (1938) ve Theis (1935) yöntemleriyle bulunan hidrojeolojik parametre değerleri

	K (m/sn)	T (m ² /sn)	S
Cooper-Jacob (1938)	$1,04 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-1}$	0,09%
Theis (1935)	$2,05 \times 10^{-3}$	$2,67 \times 10^{-1}$	0,03%

Elde edilen sonuçlar, mermerin çok verimli ve yüksek geçirimliliğe sahip akifer olduğunu göstermektedir. 5.3.3 bölümünde Bafa Gölü ve bağlantılı olduğu yüzey – yeraltı suları ilişkileri detaylı olarak incelenmiştir.

4.3 Mermer Akiferi Geri Basım (Reenjeksiyon) Uygunluğu

Jeotermal kökenli ve deniz suyu girişi etkisindeki suların, yüzey suları aracılığıyla uzaklaştırılması göl, nehir ve deniz suyu kimyasında değişimlere neden olmaktadır. Jeotermal sahalarda sıkça uygulanan yöntem olan geri basım

(reenjeksiyon) olanağının değerlendirilmesi için üretim (PI) ve enjektivite (EI) indeksleri hesaplanmıştır. İndeks aracılığıyla geri basımın uygunluğu tartışılmıştır.

4.3.1 Üretim İndeksi (Prodüktivite İndeksi)

Bu yöntem, belirli bir kuyudan (E-4) sabit debiyle üretim yapıyorken, su seviyesi değişiminin ölçülmesine dayanır. Düşüm sabitleninceye kadar ölçüme devam edilir. Düşüm sabitlendikten sonra çekim debisi artırılır ve ikinci kez sabitlenmesi beklenir. Bu süreç tekrarlanır. Bölgede yapılan çalışma kapsamında 100, 200 ve 300 m³/sa çekim yapılmış ve düşüm sabitlendikten sonraki değerler kaydedilmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 E-4 kuyusu çekim ve sabitlendikten sonraki düşüm değerleri (Tarcan ve Gemici, 2014)

Çekim (m ³ /sa)	Düşüm (cm)	Düşüm (m)	PI=ΔQ/Δh
100	5,5	0,055	1667
200	5.5+7.5	0,130	
300	5.5+7.5+4.5	0,175	

Üretim indeksi (PI) aşağıda ifade edilen eşitlikle hesaplanarak 1667 m³/sa/m olarak bulunmuştur.

$$\Delta Q = Q_{son} - Q_{ilk} = 300 \frac{m^3}{sa} - 100 \frac{m^3}{sa} = 200 \frac{m^3}{sa} \quad (4.9)$$

$$\Delta h = h_{son} - h_{ilk} = 0.175 \text{ m} - 0.055 \text{ m} = 0.12 \text{ m} \quad (4.10)$$

$$PI = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = \frac{200 \text{ m}^3/sa}{0.12 \text{ m}} = 1667 \text{ m}^3/sa/m \quad (4.11)$$

4.3.2 Enjektivite İndeksi (EI)

Bu yöntem, belirli bir kuyudan (E-4) yeraltına su basılarak ya da yakında yer alan aynı akiferden çekim yapılan kuyular durdurularak su seviyesi artışının ölçülmesine dayanır. Seviye artışı sabitleninceye kadar geri basıma devam edilir. Yükselim sabitlendikten sonra debi arttırılır ve ikinci kez sabitlenmesi beklenir. Bu süreç tekrarlanır.

Mermer birimine su basılmak yerine aynı akiferden üretim sağlanan kuyular durdurulmuştur. İlk aşamada 300 m³/sa geri basım sağlanmış ve 15 dakika sonra 12 cm yükselimde sabitlenmiştir. İkinci aşamada üretim sağlanan diğer kuyular durdurulmuş ve 530 m³/sa geri basım sağlanmış olup 15 dakika sonra 14,5 cm yükselimde sabitlenmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 E-4 kuyusu geri basım miktarı ve yükselimin zamanla değişimi (Tarcan ve Gemici, 2014)

300 m ³ /sa geri basım			530 m ³ /sa geri basım		
t (dakika)	Yükselim (cm)	Yükselim (m)	t (dakika)	Yükselim (cm)	Yükselim (m)
1	6	0,06	1	11	0,110
2	18	0,18	2	11	0,110
3	15	0,15	3	11	0,110
4	13	0,13	4	11	0,115
5	13	0,13	5	11,5	0,115
6	12	0,12	6	11,5	0,115
7	12	0,10	7	12	0,120
8	12	0,12	8	13	0,130
9	12	0,12	9	14	0,140
10	12	0,12	10	14	0,140
15	12	0,12	15	14,5	0,145

Enjektivite indeksi (EI) aşağıda ifade edilen eşitliklerle hesaplanarak 9200 m³/sa/m olarak bulunmuştur.

$$\Delta Q = Q_{son} - Q_{ilk} = 530 \frac{m^3}{sa} - 300 \frac{m^3}{sa} = 230 \frac{m^3}{sa} \quad (4.12)$$

$$\Delta h = h_{son} - h_{ilk} = 0.145 \text{ m} - 0.12 \text{ m} = 0.025 \text{ m} \quad (4.13)$$

$$EI = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = \frac{200}{0.025} = 9200 \text{ m}^3/\text{sa/m} \quad (4.14)$$

Üretim indeksi (PI) ve enjektivite indeksi (EI) üretim ve reenjeksiyon yapılabilirlik ölçütüdür. Üretim ve enjektivite indeksleri göreceli olarak arttıkça kuyulardan daha çok üretim veya enjeksiyon yapılabileceğini gösterir. Değerlere göre mermer birimi reenjeksiyona uygundur. İndekslerin periyodik olarak hesaplanmasıyla kuyularda kirlenme, yıkılma ve benzeri üretimi ya da reenjeksiyonu azaltan engelin oluşumu kuyu kaybedilmeden öngörülebilir.



BÖLÜM BEŞ

HİDROJEOKİMYA

Yeraltı suyunun kimyasal bileşimi; akiferi besleyen yağışın kimyasına, suyun dolaşımında olduğu toprak ile kayacın kimyasal ve fiziksel özelliklerine, suyun akiferde kaldığı zamana bağlıdır. Yeraltı su kimyası (hidrojeokimya) gözleminde en önemli adım, amacın tanımlanmasıdır. 4 temel sebeple açıklanabilen amaçlar; bölgenin su kalitesi ve yeraltı su kimyasını belirlemek, içme-sulama suyu amaçlı açılan kuyunun kimyasal olarak uygunluğunu belirlemek, bilinen doğal kaynaktan yeraltı suyu kirlenmesinin yayılımını tanımlamak ve yeraltı suyu kirlenmişse kirlenmenin potansiyel kaynağını belirlemek olarak ifade edilir.

Söke Ovası'nda arazi çalışması kapsamında 62 adet su noktası örneklenmiştir. Numune kapları standartlara uygun şekilde işlem öncesi saf suyla yıkanmış olup problemler her kullanım öncesi ilgili örneklerden kalan artıklardan arındırılmak üzere saf su ile yıkanmıştır. Örnekler ilgili laboratuvar taleplerine uygun olarak 500 ml ve 1000 ml'lik yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) kaplara alınmıştır. Örnekler şişelerde hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulmuş olup asitleme işlemi ardından analize hazır hale getirilmiştir. Suların fiziksel parametreleri WTW 340i marka multimetreye bağlı olan problemler aracılığıyla özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), pH ve tuzluluk değerleri yerinde ölçülmüştür. Koordinat olarak birbirine yakın olan örnekler işaretlenerek, laboratuvarında anyon tayini ardından benzer kimyasal içeriğe sahip sular ayıklanmıştır.

Söke çevresinde yeraltı sularından 7'si jeotermal kökenli (SK-1, SK-3, SK-31, SK-32, SK-36, SK-37 SK-39); 21'i soğuk su (SK-6, SK-8, SK-10, SK-11, SK-12, SK-17, SK-18, SK-26, SK-29, SK-30, SK-41, SK-43, SK-44, SK-45, SK-47, SK-48, SK-51, SK-52, SK-53, SK-59, SK-61) olmak üzere toplam 28 örnek noktası çalışılmıştır. 12 adet yüzey suyu (Serçin Gölü, Bafa Gölü, Azap Gölü, Büyük Menderes Nehri, Dalyan Kanalı, Sulama kanalı ve diğer.) olmak üzere toplamda 40 farklı noktanın kimyasal ve izotopik analizleri yorumlanmıştır.

21 noktadaki soğuk suların 16'sında (SK-6, SK-10, SK-11, SK-12, SK-17, SK-18, SK-26, SK-29, SK-41, SK-43, SK-44, SK-45, SK-47, SK-51, SK-52, SK-53, SK-59, SK-61) kuyulardan üretim sağlanıyorken 5 tanesi yüzeylenmektedir. Kaynaklar, 4 tanesi mermer (SK-8, SK-17, SK-18, SK-48) ve 1 tanesi ise gölsel karbonat (SK-30) biriminden yüzeylenen yeraltı suyudur. 7 farklı noktadaki jeotermal kökenli suyun 5'i (SK-3, SK-31, SK-36, SK-37, SK-39) kuyu suyu; 2'si (SK-1, SK-32) ise doğal çıkış gözlenen jeotermal kökenli kaynak olarak belirlenmiştir.

Toplam 40 örnek noktası jeoloji haritası üzerinde işaretlenerek çalışılmıştır (Şekil 4.1). Tüm örneklerin analiz sonuçları Microsoft Excel (2016)'da oluşturulan veri seti aracılığıyla yorumlanmıştır (Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3). Hidrojeokimyasal analiz sonuçlarının yorumlanmasında Aquachem (Calmbach, 1997), PHREEQC (Parkhurst ve Appelo, 1999), Aqqa (RockWare, 2006), Global Mapper (Blue Marble Geographics, 2015), Surfer 12 (Golden Software, 2014) programlarından faydalanılmıştır.

Tablo 5.1 Yüzey – yeraltı sularının nokta tipi, koordinatları, akifer – su noktası ve arazi ölçüm parametreleri

NU	Nokta Tipi	X	Y	T (°C)	ÖEİ (μS/cm)	pH	Akifer - Su Noktası
SK-1	Jeotermal Kaynak	512047	4164255	27,3	56600	7,16	Menderes Masifi Mermerleri
SK-3	Jeotermal Kuyu	515394	4163345	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri
SK-6	Kuyu	532112	4172948	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri
SK-8	Kaynak	531293	4171764	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri
SK-9	Yüzey	532717	4172589	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)
SK-10	Kuyu	529591	4170255	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri
SK-11	Kuyu	529693	4169640	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri
SK-12	Kuyu	521100	4166254	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)
SK-16	Yağmur Suyu	534276	4155632	14,0	30	7,70	Yağmur Suyu
SK-17	Kaynak	535170	4157840	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri
SK-18	Kaynak	533951	4157464	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri
SK-21	Yüzey	531833	4151604	16,7	20000	8,50	Dalyan Kanalı
SK-23	Yüzey	520995	4155867	15,0	7000	7,96	Menderes Nehri Havza Çıkışı
SK-26	Kuyu	523128	4148407	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat
SK-29	Kuyu	524356	4151149	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat
SK-30	Kaynak	521083	4154526	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat
SK-31	Jeotermal Kuyu	521095	4154519	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat
SK-32	Jeotermal Kaynak	517561	4163992	26,1	43800	6,75	Menderes Masifi Mermerleri
SK-36	Jeotermal Kuyu	531733	415146	25,6	56000	6,97	Menderes Masifi Mermerleri
SK-37*	Jeotermal Kuyu	531733	4151464	25,0	25500	7,46	Menderes Masifi Mermerleri
SK-38	Yüzey	531375	4151360	23,0	51700	7,53	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu
SK-39	Jeotermal Kuyu	536637	4163153	22,3	4700	7,20	Alüvyon
SK-41	Kuyu	538763	4165132	13,6	388	7,85	Gnays
SK-43	Kuyu	540274	4163638	14,1	943	7,16	Alüvyon
SK-44	Kuyu	541655	4162402	14,7	518	6,80	Alüvyon
SK-45	Kuyu	541524	4161578	19,7	1268	6,52	Alüvyon
SK-46	Yüzey	538852	4160480	13,1	590	8,92	Azap Gölü
SK-47	Kuyu	538044	4160272	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri
SK-48	Yüzey	520012	4165064	18,0	6700	7,81	Gölet
SK-51	Kuyu	546124	4164380	14,0	631	8,17	Alüvyon
SK-52	Kuyu	546124	4163407	15,4	484	8,11	Alüvyon
SK-53	Kuyu	547931	4164169	12,7	225	7,72	Alüvyon
SK-54	Yüzey	542105	4173633	14,4	2110	8,25	Menderes Nehri Havza Girişi
SK-55**	Yüzey	536668	4150893	14,9	23400	8,58	Bafa Gölü
SK-56	Yüzey	524676	4149153	15,0	7000	8,31	Serçin Gölü
SK-59	Kuyu	532012	4172089	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri
SK-60	Yüzey	524119	4168112	18,4	900	8,10	Dere
SK-61	Kuyu	524786	4167563	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri
SK-62	Yüzey	526980	4168211	17,0	1200	8,10	Sulama Kanalı (Bahar)
SK-63***	Deniz Suyu	512626	4155950	17,5	57700	8,03	Deniz Suyu

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.2 Suların majör iyon analiz sonuçları

NU	mg/L									
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Si	B
SK-1	11366,1	896,2	1525,5	1096,1	19125	2896,7	219,6	-	6,5	25,73
SK-3	57,3	24,7	89,6	68,9	160	88,8	414,8	-	4,7	2,39
SK-6	52,4	15,6	59,3	55,8	65	84,4	366,0	-	1,3	0,21
SK-8	0,2	0,3	19,4	13,6	30	34,3	26,9	-	8,2	0,19
SK-9	74,7	21,5	68,9	63,6	110	135,2	390,4	-	1,1	0,39
SK-10	0,4	1,7	74,1	11,8	23	32,6	192,8	-	5,8	0,17
SK-11	7,8	6,0	25,3	83,0	45	62,4	341,6	-	5,3	0,19
SK-12	51,3	6,1	32,2	65,6	30	54,6	414,8	-	2,3	0,13
SK-16	1,5	1,9	28,6	5,8	8	68,2	22,0	-	4,3	0,11
SK-17	1,4	1,6	41,6	8,2	28	28,5	92,7	-	3,2	0,12
SK-18	0,6	2,0	92,3	2,8	28	36,5	195,2	-	8,6	0,10
SK-21	1110,7	251,5	881,6	840,9	5375	1128,6	305,0	-	1,5	20,29
SK-23	756,7	752,4	109,3	101,4	1500	578,8	512,4	-	1,8	3,53
SK-26	64,9	5,7	51,2	28,7	50	40,8	292,8	-	3,1	0,09
SK-29	89,2	35,2	25,7	92,8	95	55,9	512,4	-	2,5	0,13
SK-30	49,0	15,7	56,4	51,5	55	52,4	378,2	-	1,5	0,10
SK-31	65,1	40,9	72,6	125,4	280	97,6	475,8	-	6,8	2,58
SK-32	11268,3	236,3	252,2	600,0	14500	2133,9	595,4	-	3,9	20,14
SK-36	10256,0	397,9	283,9	756,6	17500	2478,4	561,2	-	5,0	20,94
SK-37*	4906,0	198,0	198	616,0	8783	1052,0	317,0	-	8,1	-
SK-38	9501,6	356,8	299,0	665,8	14750	2363,5	512,4	-	2,1	20,57
SK-39	32,6	15,6	489,1	256,4	1375	48,6	268,4	-	6,7	2,44
SK-41	0,6	0,8	78,4	10,7	16	38,0	222,0	-	8,6	0,04
SK-43	1,1	3,3	214,6	32,0	56	117,6	605,1	-	5,9	0,04
SK-44	1,0	5,2	108,7	7,9	56	110,0	146,4	-	5,1	0,08
SK-45	58,3	37,9	87,6	52,4	45	108,3	512,4	-	3,4	0,15
SK-46	54,6	23,3	50,1	85,6	85	61,7	488,0	-	2,4	0,20
SK-47	0,9	0,9	39,1	2,3	25	27,6	61,0	-	8,7	0,03
SK-48	877,2	59,2	133,1	204,1	1400	294,5	561,2	-	1,7	2,51
SK-51	1,6	3,5	145,9	8,9	45	73,5	305,0	-	9,2	0,05
SK-52	47,1	21,0	42,4	27,9	40	36,9	280,6	-	1,9	0,03
SK-53	42,0	15,9	13,8	11,9	45	43,5	85,4	-	2,4	0,03
SK-54	101,4	38,1	87,1	187,1	185	486,0	573,4	7,2	11,6	3,21
SK-55**	5104,0	151,0	198,0	616,0	8783	1578,0	156,0	57,0	0,58	1,91
SK-56	824,6	96,1	122,9	287,5	1700	592,1	353,8	40,8	1,3	3,40
SK-59	27,0	6,7	90,0	57,2	62	83,4	402,2	-	2,9	0,07
SK-60	21,8	2,9	102,4	70,2	31	322,5	219,6	-	1,3	0,04
SK-61	53,8	11,0	55,0	53,7	65	126,4	300,1	-	1,6	0,04
SK-62	86,2	24,6	65,1	87,8	104	268,4	361,1	-	2,7	0,44
SK-63***	14752,0	430,0	529,0	1733,0	24747	4161,0	171,0	24,1	1,7	5,41

* (Tarcın, 2013), ** (Tarcın vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.3 Suların iz element analiz sonuçları

NU	$\mu\text{g/L}$											
	As	Ba	Sr	Li	Fe	Mn	Al	Se	Cr	Ni	Cu	Zn
SK-1	507,2	14313,3	11510,0	156,1	1397,0	<0.001	13730	140,6	71,2	221,8	398,1	752,7
SK-3	0,4	37,2	2868,0	3,9	37,7	<0.001	28	0,8	0,9	1,6	2,3	1,2
SK-6	1,3	72,0	3856,0	2,8	37,7	0,4	7	<0.001	2,8	2,1	4,1	184,8
SK-8	1,2	79,9	412,8	3,0	38,7	<0.001	8	0,8	0,8	1,5	1,8	5,8
SK-9	47,7	40,9	3419,0	14,1	41,0	<0.001	6	<0.001	0,6	5,6	3,8	19,3
SK-10	1,1	30,0	272,4	0,9	38,9	<0.001	6	<0.001	0,3	0,8	1,5	5,0
SK-11	0,8	157,9	2919,0	3,6	38,9	<0.001	24	1,7	0,8	2,2	4,3	436,9
SK-12	0,7	18,1	502,9	3,6	39,2	<0.001	10	2,1	0,8	1,9	2,2	34,5
SK-16	0,6	10,2	8,0	0,9	40,3	0,1	11	<0.001	0,5	1,5	1,7	61,0
SK-17	0,5	36,5	60,5	5,6	36,7	<0.001	7	<0.001	0,5	2,2	8,7	11,1
SK-18	3,3	16,7	70,0	0,7	42,3	<0.001	6	1,2	1,9	1,2	1,6	5,9
SK-21	463,8	14440,0	4683,0	115,4	1383,5	27,7	29040	49,3	106,7	188,6	363,0	805,2
SK-23	86,0	2065,3	7048,0	81,3	210,5	0,8	1884	17,5	12,0	31,4	57,4	127,8
SK-26	1,0	69	225	3,8	33,9	<0.001	10	2,3	5,3	2,0	1,7	8,7
SK-29	5,8	164	12040	44,6	57,9	<0.001	7	0,2	0,4	1,7	11,1	20,4
SK-30	1,9	73	559	7,2	37,9	<0.001	8	<0.001	4,0	3,8	3,2	62,2
SK-31	77,8	2017	30060	90,3	208,2	<0.001	1835	5,2	8,2	26,0	47,2	100,0
SK-32	471,9	14273,3	8435,0	160,8	1281,0	34,8	13550	85,8	47,5	194,6	382,1	702,9
SK-36	498,2	14766,7	9861,0	183,7	1274,0	996,9	13510	79,9	66,8	207,2	383,5	695,9
SK-38	501,8	14600,0	10050,0	169,7	1286,5	801,7	13530	119,0	63,1	221,6	365,9	737,2
SK-39	119,9	2311,3	2698,0	14,6	206	1806	1855	19,4	7,8	29,7	50,1	135,0
SK-41	0,3	62,7	405,3	0,9	33,9	<0.001	6	1,6	0,7	1,3	2,8	8,0
SK-43	0,6	37,9	420,8	12,5	34,2	0,6	12	<0.001	0,4	14,8	2,5	6,0
SK-44	3,1	59,3	225,5	8,1	34,2	103,3	7	<0.001	0,6	2,3	7,7	33,6
SK-45	24,1	123,9	423,1	19,6	35,4	5955	7	2,5	0,9	6,3	6,6	81,1
SK-46	27,7	40,9	452,6	12,7	39,6	6,3	7	0,7	0,6	3,3	3,5	123,6
SK-47	12,1	25,4	59,6	8,2	31,3	<0.001	11	<0.001	<0.001	2,0	2,3	6,8
SK-48	70,5	2014,0	2075,0	12,1	206,4	67,1	1872	6,1	11,4	31,4	55,2	116,0
SK-51	6,3	20,5	236,3	4,5	35,4	123,3	7	0,8	0,4	1,9	5,3	15,4
SK-52	1,5	70,2	185,4	3,5	35,2	3,5	9	1,6	0,5	2,2	7,2	97,0
SK-53	61,1	6,6	55,5	15,5	31,4	2,0	13	<0.001	0,2	2,6	1,8	9,6
SK-54	93,1	2062,7	16140,0	109,0	199,0	4,6	1910	<0.001	8,4	38,0	57,0	200,1
SK-56	80,7	1980,7	2875,0	88,3	194,7	<0.001	1858	19,0	13,4	30,3	54,2	133,2
SK-59	1,7	111,7	4286,0	4,0	36,0	<0.001	28	1,1	9,1	2,8	4,3	111,4
SK-60	0,3	22,7	7469,0	6,8	37,8	1,8	16	0,5	0,1	3,3	9,0	94,1
SK-61	0,6	26,1	609,3	2,8	36,6	<0.001	12	1,0	0,9	3,2	3,5	33,1
SK-62	13,6	44,4	6994,0	52,8	38,0	<0.001	12	<0.001	1,2	5,5	5,9	23,1
SK-63***	99	3	9229	242	2107	22	739	373	-	-	10	70

*** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.3 Suların iz element analiz sonuçları devamı

	μg/L													
NU	Pd	Ta	Pb	Ag	Cd	U	Rb	Sb	Tl	V	Cs	Ge	Sn	Co
SK-1	5.8	175.8	292.0	5.2	3.7	6.3	175.9	213.2	0.3	38.8	<0.001	<0.001	54.9	<0.001
SK-3	0.3	5.7	2.6	<0.001	0.0	3.2	2.1	0.2	0.0	0.3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-6	0.3	3.1	2.1	<0.001	0.0	2.3	1.5	0.5	0.0	0.4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-8	0.1	3.1	2.1	<0.001	0.1	3.0	0.6	1.3	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-9	0.4	3.9	2.2	<0.001	0.0	6.6	6.3	2.1	0.0	1.0	<0.001	0.1	<0.001	<0.001
SK-10	0.1	5.5	1.8	<0.001	0.0	1.1	0.4	0.4	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-11	0.3	3.8	2.4	<0.001	0.2	2.3	2.8	0.4	0.0	0.2	<0.001	0.0	<0.001	<0.001
SK-12	0.1	4.9	3.2	<0.001	0.0	1.2	0.7	0.2	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-16	<0.001	1.7	2.1	<0.001	0.1	0.0	0.5	0.2	0.0	0.4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-17	<0.001	2.3	2.0	<0.001	0.0	0.0	1.1	0.2	0.0	0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-18	<0.001	3.1	2.5	<0.001	0.0	0.3	0.6	1.3	0.0	0.7	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-21	1.2	81.4	343.3	4.5	1.7	4.6	56.0	214.7	0.4	11.5	<0.001	<0.001	15.2	<0.001
SK-23	1.4	25.8	45.4	0.8	0.3	6.3	31.4	33.0	0.0	6.0	<0.001	1.2	2.7	<0.001
SK-26	0.1	5.9	1.6	<0.001	0.0	0.8	2.0	0.2	0.0	1.4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-29	1.5	5.0	2.2	<0.001	0.0	1.6	16.3	0.2	0.0	0.6	0.9	0.0	<0.001	<0.001
SK-30	0.2	1.4	1.9	<0.001	0.0	1.6	7.8	0.2	0.0	2.5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-31	3.1	19.9	40.6	0.9	0.1	0.4	21.3	29.0	0.0	0.7	<0.001	0.6	<0.001	<0.001
SK-32	2.5	53.0	248.2	7.6	1.7	5.5	123.6	210.7	0.6	33.3	<0.001	<0.001	27.0	<0.001
SK-36	1.3	40.9	277.8	4.2	0.0	3.9	138.2	213.8	0.9	36.8	<0.001	1.2	39.7	<0.001
SK-38	2.3	121.9	278.9	8.2	4.8	4.5	144.8	216.6	0.8	37.8	<0.001	<0.001	47.5	<0.001
SK-39	0.8	22.6	38.5	0.3	0.4	15	2.5	29.8	0.1	3.3	<0.001	0.2	1.2	<0.001
SK-41	0.1	2.0	2.6	<0.001	0.0	3	0.6	1.3	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-43	0.1	2.0	2.1	<0.001	0.0	9	21.4	0.2	0.0	<0.001	0.7	<0.001	<0.001	<0.001
SK-44	0.1	1.8	2.6	<0.001	0.0	1	4.3	0.6	0.0	0.5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-45	0.2	2.1	2.6	<0.001	0.2	90	2.9	0.8	0.0	3.0	<0.001	<0.001	<0.001	3.9
SK-46	0.2	7.3	2.2	<0.001	0.1	3	5.1	1.3	0.0	1.9	<0.001	0.0	<0.001	<0.001
SK-47	<0.001	3.0	1.8	<0.001	0.0	0	0.4	0.2	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-48	0.4	14.9	42.9	0.5	0.7	5	7.7	28.4	0.2	3.9	<0.001	<0.001	3.1	<0.001
SK-51	0.0	3.3	2.2	<0.001	0.0	12	0.7	0.2	0.0	0.6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-52	0.0	4.1	2.2	<0.001	0.1	23	1.2	0.2	0.0	0.1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-53	<0.001	2.8	2.1	<0.001	0.1	14	2.3	0.4	0.0	0.4	<0.001	0.1	<0.001	<0.001
SK-54	1.7	16.9	38.9	0.6	0.3	6.4	31.0	32.6	0.1	4.0	2.4	0.4	<0.001	<0.001
SK-56	0.6	14.5	47.8	0.7	0.6	5.1	29.1	31.3	0.1	5.8	<0.001	0.5	2.0	<0.001
SK-59	0.3	10.2	1.1	<0.001	0.0	1.8	1.1	0.7	0.0	0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-60	0.7	11.4	0.8	<0.001	0.1	2.0	1.0	0.2	0.0	<0.001	<0.001	0.1	<0.001	<0.001
SK-61	0.2	7.6	0.7	<0.001	0.0	1.5	2.2	0.2	0.0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-62	0.6	11.2	0.7	<0.001	0.1	4.2	15.5	2.4	0.0	2.2	3.2	0.5	<0.001	<0.001

5.1 Söke Havzası Sularının Fiziksel Niteliği

Yeraltı sularının sıcaklıkları 9,90 °C ile 27,3 °C arasında farklılık göstermektedir. ÖEİ değerleri 138 ile 56.600 µS/cm arasında değişmektedir. pH değer aralığı 6,32 ile 8,92 arasında değişiklik gösteren yeraltı sularının pH ortalaması 7,59'dur. Genel olarak bazik sular olarak nitelendirilebilir.

Deniz suyu (SK-63), yağmur suyu (SK-16), Azap Gölü (SK-46), Serçin Gölü (SK-56), Bafa Gölü (SK-55) kimyasal analizleri irdelenmiştir. Bafa Gölü çevresindeki balık üretim tesislerinin Büyük Menderes Nehri'ne tahliye ettiği bekletme havuzu suyu (SK-38) ve Dalyan Kanalı (SK-21), Büyük Menderes Nehri havza girişi (SK-54) ve çıkışı (SK-23) örneklenmiştir. Sulama kanalının kış (SK-9) ve bahar (SK-62), dere (SK-60), gölet (SK-48) olarak toplamda 13 noktadan yüzey suyu örnekleme yapılmıştır. Deniz suyu (SK-63) analizleri Gemici ve Somay (2012), Bafa Gölü (SK-55) ise Tarcan ve diğer., (2007) çalışmasından alınmıştır. pH değerleri 7,53 ile 8,92 arasında değişiklik gösteren yüzey sularının pH ortalaması 8,15'dir. Yüzey sularının tamamı bazik sular olarak nitelendirilebilir.

5.2 Söke Havzası Sularının Kimyasal Niteliği

Suların majör anyon (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), majör katyon (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ve silisyum (Si) bollukları Dokuz Eylül Jeokimya Laboratuvarında analiz edilmiştir. Sonuçların doğruluğunu test etmek için hata yüzdesi değeri (%e) hesaplanmıştır. Bu hesaplamadaki öngörü: Yeraltı sularında iyonik formda bulunan majör anyon ile katyonların birbirine eşit olması zorunluluğudur. Yöntem gereği mg/L (ppm) birimiyle ifade edilen majör elementlere mek/L dönüşümü yapıp ardından hata yüzdesi hesaplanmıştır. Ayrıca pH değeri 8,2 üzerinde olmasına rağmen arazide CO_3 analizi yapılmayan SK-9, SK-21, SK-46 soğuk su örnekleri için gaz kaçıışı ya da laboratuvara ulaşım esnasında geçen sürede çökeltme söz konusudur.

$$mek/L = Ci/(Pi/Zi) \quad (5.1)$$

Ci = İyon derişimi (mg/l, mg/kg, ppm)
Pi = İyonun formül gram ağırlığı (g/mol)
Zi= İyon değeri (mutlak değeri)

$$Hata Yüzdesi (\%e) = \frac{\sum katyon - \sum anyon}{\sum katyon + \sum anyon} \times 100 \quad (5.2)$$

Pozitif (+) değeri katyon fazlalığı, negatif (-) değeri anyon fazlalığı olarak yorumlanır. Hata yüzdesinin pozitif ya da negatif olma durumu fark etmeksizin %5'den düşük olması beklenir. Sonuç %5'in üzerinde ise birkaç ihtimal söz konusudur; analiz doğru olmayabilir, majörlerin dışındaki minör element içeriği yüksektir ve hesaplama katılmadığı için sonuç %5'den büyük çıkmış olabilir. Bunların dışında su oldukça asidik olup H⁺ iyonları hesaba katılmamış olabilir ya da su önemli miktarlarda organik iyon içermektedir (Hounslow, 2018). Söke Ovası yeraltı suları incelendiğinde yüksek çözünmüş madde içeriğine sahip sıcak sularda (SK-1, SK-32) bor, arsenik vb. yüksek değerde bulunan minörlerin hesaba katılmaması nedeniyle sonucun %5'den yüksek çıkması normaldir.

Yeraltı suyu fasiyes tipleri Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) ve (Back, 1969) esas alınarak sınıflandırılmıştır. IAH tipi sınıflama, majör anyon ve katyonların kendi içlerinde mek/L cinsinden yüzdeleri hesaplanıp yüzde 20'yi aşan iyonların, önce katyon sonra anyon olacak şekilde sıralı olarak yazılıp ifade edildiği yöntemdir. Back'e göre sınıflama ise majör anyon ve katyonların kendi içlerinde mek/L cinsinden yüzdeleri hesaplanıp yüzde 50'yi aşan iyonların, önce katyon sonra anyon olacak şekilde sıralı olarak yazılıp ifade edildiği yöntemdir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 Suların nokta tipi, akiferi, hata yüzdesi ve fasiyes tipi (Hata yüzdesi yüksek olanlar koyu renk ile boyanmıştır)

NU	Nokta Tipi	Akifer - Su Noktası	e (%)	Fasiyes Tipi	
				IAH'a Göre	Back'e Göre
SK-1	Jeotermal Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	6,28%	Na-Cl	Na-Cl
SK-3	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,41%	Mg-Ca-HCO ₃ -Cl	HCO ₃
SK-6	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	3,21%	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-8	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	2,43%	Mg-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃	Mg
SK-9	Yüzey	Sulama Kanalı (Kış)	0,62%	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄	HCO ₃
SK-10	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	2,60%	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-11	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	2,46%	Mg-HCO ₃	Mg-HCO ₃
SK-12	Kuyu	Söke Su Deposu (Mermer)	3,35%	Mg-Na-HCO ₃	Mg-HCO ₃
SK-16	Yağmur Suyu	Yağmur Suyu	0,30%	Ca-Mg-SO ₄	Ca-SO ₄
SK-17	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	-0,85%	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Ca-HCO ₃
SK-18	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	1,68%	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-21	Yüzey	Dalyan Kanalı	-3,45%	Mg-Na-Ca-Cl	Cl
SK-23	Yüzey	Menderes Nehri Havza Çıkışı	2,52%	Na-K-Cl	Cl
SK-26	Kuyu	Gölsel Karbonat	5,54%	Na-Ca-Mg-HCO ₃	HCO ₃
SK-29	Kuyu	Gölsel Karbonat	5,62%	Mg-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-30	Kaynak	Gölsel Karbonat	4,00%	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-31	Jeotermal Kuyu	Gölsel Karbonat	0,27%	Mg-Ca-Cl-HCO ₃	Mg
SK-32	Jeotermal Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	9,34%	Na-Cl	Na-Cl
SK-36	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	-1,95%	Na-Cl	Na-Cl
SK-37*	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,80%	Na-Cl	Na-Cl
SK-38	Yüzey	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu	1,96%	Na-Cl	Na-Cl
SK-39	Jeotermal Kuyu	Alüvyon	3,46%	Ca-Mg-Cl	Ca-Cl
SK-41	Kuyu	Gnays	-0,52%	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-43	Kuyu	Alüvyon	-1,74%	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-44	Kuyu	Alüvyon	-0,12%	Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Ca
SK-45	Kuyu	Alüvyon	1,09%	Ca-Mg-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-46	Yüzey	Azap Gölü	3,46%	Mg-HCO ₃ -Cl	Mg-HCO ₃
SK-47	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	-1,67%	Ca-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Ca
SK-48	Yüzey	Gölet	7,06%	Na-Mg-Cl	Na-Cl
SK-51	Kuyu	Alüvyon	2,34%	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-52	Kuyu	Alüvyon	3,68%	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-53	Kuyu	Alüvyon	4,38%	Na-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Karışık
SK-54	Yüzey	Menderes Nehri Havza Girişi	0,80%	Mg-SO ₄ -Cl	Mg
SK-55**	Yüzey	Bafa Gölü	0,62%	Na-Cl	Na-Cl
SK-56	Yüzey	Serçin Gölü	1,56%	Na-Mg-Cl	Na-Cl
SK-59	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	2,27%	Ca-Mg-HCO ₃	HCO ₃
SK-60	Yüzey	Dere	3,12%	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃	SO ₄
SK-61	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	2,08%	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	HCO ₃
SK-62	Yüzey	Sulama Kanalı (Bahar)	1,42%	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Karışık
SK-63***	Deniz Suyu	Deniz Suyu	2,17%	Na-Cl	Na-Cl

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Tam majör iyon analizi yapılan sulardaki hata yüzdesi hesaplamasına göre SK-26, SK-29, SK-32, SK-48 hariç hata yüzdeleri sınır değerinin altındadır. SK-26, SK-29, SK-32, SK-48 noktalarının analiz hata yüzdeleri sırasıyla %5,54, %5,62, %9,34, %7,06 olarak bulunmuştur. Üç örnekte çözünmüş madde miktarı yüksek sulardır. Pozitif yöndeki yüksek değer, katyon fazlalığını ifade etmektedir ve majör iyonlar dışında

çözünmüş haldeki metallerin hesaba katılmaması hata yüzdesini arttırmış olabilir. Değer yüzde 10'u geçmediği için kabul edilebilir değer aralığındadır.

Back sınıflamasına göre 11 farklı fasiyes tipinde yeraltı suyu bulunmaktadır. Söke Ovası'nın kuzeybatısında Menderes Masifi Mermerleri'nden sırasıyla 27.3 °C ve 26.10 °C sıcaklıkta jeotermal kökenli su çıkışı gözlenen SK-1 ve SK-32 kaynakları ve Bafa Gölü civarından üretim sağlanan jeotermal kökenli SK-36, SK-37 kuyusu sodyum-klorürce (Na-Cl) zengin su olarak sınıflandırılır. Ek olarak bekletme havuzu (SK-38), Atburgazı ile Tuzburgazı arasında yer alan gölet (SK-48), Bafa Gölü (SK-55) ve Serçin Gölü (SK-56) su noktaları da tuzlu su girişiminden dolayı sodyum-klorürce (Na-Cl) zengin su olarak sınıflandırılır.

Gölsel Karbonat akiferinde yer alan soğuk su kaynak (SK-30) ve kuyuları (SK-26, SK-29) başta olmak üzere, alüvyonda üretim sağlanan SK-45 kuyusu ile kuzeyde yer alan Menderes Masifi Mermerlerindeki kuyular (SK-3, SK-6, SK-59, SK-61) bikarbonatça (HCO_3) zengin su olarak sınıflandırılır.

Deniz suyu girişiminden etkilenmeyen Bafa Gölü kuzeydoğusunda yer alan Menderes Masifi Mermerleri ve alüvyon arasındaki dokanak boyunca yüzeylenen soğuk su kaynakları Asırlık çeşme (SK-17), Bitli çeşme (SK-18) ve kuyular (SK-10, SK-43, SK-51) kalsiyum-bikarbonatça (Ca-HCO_3) zengin su olarak sınıflandırılır. Ayrıca Gnays biriminden üretim sağlanan SK-41 kuyusu da kalsiyum-bikarbonatça (Ca-HCO_3) zengin su sınıfındadır.

Akçakonak yakınları yüksek debiyle doğal çıkış gözlenen SK-8 kaynağı, Büyük Menderes Nehri havza girişi (SK-54), Gölsel Karbonat biriminde yer alan sıcak su kuyusu (SK-31) ise magnezyumca (Mg) zengin su olarak sınıflandırılır. Diğer kaynak ve kuyular ise kendine özgü karakterdedir.

Suların tamamı incelenecek olursa deniz suyu girişimi belirlenen başlıca kuyu (SK-36, SK-37) ve kaynaklarda (SK-1, SK-32, SK-48) baskın katyon sodyum (Na), baskın anyon klorür (Cl) olarak belirlenmiştir. Diğer kuyu ve kaynaklarda ise baskın katyonun sırasıyla kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg), baskın anyonun sırasıyla bikarbonat (HCO_3), klorür (Cl), Sülfat (SO_4) olduğu sonucuna varılır.

Yeraltı sularında çözünmüş +2 değerklikli iyon miktarıyla doğru orantılı olan sertlik; kalıcı ve geçici olarak ikiye ayrılır. Kalsiyum ve magnezyumun, bikarbonat ile oluşturduğu $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ tuzları ‘geçici sertlik’ olarak tanımlanır ve kaynatılarak ya da kireç eklenerek giderilebilir. Kalsiyum ve magnezyumun sülfat, klorür, nitrat, fosfat, silikat ile oluşturduğu tuzlar ise ‘kalıcı sertlik’ olarak tanımlanır. 0 – 14,5 Fransız sertliği arası değerklikteki sular yumuşak, 14,5 – 32,5 arası değerklikteki sular orta sert, 32,5 – 54 arası değerklikteki sular sert, 54’den yüksek değerklikteki sular çok sert su olarak tanımlanır. Sertlik değerkleri aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır. Denklemdaki ‘r’ sembolü mek/L birimini ifade etmek için kullanılır.

$$\text{Fransız Sertliği: } 5 \times (r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}) \quad (5.3)$$

İçme sularında yüksek kalsiyum ve magnezyumun insan sağlığı üzerine olumsuz etkisi tespit edilmemiş olmakla birlikte düşük ve orta sertlikteki sular içim rahatlığı açasından tercih edilmektedir. Sert su; yemek pişirmeye, çamaşır yıkamaya ya da sanayide kullanıma uygun değildir. Aşırı sabun tüketimine ek olarak kazan ve borularda kireç oluşumuna neden olur.

Tablo 5.5 Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde ve sınıflaması ile sertlik değeri ve sınıflaması

NU	Nokta Tipi	ÖEİ		pH	Akifer - Su Noktası	TÇM (Mek/L)	Sınıflama	Sertlik	Sınıflama
		T (°C)	(µS/cm)						
SK-1	Jeotermal Kaynak	27,3	56600	7,16	Menderes Masifi Mermerleri	1286,0	Tuzlu Su	831,5	Çok Sert
SK-3	Jeotermal Kuyu	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri	26,4	Tatlı Su	50,7	Çok Sert
SK-6	Kuyu	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri	19,8	Tatlı Su	37,7	Çok Sert
SK-8	Kaynak	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri	4,1	Tatlı Su	10,4	Çok Sert
SK-9	Yüzey	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)	24,8	Tatlı Su	43,3	Çok Sert
SK-10	Kuyu	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri	9,2	Tatlı Su	23,3	Çok Sert
SK-11	Kuyu	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri	16,7	Tatlı Su	40,4	Çok Sert
SK-12	Kuyu	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)	18,2	Tatlı Su	35,0	Çok Sert
SK-16	Yağmur Suyu	14,0	30	7,70	Yağmur Suyu	4,0	Tatlı Su	9,5	Çok Sert
SK-17	Kaynak	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri	5,8	Tatlı Su	13,8	Çok Sert
SK-18	Kaynak	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri	9,7	Tatlı Su	24,2	Çok Sert
SK-21	Yüzey	16,7	20000	8,50	Dalyan Kanalı	347,8	Hafif Tuzlu Su	565,9	Çok Sert
SK-23	Yüzey	15,0	7000	7,96	Menderes Nehri Havza Çıkışı	128,6	Hafif Tuzlu Su	69,0	Çok Sert
SK-26	Kuyu	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat	14,9	Tatlı Su	24,6	Çok Sert
SK-29	Kuyu	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat	25,9	Tatlı Su	44,6	Çok Sert
SK-30	Kaynak	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat	18,4	Tatlı Su	35,2	Çok Sert
SK-31	Jeotermal Kuyu	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat	35,5	Hafif Tuzlu Su	69,7	Çok Sert
SK-32	Jeotermal Kaynak	26,1	43800	6,75	Menderes Masifi Mermerleri	1020,6	Tuzlu Su	309,8	Çok Sert
SK-36	Jeotermal Kuyu	25,6	56000	6,97	Menderes Masifi Mermerleri	1086,3	Tuzlu Su	382,2	Çok Sert
SK-37*	Jeotermal Kuyu	25,0	25500	7,46	Menderes Masifi Mermerleri	553,4	Tuzlu Su	302,9	Çok Sert
SK-38	Yüzey	23,0	51700	7,53	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu	965,0	Tuzlu Su	348,6	Çok Sert
SK-39	Jeotermal Kuyu	22,3	4700	7,20	Alüvyon	91,5	Hafif Tuzlu Su	227,5	Çok Sert
SK-41	Kuyu	13,6	388	7,85	Gnays	9,7	Tatlı Su	23,9	Orta Sert
SK-43	Kuyu	14,1	943	7,16	Alüvyon	27,4	Hafif Tuzlu Su	66,7	Çok Sert
SK-44	Kuyu	14,7	518	6,80	Alüvyon	12,5	Tatlı Su	30,4	Orta Sert
SK-45	Kuyu	19,7	1268	6,52	Alüvyon	24,1	Tatlı Su	43,4	Sert
SK-46	Yüzey	13,1	590	8,92	Azap Gölü	24,2	Tatlı Su	47,7	Sert
SK-47	Kuyu	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri	4,5	Tatlı Su	10,7	Yumuşak
SK-48	Yüzey	18,0	6700	7,81	Gölet	117,9	Hafif Tuzlu Su	117,2	Çok Sert
SK-51	Kuyu	14,0	631	8,17	Alüvyon	16,0	Tatlı Su	40,1	Sert
SK-52	Kuyu	15,4	484	8,11	Alüvyon	13,5	Tatlı Su	22,0	Orta Sert
SK-53	Kuyu	12,7	225	7,72	Alüvyon	7,5	Tatlı Su	8,3	Yumuşak
SK-54	Yüzey	14,4	2110	8,25	Menderes Nehri Havza Girişi	49,9	Hafif Tuzlu Su	98,7	Çok Sert
SK-55**	Yüzey	14,9	23400	8,58	Bafa Gölü	569,2	Tuzlu Su	302,9	Çok Sert
SK-56	Yüzey	15,0	7000	8,31	Serçin Gölü	134,1	Hafif Tuzlu Su	149,0	Çok Sert
SK-59	Kuyu	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri	20,6	Tatlı Su	46,0	Sert
SK-60	Yüzey	18,4	900	8,10	Dere	23,1	Tatlı Su	54,4	Çok Sert
SK-61	Kuyu	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri	19,2	Tatlı Su	35,8	Sert
SK-62	Yüzey	17,0	1200	8,10	Sulama Kanalı (Bahar)	29,3	Hafif Tuzlu Su	52,4	Çok Sert
SK-63***	Deniz Suyu	17,5	57700	8,03	Deniz Suyu	1607,9	Tuzlu Su	845,1	Çok Sert

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.5 incelendiğinde SK-8 ve Asırlık Çeşme olarak bilinen yöre halkı tarafından içme suyu amaçlı kullanılan SK-17 kaynakları ile SK-47 ve SK-53 içme amaçlı üretim sağlanan kuyular hariç suların tamamı orta sert – çok sert su sınıfındadır.

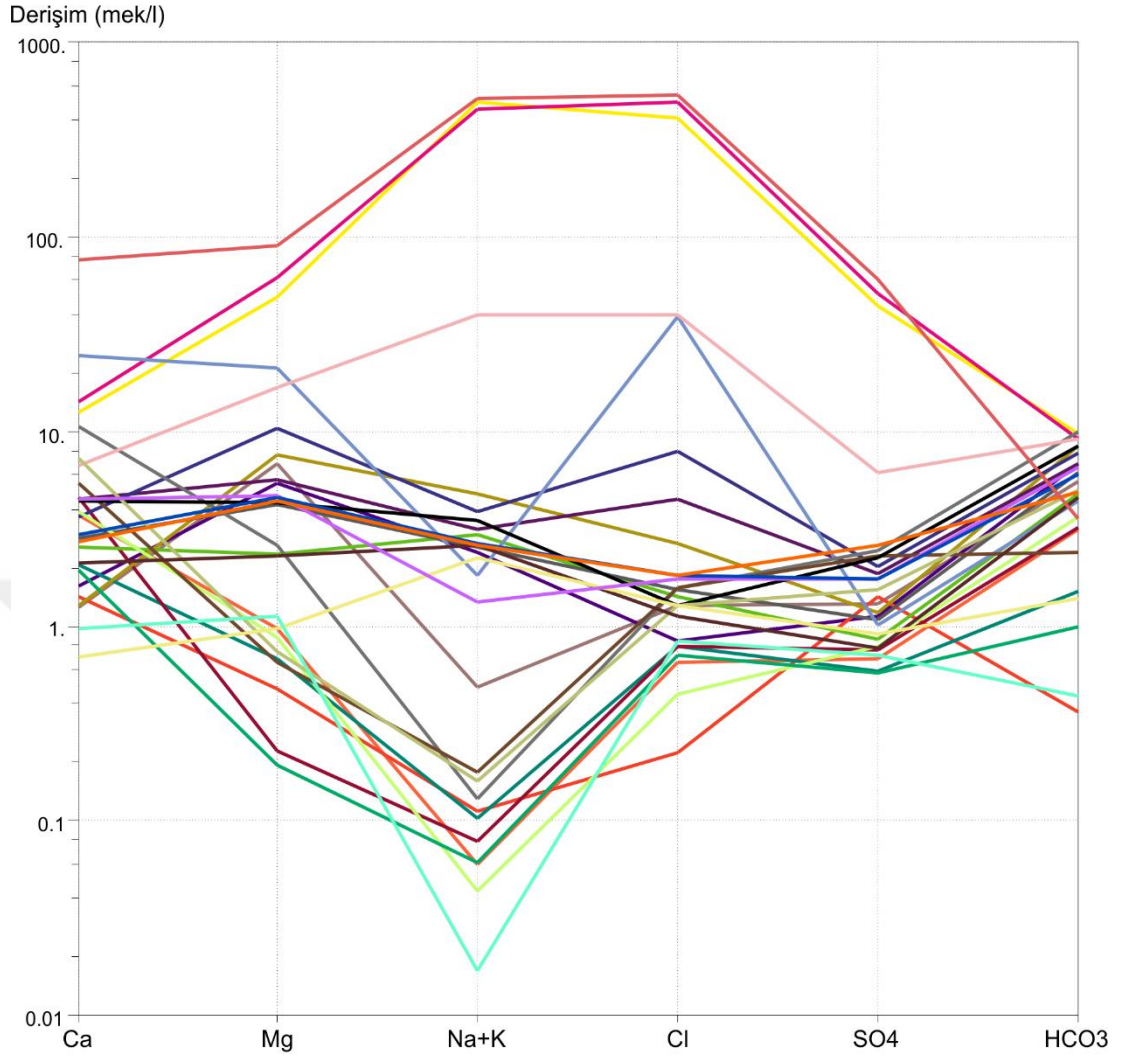
Toplam çözünmüş madde miktarına bağlı sınıflama; 0 – 1000 mg/L için tatlı su, 1000 – 10.000 mg/L için hafif tuzlu su, 10.000 – 100.000 mg/L için tuzlu olarak nitelendirilerek uygulanır. Hesaplamalarda majör iyon olarak ifade edilen kimyasal analiz sonuçları üzerinden hesap yapılmıştır. En az 277,1 mg/L, en fazla 62.919,7 mg/L çözünmüş madde içeriğine sahiptir. Farklı özgül elektriksel iletkenlik değerine sahip suların çoğu tatlı su ve hafif tuzlu su sınıfındadır. Suların yarısına yakınının hafif

tuzlu su sınıfında yer alması, kıyı akiferinde tuzlu su girişimi olma durumunu işaret etmektedir. (Tablo 5.5).

5.2.1 Schoeller Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Yeraltı sularının kimyasal verisinin işlendiği Schoeller Yarı Logaritmik diyagramı suların köken analizinin yapılmasını sağlar. Aynı alanda birden farklı örnek noktasının kıyaslanmasıyla karışım olup olmadığının yorumlanmasını sağlar.

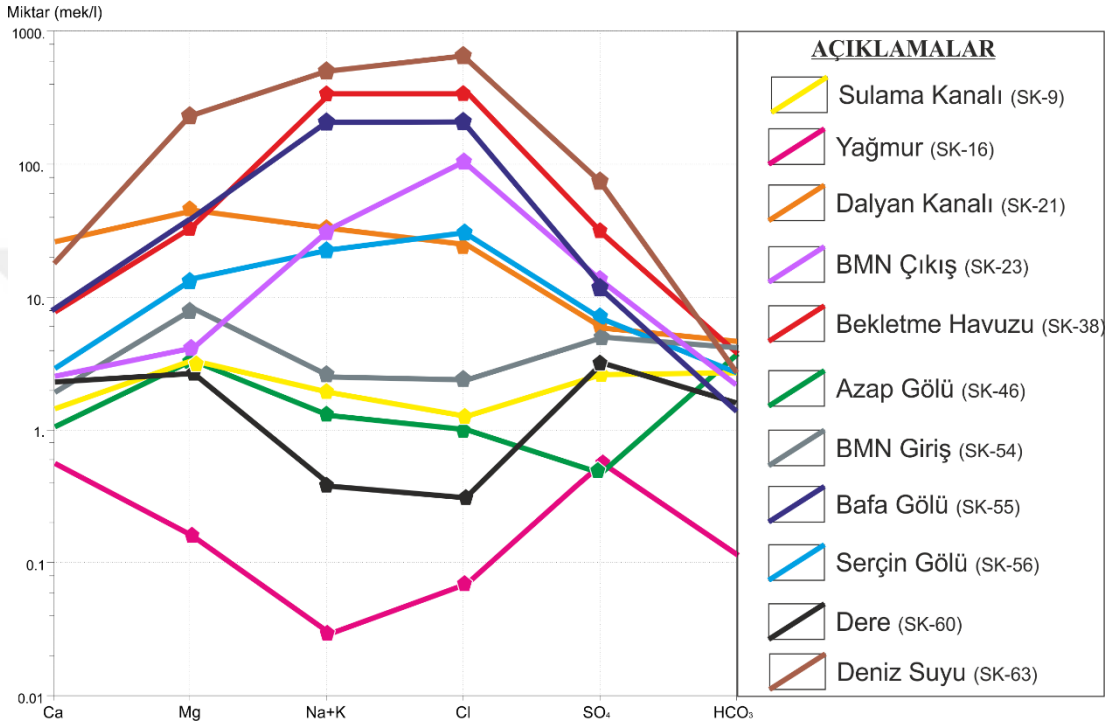
Diyagramın uygulanması için öncelikle majör iyonların mek/L dönüşümü yapılır. Diyagramda yatay ekseninde kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum ve potasyum (Na+K), klorür (Cl), sülfat (SO₄), bikarbonat ve karbonat (HCO₃+CO₃) sıralıdır. Düşey eksen ise logaritmik ölçeklidir. Her iyonun mek/L değeri, o iyonla ait logaritmik ekseninde işaretlenir. Elde edilen noktalar doğrusal şekilde birleştirilir. Her rnek iin aynı işlem tekrarlandıktan sonra ortaya ıkan kırık izgiler ve pikler yorumlanır. Benzer kkenli, aynı akifere veya beslenme alanına sahip sular aynı dağılımı gsterirler. Karışım olduğu dşnlen suların, karışan suların arasındaki değerlerde ıkması beklenir.



AÇIKLAMA					
SK-1	SK-3	SK-6	SK-10	SK-11	SK-12
SK-16	SK-17	SK-18	SK-26	SK-29	SK-30
SK-31	SK-32	SK-36	SK-39	SK-41	SK-43
SK-44	SK-45	SK-47	SK-48	SK-51	SK-52
SK-53	SK-59	SK-60	SK-8		

Şekil 5.1 Yeraltı sularının Schoeller (Yarı Logaritmik) Diyagramı ile gösterimi (Schoeller, 1935)

Şekil 5.1 incelenecek olursa deniz suyu girişi belirlenen jeotermal kökenli su kaynakları SK-1, SK-32 ile SK-36 kuyusu yüksek çözünmüş madde bolluklarıyla dikkat çekmektedir. Tuzlu su girişi gözlenmeyen kaynakların çoğu benzer pikleri vermektedir. Gölsel Karbonat akiferindeki sular diğerlerinden farklı noktada belirmektedir.



Şekil 5.2 Yüzey suların Schoeller (Yarı Logaritmik) Diyagramı ile gösterimi (Schoeller, 1935)

Şekil 5.2’de yer alan yüzey suları incelenecek olduğunda en seyreltik sular sırasıyla yağmur suyu (SK-16) ardından Söke Grabeni’nin kuzeydoğu hattı boyunca yer alan şistlerden gelen dere (SK-60) ve Azap Gölü (SK-46)’dür. En yüksek çözünmüş madde miktarına sahip su, deniz suyu (SK-63) ve ardından atık su bekletme havuzudur (SK-32).



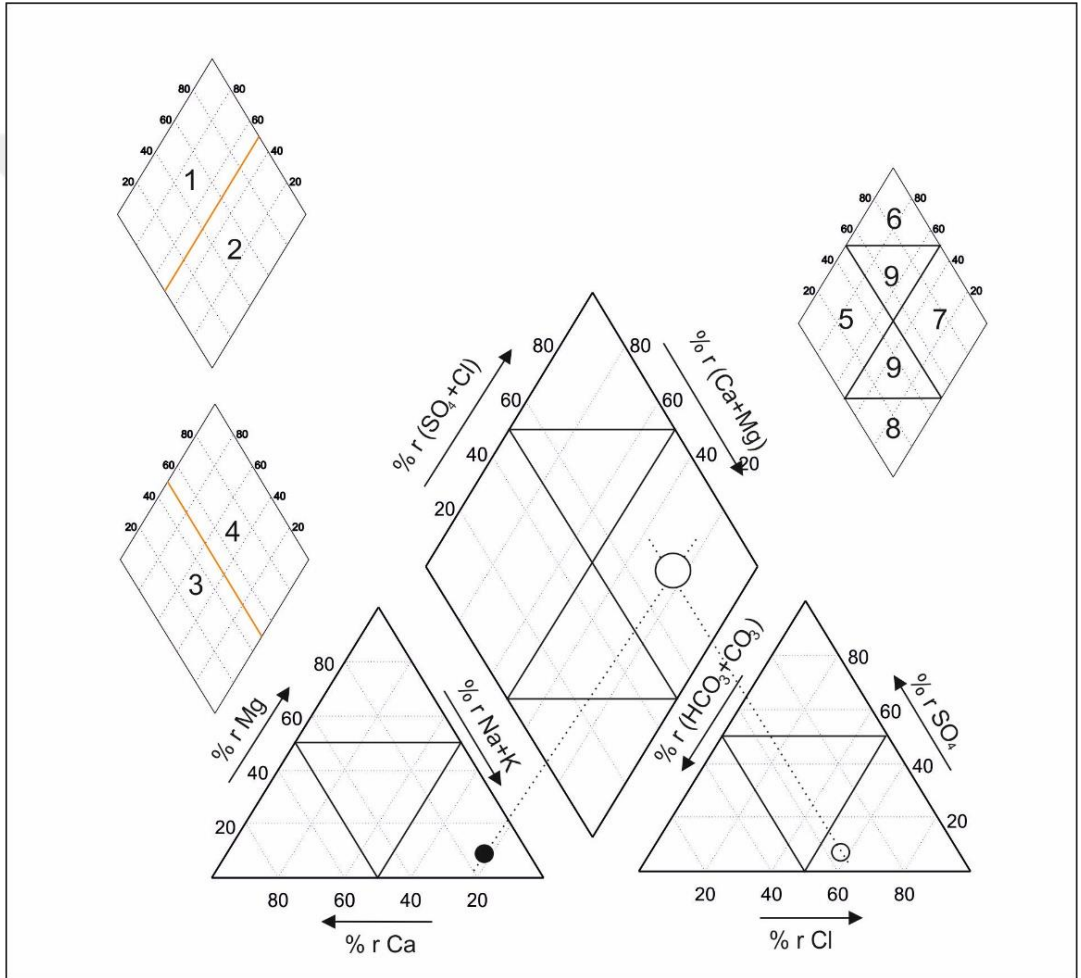
Şekil 5.3 Balık üretim tesisi SK-38 kodlu atık su bekletme havuzu (Kişisel arşiv, 2018)

Bafa Gölü, tuzluluk artışını önlemek için Büyük Menderes Nehri tarafından yapay yollarla beslenmektedir. Ek olarak Alüvyondan Bafa Gölü'ne meydana gelebilecek taşkınları önlemek amacıyla yapılan sol sahil seddesi kurulmuştur. Taşkınların tarımsal aktiviteye zarar vermesi önlenmeye çalışılmaktadır. Balık üretim tesislerinin atık suları bekletme havuzunda ilkel yöntemlerle arıtılmakta ve dalyan kanalı aracılığıyla göle ya da nehre tahliye edilmektedir. Bölüm 5.3.3'de ayrıntılandırılmıştır.

En yüksek çözünmüş madde içeriğine sahip örnek, deniz suyundan sonra balık üretim tesisi atık su bekletme havuzudur. Örnekleme tarihleri Bafa Gölü sularının nehre ve ardından denize doğru akışına izin verilen döneme karşılık gelmektedir. Bekletme havuz suları (Şekil 5.3) ve Bafa Gölü'nün karıştığı Dalyan Kanalı (SK-21), Bafa Gölü sularına yakın değerlere sahiptir. Büyük Menderes Nehri'nin denize ulaştığı noktadaki (SK-23) yüksek madde miktarı, tahliye ardından gelişmektedir.

5.2.2 Piper Diyagramına Göre Suların Sınıflaması

Piper diyagramı, suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, suların sınıflamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde, majör anyon ve katyonlar mek/L cinsinden yüzdeleri hesaplanarak üçgen diyagramlara işlenir. Üçgen diyagramda bulunan anyon ve katyon noktaları, aynı doğrultuda takip edilerek dörtgen diyagramda çakıştırılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Piper Diyagramı sınıflamasını gösteren şekil

1 numaralı alan alkali toprak elementler ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), alkali elementlere ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) kıyasla bolluk miktarı fazla olarak; 2 numaralı alan alkali toprak elementleri

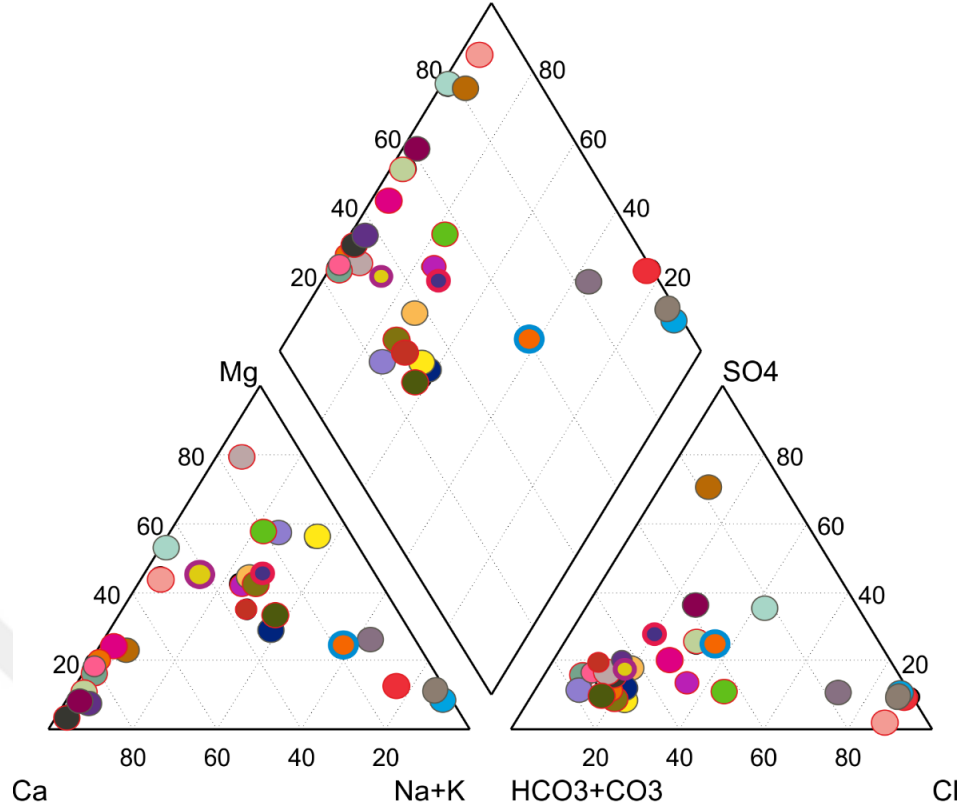
(Ca²⁺+Mg²⁺) alkali elementlere (Na⁺+K⁺) kıyasla bolluk miktarı fazla olarak yorumlanır.

3 numaralı alanın zayıf asit kökleri (CO₃⁼ + HCO₃⁼), güçlü asit kökleri (Cl⁻ +SO₄⁼) kıyasla yüksek miktardadır. 4 numaralı alanın klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄⁼) iyon miktarı bolluğu karbonat (CO₃⁼) ve bikarbonata (HCO₃⁼) kıyasla yüksek miktardadır.

5 numaralı alan ise karbonat sertliği %50'den fazla olan sular; 6 numaralı alan karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular olarak yorumlanır.

7 numaralı alan karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır. 8 numaralı alan, karbonat alkalileri %50'den fazla olan sulardır; doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.

9 numaralı alan ise iyonların hiçbirisi % 50'yi geçmeyen, karışık sular olarak sınıflandırılır.



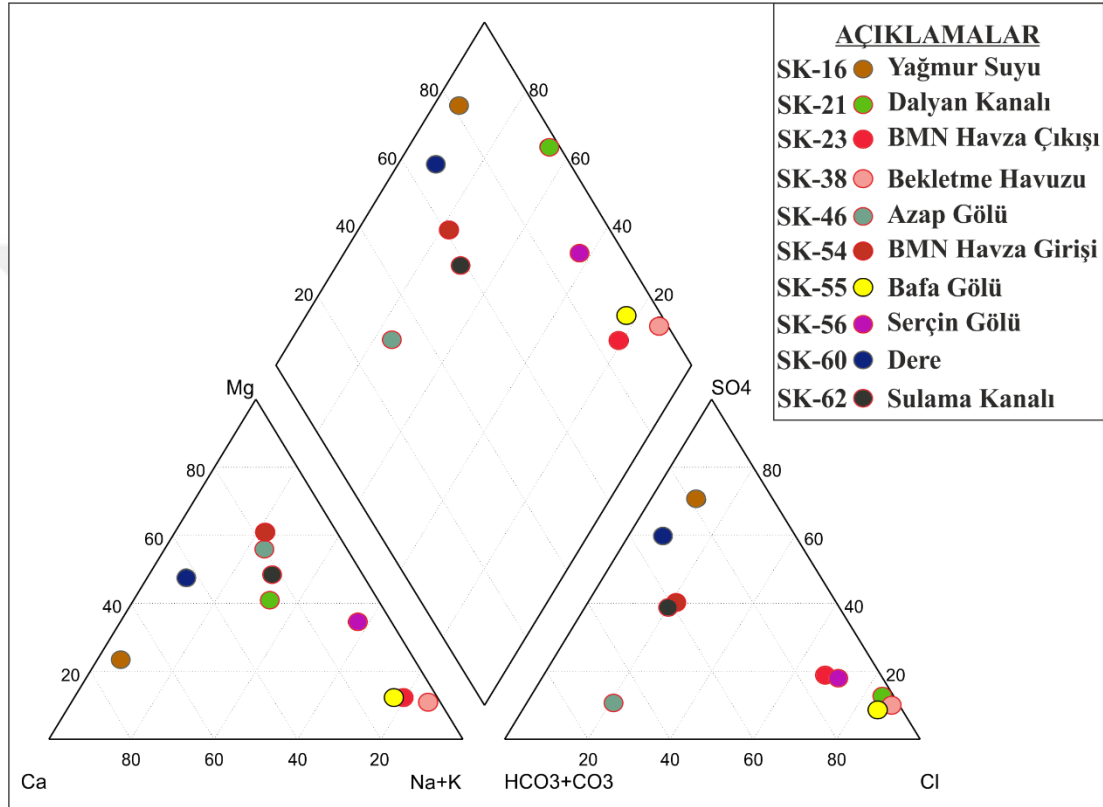
AÇIKLAMALAR

SK-1	SK-3	SK-6	SK-8	SK-10	SK-11
SK-12	SK-16	SK-17	SK-18	SK-26	SK-29
SK-30	SK-31	SK-32	SK-36	SK-39	SK-41
SK-43	SK-44	SK-45	SK-47	SK-48	SK-51
SK-52	SK-53	SK-59	SK-61		

Şekil 5.5 Yeraltı sularının Piper Diyagramı'nda gösterimi (Back, 1961)

Yeraltı suları incelenecek olursa suların tamamına yakını alkali toprak elementleri (Ca^{2+} , Mg^{2+}) bolluğu, alkali elementlerden (Na^+ , K^+) yüksek olan sular ve zayıf asit kökleri ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), güçlü asit köklerinden ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) fazla olan sular olarak yorumlanabilir. SK-8, SK-11, SK-16, SK-44, SK-47 noktaları 6 numaralı alana düşmektedir. Bu sular karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular olarak tanımlanır. SK-1, SK-32, SK-36, SK-48, SK-53 noktaları 7 numaralı alana denk gelmektedir. Bu sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz suyu ve çok acı sular bu alanda yer alır. SK-31 örneği ise 9 numaralı alana düşmektedir; iyonların hiçbirini

%50'yi geçmeyen karışık sular olarak yorumlanır. Geriye kalan tüm örnekler (SK-3, SK-6, SK-10, SK-12, SK-17, SK-18, SK-26, SK-29, SK-30, SK-39, SK-41, SK-43, SK-45, SK-51, SK-52, SK-59, SK-61) noktaları 5 numaralı alana denk gelmektedir. Bu sular karbonat sertliği %50'den fazla olan deniz suyu girişi gözlenmeyen gölsel karbonat ve mermer akiferini temsil etmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.6 Yüzey sularının Piper Diyagramı'nda gösterimi (Back, 1961)

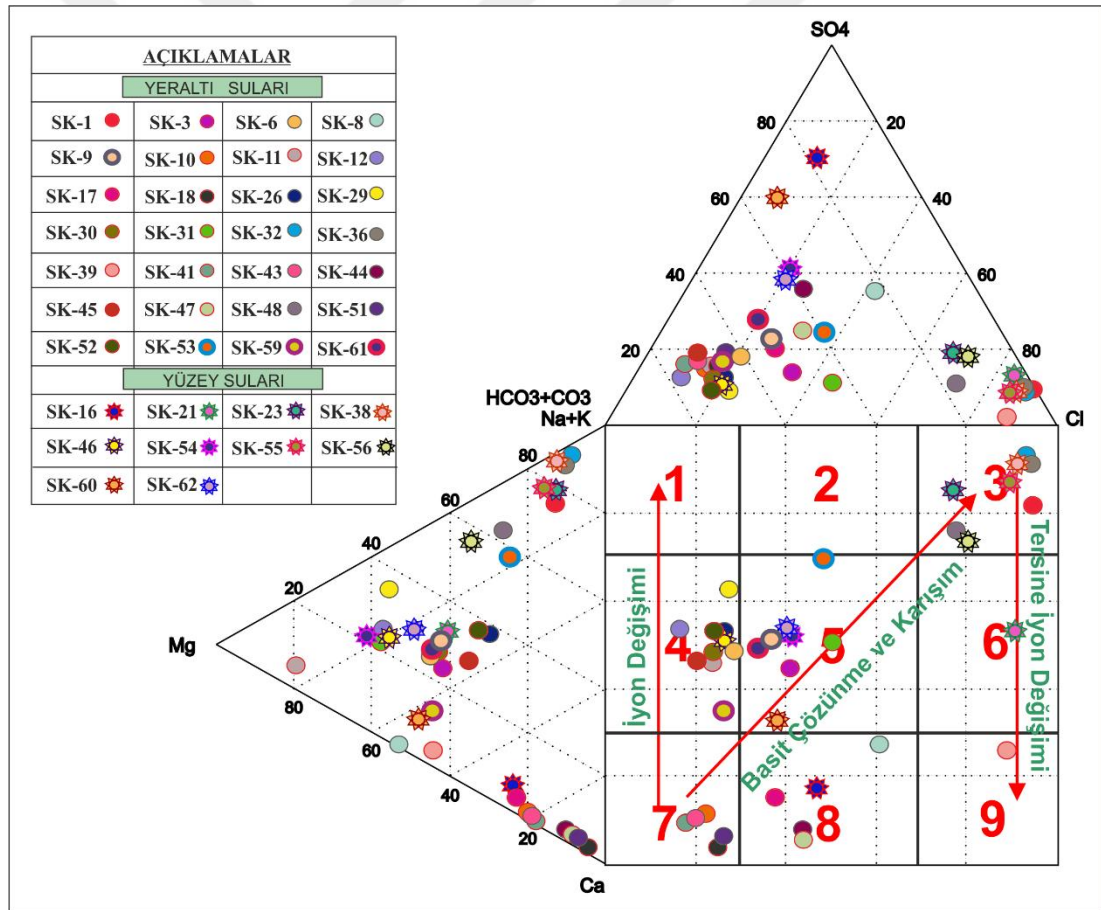
Yüzey suları incelenecek olursa yeraltı sularının aksine klorür (Cl^-) ve Sülfat (SO_4^{2-}) bolluğu, sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+) miktarından fazladır. Azap Gölü (SK-46) karbonat sertliği %50'den fazla olan sular; yağmur suyu (SK-16), Dalyan Kanalı (SK-21), Dere (SK-60) ise karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular olarak yorumlanabilir.

BMN Havza Çıkışı (SK-23), Bekletme Havuzu (SK-38), Bafa Gölü (SK-55), Serçin Gölü (SK-56) benzer kimyasal özelliklerde olup karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular olarak sınıflandırılır. Bu suların NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir, çok tuzlu sular bu sınıfa girmektedir.

Büyük Menderes Nehri Havza Girişi (SK-54), regülatör aracılığıyla nehirten su takviye edilen sulama kanalı (SK-62) benzer kimyasal bileşenlere sahip olup iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfındadır (Şekil 5.6).

5.2.3 Durov Diyagramına Göre Suların Sınıflaması

Durov Diyagramı Piper Diyagramı'na benzer olarak üçgenlere düşürülen % mek/L değerlerinin üçgen diyagramdaki konumları belirlenir. Üçgen diyagramda işaretlenen noktalar, üçgenin temas ettiği kare diyagramın kenarına dik olacak şekilde birleştirilir. Kare diyagramda kesişen noktalar işaretlenir (Şekil 5.7). Kare diyagramda yer alan 9 farklı alana göre sular yorumlanır (Durov, 1948; Lloyd and Heathcote, 1985).



Şekil 5.7 Suların Durov Diyagramı'nda gösterimi (Durov, 1948; Lloyd and Heathcote, 1985)

1 numaralı alan: Bikarbonat (HCO_3) ve kalsiyum (Ca) baskın; kireçtaşı, kumtaşı ve benzeri akiferlerde hızlı yenilenen dolaşım sularını işaret eder. Bu alana düşen yeraltı ya da yüzey suyu bulunmamaktadır.

2 numaralı alana denk gelen sular için ise kalsiyum (Ca) ve bikarbonat (HCO_3) iyonları hakimdir. Magnezyum (Mg) değeri yüksekse akiferin dolomit ile ilişkisi olduğu kabul edilir. Sodyum (Na) değerinin kayda değer miktarda fazla olduğu durumlarda, iyon değişimi olduğu varsayılmaktadır. Bu alana düşen yeraltı ya da yüzey suyu bulunmamaktadır.

3 numaralı suların normal şartlar altında bikarbonat (HCO_3) ve kalsiyum (Ca) baskınken, iyon değişimi meydana geldiği alandır. Serçin Gölü (SK-56), balık üretim tesislerinin atık su bekletme havuzu (SK-38) ve Büyük Menderes Nehri'nin denize döküldüğü noktada yer alan (SK-23) yüzey suları bu alana düşmektedir. Ayrıca tuzlu su girişi meydana gelmiş olan jeotermal kökenli sular (SK-1, SK-32, SK-36) ve 1 adet soğuk su noktası (SK-48) bu alanda yer almaktadır. Mermer ya da karbonat akiferi olarak tanımlanan bu sular, iyon değişimi gerçekleşmiş karışım sularıdır.

4 numaralı alan, kalsiyum (Ca) ve sülfat (SO_4) baskın ise lav ve jipsli akiferlerde taşınım süreçlerinden kaynaklı gelişmiş olarak yorumlanır; jeolojik şartlar birbirini tamamlamıyor ise karışım suyu ya da basit çözünme gösterebilen sular olarak yorumlanır. 8 adet soğuk su kuyusu (SK-6, SK-11, SK-12, SK-26, SK-29, SK-45, SK-52, SK-59), 1 adet kaynak (SK-30) ve yüzey sularından Azap Gölü (SK-46) bu noktaya karşılık gelmektedir.

5 numaralı alan, baskın anyon ya da katyon olmayan basit çözünme gösteren karışım suları olarak tanımlanabilir. 3 jeotermal kökenli kuyu suyu (SK-3, SK-31), 2 soğuk su kuyu suyu (SK-53, SK-61) bu alandadır. İki ayrı dönemde örnek alınan sulama kanalı suyu (SK-9, SK-62), yağmur suyu (SK-16) ve kuzeyde yer alan mermerlerden havzaya akaçlanan dere örneği (SK-60) bu alana karşılık gelmektedir.

6 numaralı alanda beliren sular, nadiren karşılaşılan sulardır. Yüksek olasılıkla karışım suyudur ve nadiren çözünme eğilimindedir. Dalyan Kanalı örneği (SK-21) bu noktaya karşılık gelmektedir.

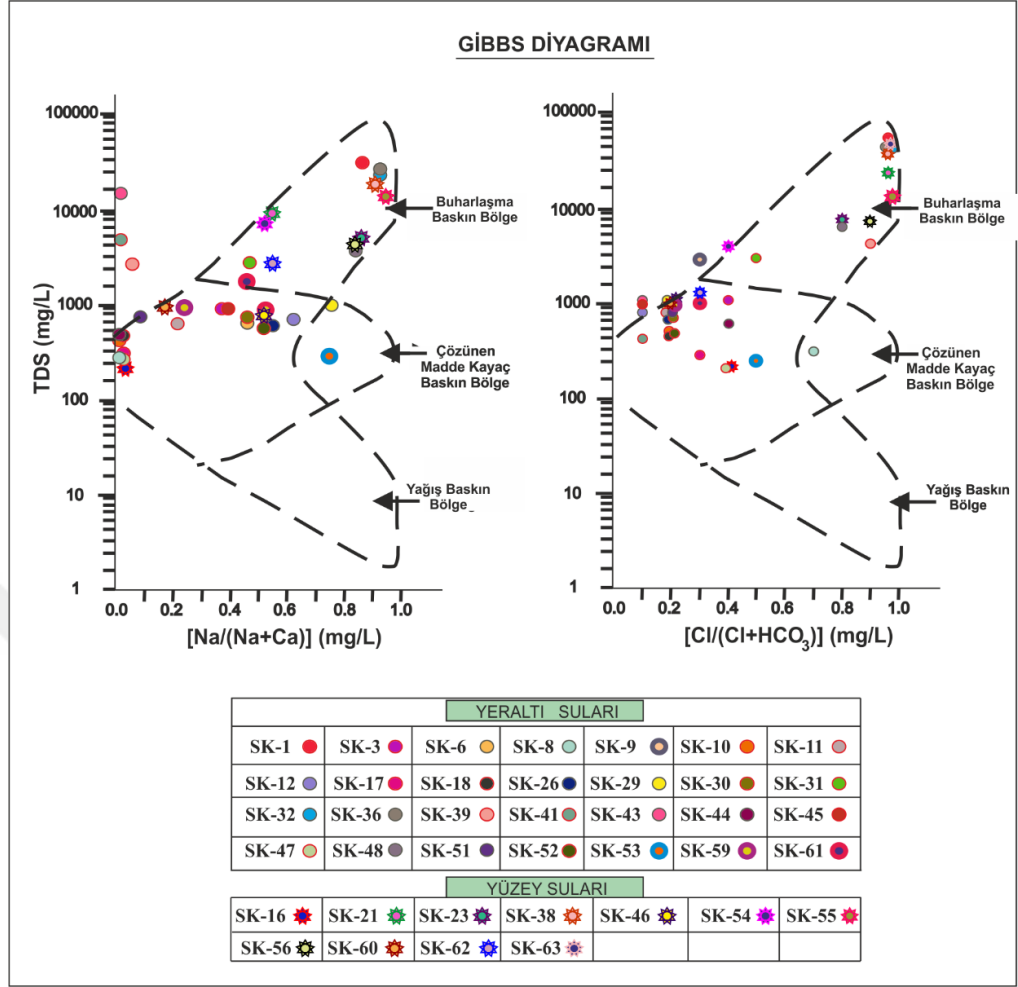
7 numaralı alanda karbonatlar, alçıtaşı vb. herhangi kimyasal olarak çökelmiş malzemeye temas etmiş olup aksi durumda sodyum (Na) ve klorür (Cl) baskın sulardır. Menderes Masifi Mermerlerinden üretim sağlanan soğuk su noktaları (SK-10, SK-18, SK-43, SK-51) ile Söke Fayı üzerinde mermerden yüzeylenen SK-32 sıcak su kaynağı bu alana karşılık gelmektedir.

8 numaralı alanda, kalsiyum (Ca) baskın katyon olarak belirlemektedir. Baskın anyon klorür (Cl) ise yeraltı sularının deniz suyu ile iyon takasında bulunduğunu işaret eder. Baskın anyon bikarbonat (HCO_3) ise mermer, karbonat, alçıtaşı vb. akiferleri işaret etmektedir. Mermerlerden yüzeylenen 2 adet kaynak (SK-8, SK-17) ve 2 adet kuyu (SK-44, SK-47) ve yağmur suyu (SK-16) bu alanda yer almaktadır.

9 numaralı alanda klorür (Cl) ve sodyum (Na) baskındır. Çözünme boyunca aşamalı olarak meydana gelen tuzlu su girişiminin son noktalarını işaret eder. Sadece havzanın iç kesimlerinde yer alan alüvyonda üretim sağlanan sıcak su kuyusu (SK-39) bu noktada yer almaktadır.

5.2.4 Gibbs Diyagramı'na Göre Suların Sınıflandırılması

Gibbs diyagramı (Gibbs, 1970), suyun çözünmüş kimyasal bileşenlerinin kaynaklarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sodyumun, sodyum ve kalsiyum toplamına oranı ile klorürün, klorür ve bikarbonatın toplamına oranı hesaplanarak elde edilen değerlerin toplam çözünmüş madde ile ilişkisi üzerinden sınıflandırma yapılan diyagramda üç bölge yer almaktadır. Üç bölge, su kimyasını kontrol eden farklı mekanizmaları temsil edecek şekilde bölünmüştür. Bunlar; yağış baskın bölge, kayaktan çözünen madde baskın bölge ve buharlaşma etkisi baskın bölge olarak adlandırılır (Varol ve Davraz, 2014). Yorumlanırken bilinmesi gereken ise diyagramda insan kaynaklı (antropojenik) etkiler göz ardı edilmektedir.



Şekil 5.8 Suların Gibbs Diyagramı'nda gösterimi (Gibbs, 1970)

Şekil 5.8'de yer alan Gibbs Diyagramı'na göre yaz aylarının kurak geçtiği bölgede yüzey sularının tamamı buharlaşma baskısı nedeniyle çözülmüş madde miktarında artış gösterme eğilimindedir. Büyük Menderes Nehri ile sulanan Söke Ovası'nın, tuzluluğunun nedenlerinden birisi buharlaşma olarak yorumlanabilir. Yeraltı sularında ise yağış katkısı olmakla birlikte, dolaşımdaki akiferlerin çoğunun çözülmüş madde kaynağı kayalardır.

5.3 Su Kalitesi

Söke Ovası pamuk üretimi başta olmak üzere tarımsal etkinliğin yüksek olduğu bölgelerdendir. Ayrıca Bafa Gölü civarındaki balık üretim tesisleri, Serçin Köyü başta olmak üzere yerel halkın istihdam edildiği sanayi bölgesidir. Bafa Gölü, milli park olmasına rağmen turizm yatırımlarına teşvik ve bölge halkında yeterli farkındalık olmadığı için rağbet görmemektedir. Geçim kaynağı, ovadaki ürün verimine bağlı tarımcılık ve Bafa Gölü su kalitesine bağlı balıkçılık olan bölgenin sürdürülebilir su politikasının olması elzemdir.

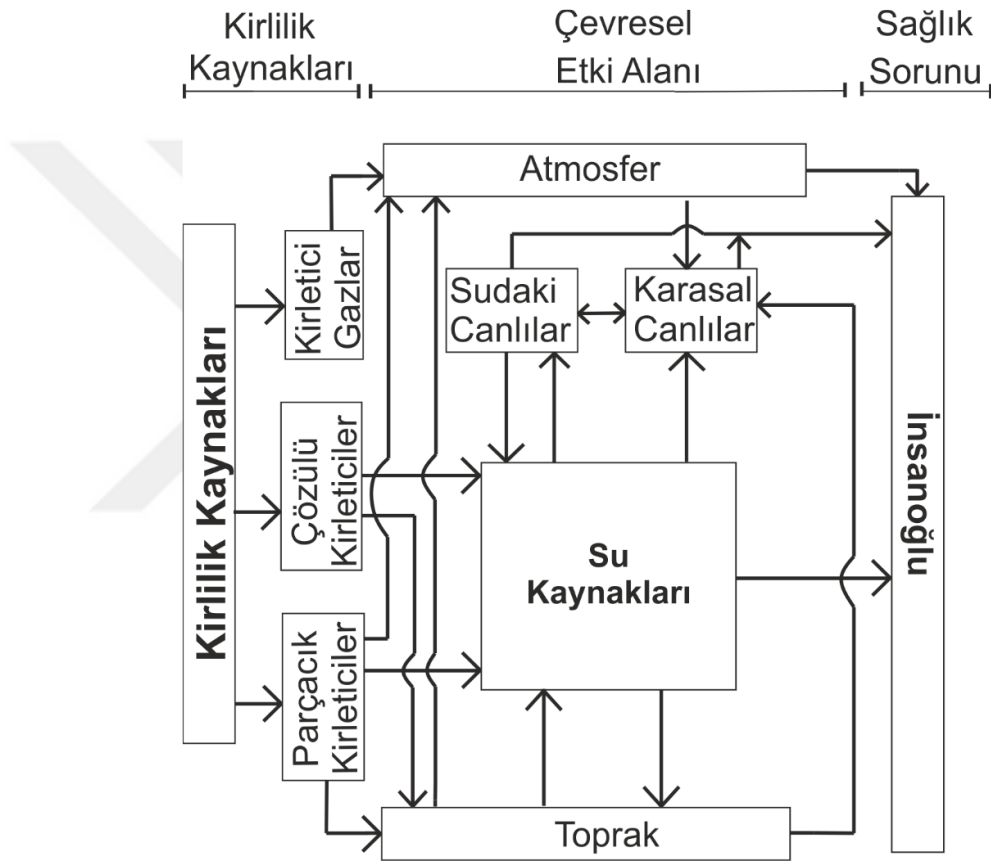
Havzayı besleyen ya da havzadan üretim sağlanan suların fizikokimyasal niteliklerine göre içme ya da sulama suyuna uygunluğu çeşitli diyagramlar aracılığıyla ve uluslararası standartlara göre değerlendirilebilmektedir. Çalışma kapsamında su kalitesi, tarıma uygunluk ve içme suyuna uygunluk olarak iki farklı başlıkta irdelenmiştir. 3. Başlıkta ise Bafa Gölü mühendislik yapıları ile Bafa Gölü ve bağlantılı yüzey – yeraltı suları incelenmiştir.

5.3.1 İçme Suyu Standardına Uygunluk

Tarım, evsel tüketim ve sanayide kullanım amaçlı yeraltı suyu çekimi giderek artmakta, çekim yapılan suların yüzey suları veya toprağa deşarjıyla birlikte etkileşim ağı genişlemektedir. İnorganik kirliliğin sebep-sonuç ilişkisinin yorumlanabilmesi için inorganik madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Yeraltı sularının kirliliği, kullanım amaçlarına göre belirlenmiş olan sınır değerlerin (standartların) dışına çıkılması olarak tanımlanmaktadır.

Kirlilik 3 farklı şekilde meydana gelmektedir: yüzeyden süzülme, doğrudan geçiş ve akifer arası karışım. Yeraltı suyu kirliliği; karbon temelli yaşam formunun son halkası olan insanoğlunun yeraltı suyunu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinden dolayı tüketmemesi olarak tanımlanabilir. Kirlilik, jeolojik süreçlerle açıklanabilecek formasyon kaynaklı olabileceği gibi şehir – sanayi atıkları ve tarımsal kirleticiler nedeniyle insan kaynaklı (antropojenik) etkilerle de meydana gelebilir.

İnsanoğlunu direkt etkileyen kirlilik; solunum yoluyla havadan, sindirim yoluyla su ve gıdalardan (toprak/sediman) kaynaklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, çizgisel kirlilik olarak düşünülebilecek olan araçların otoyol boyunca yaptığı salınımlar vb. atmosferi etkileyen potansiyel kirlilik kaynakları göz ardı edilmiştir. Kirlilik kaynaklarının yayılım türleri ile su ortamı ve insan sağlığı arasındaki etkileşimi ele alan kavramsal model, süreci açıklamaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Su kaynakları ve etkileşim ağını gösteren kavramsal model (Anonim, 2017)

Suların doğal dengesini noktasal ya da alansal katkılarla bozan her türlü parametre kirlitici olarak tanımlanır (Şekil 5.10). Yeraltı sularının kirlenmesi yüzey sularından farklılık göstermektedir. Örneğin, yeraltı suları çözünmüş oksijen bakımından yüzey sularına kıyasla daha fakir olduğu için mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürülebilmesi için uygun değildir ya da yüzey suları yağmur sularıyla beslenerek daha saf katkılar alabiliyorken, yeraltı sularında aşırı çekimden dolayı deniz suyu girişimine maruz kalarak kirlenebilmektedir. Özellikle Söke Ovası gibi kıyı

kesimlerinde gözlenen bu tuzlanmadan dolayı, sular hem evsel tüketim için hem de tarım amaçlı olarak kullanılamaz hale gelmektedir. Tarım, evsel tüketim ve sanayide kullanım amaçlı yeraltı suyu çekimi giderek artmakta, çekim yapılan suların yüzey suları veya toprağa deşarjıyla birlikte etkileşim ağı genişlemektedir.



Şekil 5.10 Noktasal ve alansal kirleticileri gösteren model (Anonim, 2016)

Şekil 5.9’den anlaşılabacağı üzere kirlilik çalışmalarında kilit nokta su kaynaklarıdır. İnsanoğlu, hem etçil hem otçul canlı sınıfında olduğu için gerek karasal gerekse sulak alanda yaşayan biyolojik canlıları tüketmektedir. Bitkilerin yaşam kaynağı olan toprak ve su, hayvanları da doğrudan etkilemektedir. Geçmişe oranla artan nüfus, yüzey sularındaki kirlilik yükünün artışı ve tarım yapılan arazilerde suyun mevsimsel gereklilik arz etmesinden dolayı yeraltı sularının çekimi artmaktadır. Yeraltı sularında hidrojeolojik çalışmalar ve yüzey sularında drenaj havzaların tespiti ile bölgesel denetim ve çözüm yolları üretilmesi ya da kirlilik kaynağının belirlenmesi mümkündür. Atmosfer kaynaklı gazların yayılımı ve kontrolü ise bölgesel ele alınamayacak kadar evrensel sorundur. Atmosferdeki kirliliğin neden olduğu küresel sorunların çözümü için 1997’de imzalanıp 2005’de yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, 2016’da imzalanan Paris İklim Anlaşması gibi küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadele sağlamaya yönelik uluslararası çerçeve anlaşmaları bu konuya eğilmektedir.

Su kalite parametreleriyle ilgili ülkelerin kendi içlerinde önerdiği üst sınır değerleri yönetmelikler aracılığıyla yayınlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından kontrol edilen *insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik* olarak resmi gazetede yayınlanan en güncel değerler ile çalışılmıştır. Türk Standartları-266 olarak da bilinen sınır parametreleri zaman içinde değişimlere uğrayarak yayınlanmaya devam etmektedir. Ülkeler dışında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası örgütlerin düzenli aralıklarla yayınladığı ve önerdiği içme amaçlı tüketim üst sınır değerleri bulunmaktadır. Çalışma kapsamında içme-sulama amaçlı kullanılan suların kimyasal analiz sonuçları çözünmüş madde bolluğuna göre mg/L (ppm) ve µg/L (ppb) olarak ayıklanmıştır. Türk Standartları (TS-266; 1997, 2005, 2013), Avrupa Birliği Su Çerçeve Yönergesi (WFD, 2014), Dünya Sağlık Örgütü (WHO; 2004, 2008, 2011, 2017) ve EPA (2018) tarafından belirlenen en güncel içme suyu tüketim üst sınır değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Türk Standartları'na göre içme amaçlı tüketim üst sınırını aşan değerler koyu renkle işaretlenerek belirtilmiştir (Tablo 5.6, 5.7).

Tablo 5.6 Suların fiziksel parametreleri ve majör iyon analiz sonuçları (TS-266 standartlarını aşanlar koyu renkle boyanmıştır)

NU	T (°C)	ÖEl	pH	Akifer – Su Noktası	mg/L									
		(µS/cm)			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Si	B
SK-1	27,3	56600	7,16	Menderes Masifi Mermerleri	11366,1	896,2	1525,5	1096,1	19125	2896,7	219,6	-	6,5	25,73
SK-3	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri	57	24,7	89,6	68,9	160	88,8	414,8	-	4,7	2,39
SK-6	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri	52	15,6	59,3	55,8	65	84,4	366,0	-	1,3	0,21
SK-8	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri	0	0,3	19,4	13,6	30	34,3	26,9	-	8,2	0,19
SK-9	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)	75	21,5	68,9	63,6	110	135,2	390,4	-	1,1	0,39
SK-10	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri	0	1,7	74,1	11,8	23	32,6	192,8	-	5,8	0,17
SK-11	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri	8	6,0	25,3	83,0	45	62,4	341,6	-	5,3	0,19
SK-12	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)	51	6,1	32,2	65,6	30	54,6	414,8	-	2,3	0,13
SK-16	14,0	30	7,70	Yağmur Suyu	1	1,9	28,6	5,8	8	68,2	22,0	-	4,3	0,11
SK-17	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri	1	1,6	41,6	8,2	28	28,5	92,7	-	3,2	0,12
SK-18	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri	1	2,0	92,3	2,8	28	36,5	195,2	-	8,6	0,10
SK-21	16,7	20000	8,50	Dalyan Kanalı	1111	251,5	881,6	840,9	5375	1128,6	305,0	-	1,5	20,29
SK-23	15,0	7000	7,96	Menderes Nehri Havza Çıkışı	757	752,4	109,3	101,4	1500	578,5	512,4	-	1,8	3,53
SK-26	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat	65	5,7	51,2	28,7	50	40,8	292,8	-	3,1	0,09
SK-29	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat	89	35,2	25,7	92,8	95	55,9	512,4	-	2,5	0,13
SK-30	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat	49	15,7	56,4	51,5	55	52,4	378,2	-	1,5	0,10
SK-31	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat	65	40,9	72,6	125,4	280	97,6	475,8	-	6,8	2,58
SK-32	26,1	43800	6,75	Menderes Masifi Mermerleri	11268	236,3	252,2	600,0	14500	2133,9	595,4	-	3,9	20,14
SK-36	25,6	56000	6,97	Menderes Masifi Mermerleri	10256	397,9	283,9	756,6	17500	2478,4	561,2	-	5,0	20,94
SK-37*	25,0	25500	7,46	Menderes Masifi Mermerleri	4906	198,0	198	616,0	8783	1052,0	317,0	-	8,1	-
SK-38	23,0	51700	7,53	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu	9502	356,8	299,0	665,8	14750	2363,5	512,4	-	2,1	20,57
SK-39	22,3	4700	7,20	Alüvyon	33	15,6	489,1	256,4	1375	48,6	268,4	-	6,7	2,44
SK-41	13,6	388	7,85	Gnays	1	0,8	78,4	10,7	16	38,0	222,0	-	8,6	0,04
SK-43	14,1	943	7,16	Alüvyon	1	3,3	214,6	32,0	56	117,6	605,1	-	5,9	0,04
SK-44	14,7	518	6,80	Alüvyon	1	5,2	108,7	7,9	56	110,0	146,4	-	5,1	0,08
SK-45	19,7	1268	6,52	Alüvyon	58	37,9	87,6	52,4	45	108,3	512,4	-	3,4	0,15
SK-46	13,1	590	8,92	Azap Gölü	55	23,3	50,1	85,6	85	61,7	488,0	-	2,4	0,20
SK-47	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri	1	0,9	39,1	2,3	25	27,6	61,0	-	8,7	0,03
SK-48	18,0	6700	7,81	Gölet	877	59,2	133,1	204,1	1400	294,5	561,2	-	1,7	2,51
SK-51	14,0	631	8,17	Alüvyon	2	3,5	145,9	8,9	45	73,5	305,0	-	9,2	0,05
SK-52	15,4	484	8,11	Alüvyon	47	21,0	42,4	27,9	40	36,9	280,6	-	1,9	0,03
SK-53	12,7	225	7,72	Alüvyon	42	15,9	13,8	11,9	45	43,5	85,4	-	2,4	0,03
SK-54	14,4	2110	8,25	Menderes Nehri Havza Girişi	101	38,1	87,1	187,1	185	486,0	573,4	7,2	11,6	3,21
SK-55**	14,9	23400	8,58	Bafa Gölü	5104	151,0	198,0	616,0	8783	1578,0	156,0	57,0	0,58	1,91
SK-56	15,0	7000	8,31	Serçin Gölü	825	96,1	122,9	287,5	1700	592,1	353,8	40,8	1,3	3,40
SK-59	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri	27	6,7	90,0	57,2	62	83,4	402,2	-	2,9	0,07
SK-60	18,4	900	8,10	Dere	22	2,9	102,4	70,2	31	322,5	219,6	-	1,3	0,04
SK-61	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri	54	11,0	55,0	53,7	65	126,4	300,1	-	1,6	0,04
SK-62	17,0	1200	8,10	Sulama Kanalı (Bahar)	86	24,6	65,1	87,8	104	268,4	361,1	-	2,7	0,44
SK-63***	17,5	57700	8,03	Deniz Suyu	14752	430,0	529,0	1733,0	24747	4161,0	171,0	24,1	1,7	5,41
TS		2500	6,5-9,5		200	12	200	50	250	250	-	-	-	1
AB		2500	6,5-9,5		200	-	-	-	250	250	-	-	-	1
WHO		-	6,5-8,5		-	-	-	-	-	250	-	-	-	2,4
EPA		-	-		200	-	-	-	-	250	-	-	-	-

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.7 Suların iz element analiz sonuçları (TS-266 standartlarını aşanlar koyu renkle boyanmıştır)

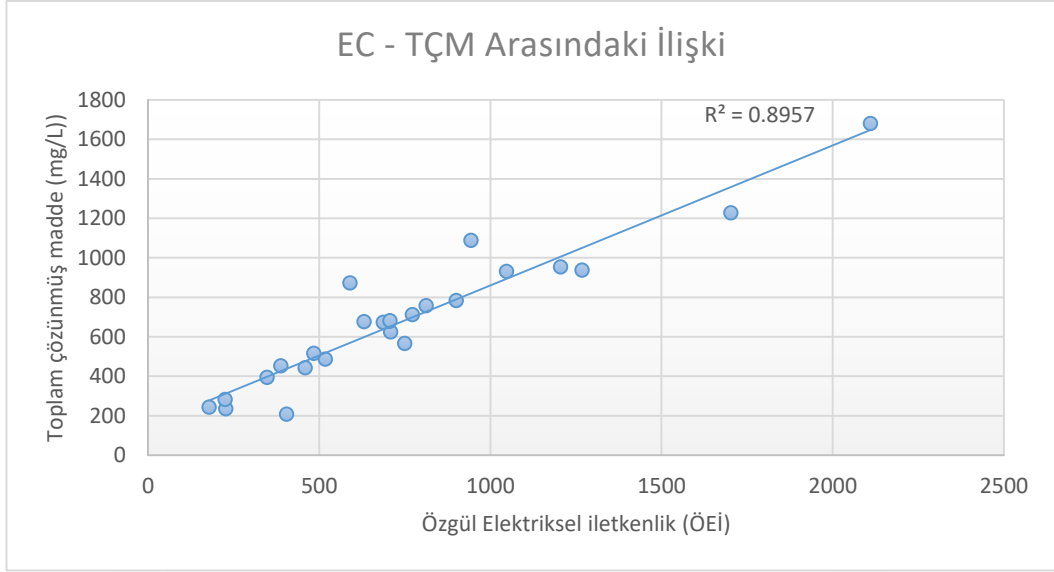
NU	$\mu\text{g/L}$											
	As	Ba	Sr	Li	Fe	Mn	Al	Se	Cr	Ni	Cu	Zn
SK-1	507,2	14313,3	11510,0	156,1	1397,0	<0.001	13730	140,6	71,2	221,8	398,1	752,7
SK-3	0,4	37,2	2868,0	3,9	37,7	<0.001	28	0,8	0,9	1,6	2,3	1,2
SK-6	1,3	72,0	3856,0	2,8	37,7	0,4	7	<0.001	2,8	2,1	4,1	184,8
SK-8	1,2	79,9	412,8	3,0	38,7	<0.001	8	0,8	0,8	1,5	1,8	5,8
SK-9	47,7	40,9	3419,0	14,1	41,0	<0.001	6	<0.001	0,6	5,6	3,8	19,3
SK-10	1,1	30,0	272,4	0,9	38,9	<0.001	6	<0.001	0,3	0,8	1,5	5,0
SK-11	0,8	157,9	2919,0	3,6	38,9	<0.001	24	1,7	0,8	2,2	4,3	436,9
SK-12	0,7	18,1	502,9	3,6	39,2	<0.001	10	2,1	0,8	1,9	2,2	34,5
SK-16	0,6	10,2	8,0	0,9	40,3	0,1	11	<0.001	0,5	1,5	1,7	61,0
SK-17	0,5	36,5	60,5	5,6	36,7	<0.001	7	<0.001	0,5	2,2	8,7	11,1
SK-18	3,3	16,7	70,0	0,7	42,3	<0.001	6	1,2	1,9	1,2	1,6	5,9
SK-21	463,8	14440,0	4683,0	115,4	1383,5	27,7	29040	49,3	106,7	188,6	363,0	805,2
SK-23	86,0	2065,3	7048,0	81,3	210,5	0,8	1884	17,5	12,0	31,4	57,4	127,8
SK-26	1,0	69	225	3,8	33,9	<0.001	10	2,3	5,3	2,0	1,7	8,7
SK-29	5,8	164	12040	44,6	57,9	<0.001	7	0,2	0,4	1,7	11,1	20,4
SK-30	1,9	73	559	7,2	37,9	<0.001	8	<0.001	4,0	3,8	3,2	62,2
SK-31	77,8	2017	30060	90,3	208,2	<0.001	1835	5,2	8,2	26,0	47,2	100,0
SK-32	471,9	14273,3	8435,0	160,8	1281,0	34,8	13550	85,8	47,5	194,6	382,1	702,9
SK-36	498,2	14766,7	9861,0	183,7	1274,0	996,9	13510	79,9	66,8	207,2	383,5	695,9
SK-38	501,8	14600,0	10050,0	169,7	1286,5	801,7	13530	119,0	63,1	221,6	365,9	737,2
SK-39	119,9	2311,3	2698,0	14,6	206	1806	1855	19,4	7,8	29,7	50,1	135,0
SK-41	0,3	62,7	405,3	0,9	33,9	<0.001	6	1,6	0,7	1,3	2,8	8,0
SK-43	0,6	37,9	420,8	12,5	34,2	0,6	12	<0.001	0,4	14,8	2,5	6,0
SK-44	3,1	59,3	225,5	8,1	34,2	103,3	7	<0.001	0,6	2,3	7,7	33,6
SK-45	24,1	123,9	423,1	19,6	35,4	5955	7	2,5	0,9	6,3	6,6	81,1
SK-46	27,7	40,9	452,6	12,7	39,6	6,3	7	0,7	0,6	3,3	3,5	123,6
SK-47	12,1	25,4	59,6	8,2	31,3	<0.001	11	<0.001	<0.001	2,0	2,3	6,8
SK-48	70,5	2014,0	2075,0	12,1	206,4	67,1	1872	6,1	11,4	31,4	55,2	116,0
SK-51	6,3	20,5	236,3	4,5	35,4	123,3	7	0,8	0,4	1,9	5,3	15,4
SK-52	1,5	70,2	185,4	3,5	35,2	3,5	9	1,6	0,5	2,2	7,2	97,0
SK-53	61,1	6,6	55,5	15,5	31,4	2,0	13	<0.001	0,2	2,6	1,8	9,6
SK-54	93,1	2062,7	16140,0	109,0	199,0	4,6	1910	<0.001	8,4	38,0	57,0	200,1
SK-56	80,7	1980,7	2875,0	88,3	194,7	<0.001	1858	19,0	13,4	30,3	54,2	133,2
SK-59	1,7	111,7	4286,0	4,0	36,0	<0.001	28	1,1	9,1	2,8	4,3	111,4
SK-60	0,3	22,7	7469,0	6,8	37,8	1,8	16	0,5	0,1	3,3	9,0	94,1
SK-61	0,6	26,1	609,3	2,8	36,6	<0.001	12	1,0	0,9	3,2	3,5	33,1
SK-62	13,6	44,4	6994,0	52,8	38,0	<0.001	12	<0.001	1,2	5,5	5,9	23,1
SK-63***	99	3	9229	242	2107	22	739	373	-	-	10	70
TS	10	-	-	-	200	50	200	10	50	20	2000	5000
AB	10	-	-	-	200	50	200	10	50	20	2000	-
WHO	10	1300	-	-	-	-	900	40	50	70	2000	-
EPA	10	2000	-	-	300	50	200	50	100	20	1300	5000

*** (Gemici ve Somay, 2012)

Tablo 5.7 Suların iz element analiz sonuçları devamı (TS-266 standartlarını aşanlar koyu renkle boyanmıştır)

NU	$\mu\text{g/L}$													
	Pd	Ta	Pb	Ag	Cd	U	Rb	Sb	Tl	V	Cs	Ge	Sn	Co
SK-1	5,8	175,8	292,0	5,2	3,7	6,3	175,9	213,2	0,3	38,8	<0.001	<0.001	54,9	<0.001
SK-3	0,3	5,7	2,6	<0.001	0,0	3,2	2,1	0,2	0,0	0,3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-6	0,3	3,1	2,1	<0.001	0,0	2,3	1,5	0,5	0,0	0,4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-8	0,1	3,1	2,1	<0.001	0,1	3,0	0,6	1,3	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-9	0,4	3,9	2,2	<0.001	0,0	6,6	6,3	2,1	0,0	1,0	<0.001	0,1	<0.001	<0.001
SK-10	0,1	5,5	1,8	<0.001	0,0	1,1	0,4	0,4	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-11	0,3	3,8	2,4	<0.001	0,2	2,3	2,8	0,4	0,0	0,2	<0.001	0,0	<0.001	<0.001
SK-12	0,1	4,9	3,2	<0.001	0,0	1,2	0,7	0,2	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-16	<0.001	1,7	2,1	<0.001	0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	0,4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-17	<0.001	2,3	2,0	<0.001	0,0	0,0	1,1	0,2	0,0	0,2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-18	<0.001	3,1	2,5	<0.001	0,0	0,3	0,6	1,3	0,0	0,7	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-21	1,2	81,4	343,3	4,5	1,7	4,6	56,0	214,7	0,4	11,5	<0.001	<0.001	15,2	<0.001
SK-23	1,4	25,8	45,4	0,8	0,3	6,3	31,4	33,0	0,0	6,0	<0.001	1,2	2,7	<0.001
SK-26	0,1	5,9	1,6	<0.001	0,0	0,8	2,0	0,2	0,0	1,4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-29	1,5	5,0	2,2	<0.001	0,0	1,6	16,3	0,2	0,0	0,6	0,9	0,0	<0.001	<0.001
SK-30	0,2	1,4	1,9	<0.001	0,0	1,6	7,8	0,2	0,0	2,5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-31	3,1	19,9	40,6	0,9	0,1	0,4	21,3	29,0	0,0	0,7	<0.001	0,6	<0.001	<0.001
SK-32	2,5	53,0	248,2	7,6	1,7	5,5	123,6	210,7	0,6	33,3	<0.001	<0.001	27,0	<0.001
SK-36	1,3	40,9	277,8	4,2	0,0	3,9	138,2	213,8	0,9	36,8	<0.001	1,2	39,7	<0.001
SK-38	2,3	121,9	278,9	8,2	4,8	4,5	144,8	216,6	0,8	37,8	<0.001	<0.001	47,5	<0.001
SK-39	0,8	22,6	38,5	0,3	0,4	15	2,5	29,8	0,1	3,3	<0.001	0,2	1,2	<0.001
SK-41	0,1	2,0	2,6	<0.001	0,0	3	0,6	1,3	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-43	0,1	2,0	2,1	<0.001	0,0	9	21,4	0,2	0,0	<0.001	0,7	<0.001	<0.001	<0.001
SK-44	0,1	1,8	2,6	<0.001	0,0	1	4,3	0,6	0,0	0,5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-45	0,2	2,1	2,6	<0.001	0,2	90	2,9	0,8	0,0	3,0	<0.001	<0.001	<0.001	3,9
SK-46	0,2	7,3	2,2	<0.001	0,1	3	5,1	1,3	0,0	1,9	<0.001	0,0	<0.001	<0.001
SK-47	<0.001	3,0	1,8	<0.001	0,0	0	0,4	0,2	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-48	0,4	14,9	42,9	0,5	0,7	5	7,7	28,4	0,2	3,9	<0.001	<0.001	3,1	<0.001
SK-51	0,0	3,3	2,2	<0.001	0,0	12	0,7	0,2	0,0	0,6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-52	0,0	4,1	2,2	<0.001	0,1	23	1,2	0,2	0,0	0,1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-53	<0.001	2,8	2,1	<0.001	0,1	14	2,3	0,4	0,0	0,4	<0.001	0,1	<0.001	<0.001
SK-54	1,7	16,9	38,9	0,6	0,3	6,4	31,0	32,6	0,1	4,0	2,4	0,4	<0.001	<0.001
SK-56	0,6	14,5	47,8	0,7	0,6	5,1	29,1	31,3	0,1	5,8	<0.001	0,5	2,0	<0.001
SK-59	0,3	10,2	1,1	<0.001	0,0	1,8	1,1	0,7	0,0	0,2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-60	0,7	11,4	0,8	<0.001	0,1	2,0	1,0	0,2	0,0	<0.001	<0.001	0,1	<0.001	<0.001
SK-61	0,2	7,6	0,7	<0.001	0,0	1,5	2,2	0,2	0,0	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
SK-62	0,6	11,2	0,7	<0.001	0,1	4,2	15,5	2,4	0,0	2,2	3,2	0,5	<0.001	<0.001
TS	-	-	10	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-
AB	-	-	10	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-
WHO	-	-	10	-	3	30	-	20	-	-	-	-	-	5
EPA	-	-	15	100	5	30	-	-	-	-	-	-	-	-

Özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) değeri ve dolayısıyla çözünmüş madde miktarı arasında 0,89 determinasyon katsayı hesaplanmıştır. İki değişken arasında 0,95 katsayısıyla ifade edilebilecek çok kuvvetli bağıntı bulunmaktadır (Şekil 5.11). Özgül elektriksel iletkenlik limitini aşan sular (SK-1, SK-21, SK-23, SK-32, SK-36, SK-38, SK-39, SK-48, SK-56) yüksek çözünmüş madde bolluğu nedeniyle diğer sulara kıyasla limit değerinin üzerinde birçok elementi bünyesinde barındırmaktadır.



Şekil 5.11 Elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde arasındaki bağıntı

Sıcaklıkları sırasıyla 27.3 °C, 26.10 °C, 25.60 °C, 25.00 °C, 22.30 °C olan SK-1, SK-32, SK-36, SK-37, SK-39 yeraltı sularında çözünmüş birçok değişken, üst sınır değerinin üzerindedir. Jeotermal kökenli akışkan örneklemeleri, soğuk sulara kıyasla çok daha fazla çözünmüş madde içermektedir. İçme amaçlı asla tüketilmemesi gereken kaynaklardır. SK-32 kaynağı yöre halkından bazı insanlar tarafından *şifalı* olarak bilinen ve içme amaçlı şişeleme yapılan jeotermal kökenli sudur. Hipertansiyona neden olacak seviyede sodyum, yüksek doz tüketimde zehirleyici ve kanserojen etkisi olan bor, arsenik, kurşun gibi birçok ağır metal içeren yeraltı su kaynağının içme amaçlı tüketilmesi engellenmelidir.

Yüzey suları (SK-21, SK-23, SK-38, SK-46, SK-48, SK-54, SK-55, SK-56), jeotermal kökenli sular (SK-1, SK-36, SK-39), sulama kanal suyu (SK-62, SK-9) ile deniz suyu (SK-63) dışındaki yeraltı – yüzey suları yöre halkı tarafından içme amaçlı tüketilmektedir.

Menderes Masifi'ne ait Gnays, Mermer; Neojen Gölsel Karbonat ve Kuvaterner Alüvyon olmak üzere 4 farklı akiferden üretim sağlanmaktadır. İçme amaçlı tüketilen sular akifer birimlerine göre ayırtılarak kendi içlerinde incelenmiştir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8 Söke Ovası'nda içme amaçlı tüketilen su noktaları, akiferi ve fiziksel parametre değerleri

NU	Nokta Tipi	T (°C)	ÖEİ	pH	Akifer - Su Noktası
			(µS/cm)		
SK-3	Jeotermal Kuyu	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri
SK-6	Kuyu	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri
SK-8	Kaynak	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri
SK-9	Yüzey	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)
SK-10	Kuyu	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri
SK-11	Kuyu	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri
SK-12	Kuyu	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)
SK-17	Kaynak	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri
SK-18	Kaynak	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri
SK-26	Kuyu	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat
SK-29	Kuyu	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat
SK-30	Kaynak	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat
SK-31	Jeotermal Kuyu	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat
SK-41	Kuyu	13,6	388	7,85	Gnays
SK-43	Kuyu	14,1	943	7,16	Alüvyon
SK-44	Kuyu	14,7	518	6,80	Alüvyon
SK-45	Kuyu	19,7	1268	6,52	Alüvyon
SK-46	Yüzey	13,1	590	8,92	Azap Gölü
SK-47	Kuyu	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri
SK-51	Kuyu	14,0	631	8,17	Alüvyon
SK-52	Kuyu	15,4	484	8,11	Alüvyon
SK-53	Kuyu	12,7	225	7,72	Alüvyon
SK-59	Kuyu	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri
SK-60	Yüzey	18,4	900	8,10	Dere
SK-61	Kuyu	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri

5.3.1.1 Gnays Akiferi

Özbaşı Mahallesi Gnays birimi üzerine kurulu 500'e yakın insanın yaşamını sürdürdüğü bölgedir. SK-41 kuyusundan içme amaçlı tüketim için yeraltı suyu üretimi yapılmaktadır. Çevrede yaşayanlar çeşmeden şişeleme yaparak içme sularını depolamaktadır. Üst sınır değerinden hiçbir parametre bulunmayan yeraltı suyu, içime uygun ve nitelikli su olarak tanımlanabilir.

5.3.1.2 Menderes Masifi Mermer Akiferi

Menderes Masifi Mermerleri içeriğinde hem soğuk hem de sıcak suları barındıran akiferdir. Jeotermal kökenli sular, gerek deniz suyu girişimi gerekse jeotermal akışkanın olağan sulara kıyasla yüksek çözünmüş madde bulundurması nedeniyle tarımsal ya da içme amaçlı tüketime uygun olmayan sulardır (Tablo 5.6, Tablo 5.7).

SK-1 kaynağı Doğanbey mahallesini geçtikten sonra Karina bölgesinde denize boşalan yeraltı suyu kaynağıdır. SK-32 Doğanbey-Tuzburgazı arasında yüzeyleyen jeotermal kökenli kaynaktır. Güney mermerlerinden üretim sağlanan SK-36 kuyusu ise jeotermal kökenli su olup balık üretim çiftlikleri için kullanılmaktadır. Bu 3 örnek noktası, TS-266 ve diğer uluslararası içme suyu üst sınır değerinin üzerinde çözünmüş birden çok madde bulunduran sulardır. İçme amaçlı tüketime uygun olmayan bu suların, sulama amaçlı kullanılabilmesi de olası değildir. Yüksek bor ve arsenik içeriğine sahip SK-1 ve SK-3 kaynak çıkışları direkt olarak denize boşalarak uzaklaşmaktadır. Jeotermal kökenli SK-36 kuyusu ve diğer balık üretim tesislerinin kullandıkları jeotermal kökenli suların tamamı, yüzey suları aracılığıyla bertaraf edilmektedir. Bu durumun yüzey sularına ve toprağa etkisi ilerleyen bölümlerde tartışılmaktadır.

Menderes Masifi Mermer biriminde birçok kuyudan içme amaçlı yeraltı suyu üretimi yapılmaktadır. Atburgazı mahallesinin kuzeyinde yer alan SK-12 örnek noktası mermer birimine açılan birden fazla kuyudan üretim sağlanarak şebeke üzerinden evlere dağıtım yapılan yeraltı suyudur. Yöre halkının içme suyu ihtiyacını rahatlıkla giderebilecek kalitededir. Alınan örnekte yalnızca Magnezyum (Mg) içeriği 66 mg/L ile üst sınır değerin üzerindedir. Su deposuna girişte engel olmaması, dışarıdan müdahalelere açık hale getirmektedir. Herhangi art niyet girişimine karşı önlem alınmamış olması, halk sağlığı açısından tehdit ögesidir.

İçme amaçlı tüketilen 11 örnek noktasının 6'sında (SK-3, SK-6, SK-11, SK-12, SK-59, SK-61) Magnezyum (Mg) içeriği TS-266 tarafından belirlenen üst sınır değerin üzerindedir. Ortalama çözünmüş Magnezyum bolluğu 38 mg/L olan yeraltı sularında

en yüksek değer 83 mg/L ile SK-11 kuyusunda belirmektedir. Bölgede dolaşımdaki yeraltı sularında magnezyumun katkısı; dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ve evaporitler aracılığıyla olmaktadır.

İçme suyundaki magnezyum miktarı izin verilen sınırın üzerindeyse, suya hoş olmayan bir tat verir. Magnezyum, enzim aktivasyonunda hücrelerin işleyişı için vazgeçilmez iyonudur. Yüksek dozu laksatif ajan olarak kabul edilirken, eksiklik insanlarda yapısal ve fonksiyonel değişikliklere neden olabilir (Razowska-Jaworek, 2014).

Söke Ovası'nda üretim sağlanan kuyularda sınır değeri aşan diğer parametre ise Potasyum (K) olarak belirmektedir. İçme amaçlı tüketilen 11 örnek noktası için ortalama bolluğu 7 mg/L olan potasyum, SK-3, SK-6 kuyularında sırasıyla 25, 16 mg/L çözünmüş madde içeriğiyle üst sınır değeri üzerindedir.

Hem sulama hem içme amaçlı kullanılan SK-3 kuyusu örneği yüksek bor içeriğiyle göze çarpmaktadır. Bor, doğal kaynak olarak yerkabuğunda gözlenebilir, boratlar ve borosilikatlar içeren kayalardan ve topraklardan süzölerek yeraltı sularına karışabilir. Bor, karbon temelli yaşam döngüsünün vazgeçilmez elementlerinden birisidir. Bitkiler ve insanlar için gerekli olmasına rağmen, sınır dozun üzerinde alımı bitkilerde yok olma, insanlarda ise çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Mermerden üretim sağlanıp içme amaçlı tüketilen 11 örneğin bor bolluk ortalama 0.33 mg/L iken SK-3 kuyusundan üretim sağlanan yeraltı suyunun bor miktarı 2.39 mg/L'dir ve içme amaçlı tüketim üst sınır değeri olarak belirlenen 1 mg/L değerin üzerindedir. 15 metre derinliğe sahip kuyu, kış örneklemesinde 20 °C'nin üzerinden sıcaklığa sahiptir. SK-3'te belirlenen bor bolluğunun nedeni, hemen yakınında deniz suyuyla karışan ve 25,73 mg/L bor içeren jeotermal kaynak olan SK-1 ile karışımıdır.

SK-47 kuyusu Avşar mahalle sakinleri tarafından içme amaçlı tüketilen yeraltı suyudur. 12,1 µg/L arsenik bolluğu ile içme amaçlı tüketimde üst sınır değer olan 10 µg/L üzerinde çözünmüş madde içermektedir. Arsenik kirliliğinin birçok nedeni olmakla birlikte; insektisit, bestisit gibi arsenik içeren kimyasal maddeler topraklı

tarım yapılan alüvyon formasyonunda ürün verimini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sebeple arseniğin yağış ve sulama suları aracılığıyla yeraltı suyuna sızması, sık rastlanan insan kaynaklı (antropojenik) kirliliktir. Jeolojik formasyon kaynaklı arsenik ise jeotermal sahalarda beliren kirlilik çeşididir. Jeotermal sular, derin ve hızlı dolaşım sırasında ısıtıcı görevi gören volkanik kayadan ya da temel kayadan arseniği çözerek yüzeye ulaştırır (Ravenscroft ve diğer., 2009). Alanda yüksek arsenik belirlenmesi rağmen sıcak su belirtecine rastlanmamıştır. Büyük Menderes Nehri (SK-54) jeotermal suların deşarjı nedeniyle arsenik bolluğu 93,1 µg/L olarak havzaya giriş yapmaktadır. Nehirdeki taşkınlar ve sulama dönemi ardından gelişen kış yağışlarıyla alüvyondan süzülmesi olasıdır.

5.3.1.3 Gölsel Karbonat Akiferi

Akköy, Ak-Yeniköy, Balat, Batıköy Mahallesi başta olmak üzere binlerce insanın yaşam alanının kurulu olduğu bölge Gölsel Karbonat birimidir. Akköy fayı kuzeyinde kurulan yerleşim yerlerinin içme suyu ihtiyacı kuyu (SK-26, SK-29, SK-31) ve kaynakdan (SK-30) karşılanmaktadır (Tablo 5.6, Tablo 5.7).

Batıköy civarında SK-30 kaynağı Gölsel Karbonat biriminden yüzeylenmekte ve hemen 10 metre yakınında SK-31 kuyusundan sağlanan sular şebekeye verilmektedir (Şekil 5.12). Akiferdeki en kaliteli su SK-30 kaynağı olup hiçbir parametre üst sınır değerinin üzerinde değildir. Hemen yanındaki sığ kuyu ise 23,7 °C sıcaklığa sahip jeotermal kökenli yeraltı suyu olup evsel tüketim için şebekeye verilmektedir. SK-31 kuyu suyunda içme amaçlı tüketim üst sınır değerinin üzerinde bollukta bor ve arsenik bulunmaktadır.

SK-31 kuyu örneğinde klorür, magnezyum, alüminyum, demir, nikel, kurşun, antimon miktarları sınır değerinin üzerindedir. Menderes Masifi Mermerleri jeotermal kökenli akışkan ile karışım söz konusu olan yeraltı suyunun içme amaçlı kesinlikle tüketilmemesi gerekmektedir. SK-31 Aydın Su ve Kanalizasyon İşleri (ASKİ) idaresindeki kuyudur. Bu kuyudan üretim sağlanan su, direkt olarak kullanıma uygun olmayıp ancak kendisinden daha saf sularla seyreltme yöntemine gidilerek tüketilebilir.



Şekil 5.12 (a) Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan SK-31 kuyusu (Kişisel arşiv, 2018) ve yüzeylenen SK-30 yeraltı suyu kaynağı (b) (Kişisel arşiv, 2018)

Balat (SK-29) ve Akköy (SK-26) bölgelerinde birçok kuyudan yeraltı suyu üretimi sağlanmakta olup hem tarımsal amaçlı hem de içme amaçlı kullanılmaktadır. SK-29 kuyu örneğinde üst sınır değerinin üzerinde dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kaynaklı magnezyum bulunmaktadır. Karasal kırıntılı birimdeki killerden dolayı denize çok yakın olmasına rağmen beklenenin aksine düşük deniz suyu girişi belirlenen sular, içme amaçlı tüketime uygundur.

5.3.1.4 Alüvyon Akiferi

Alüvyon, havzada yeraltı suyu çekimi ile tarımsal amaçlı sulama yapılarak uzun yıllardır üretim yapılan birimdir. Alüvyon birimi, geçmişte ova sınırının daha içeride olmasından dolayı ve yüksek debide tatlı su çekimi etkisiyle tuzlu su girişimine maruz kalmaktadır. Ayrıca çözünmüş madde miktarı yüksek olan Büyük Menderes Nehri ile sulanan topraklarda kış döneminde gelişen yağışlar ile meydana gelen süzülme nedeniyle yeraltı sularının kimyası değişmektedir. Alüvyon akiferi, hem doğal hem de yapay yollarla kirlenmektedir. İdare tarafından kurulan sulama kanalının da etkisiyle havza genelinde tarımsal sulama için kuyu suyu ihtiyacından vazgeçilmiştir. Mevcut

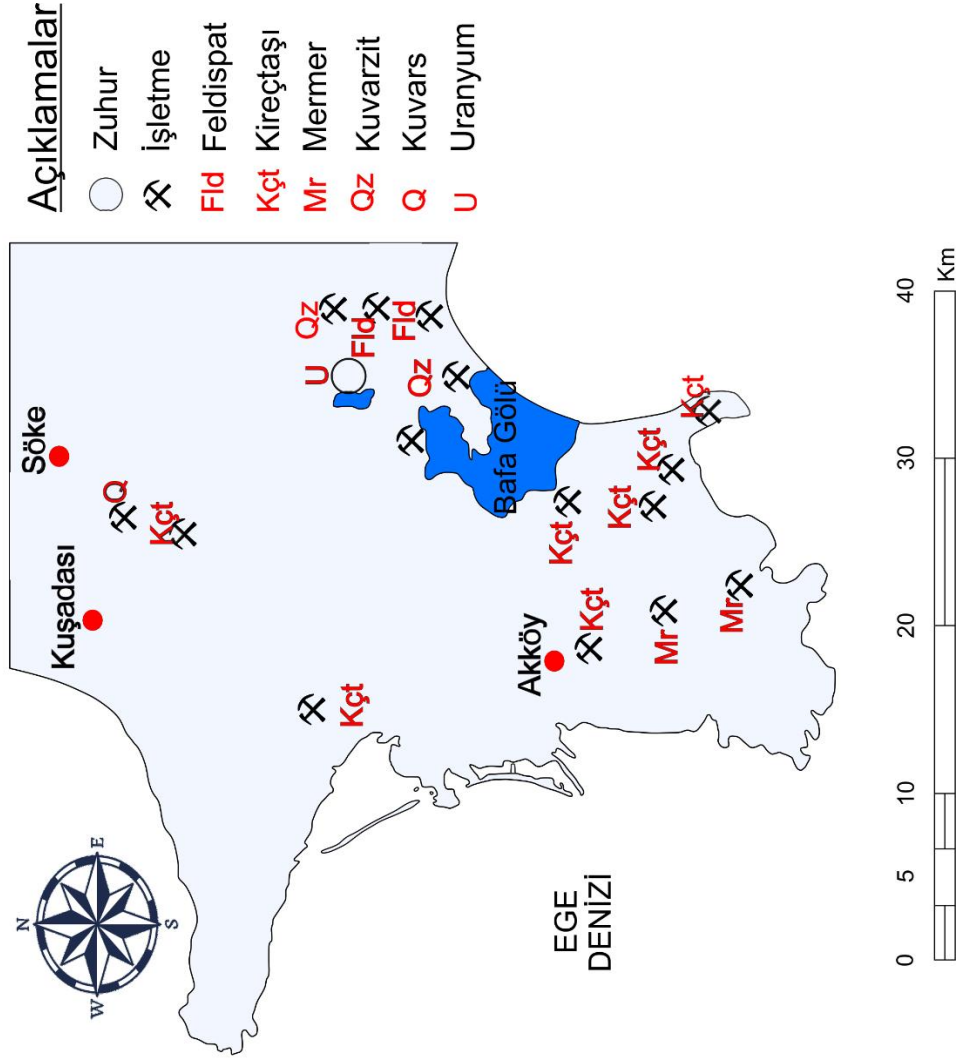
kuyular (SK-39, SK-43, SK-44, SK-45, SK-51, SK-52, SK-53) faylara yakın, denizden uzak noktalarda açılmış olup bazı çözünmüş maddeler üst sınır değerin üzerindedir (Tablo 5.6, Tablo 5.7). Söke Ovası'nın ortasındaki kuyuların yüksek tuzluluk nedeniyle kullanılmadığı belirlenmiştir. Milas-Söke yolu boyunca özel işletmeler, üretimdeki kuyularından büyük olasılıkla kayıt dışı olduğu için örnek alımına izin vermemiştir.

Alüvyonda verimli ve kaliteli su üretilen kuyuların çoğu gnays ya da mermer birimine yakın konumlarda fay hattına yakın noktalarda açılmıştır. Ovanın ortasında üretim sağlanan 30 metrelik tek kuyu örneği SK-39'dur. SK-39 kuyusu genel olarak sulama ve hayvanlara içme suyu sağlamak gayesiyle kullanılmaktadır. 22,30 °C ve yüksek bor – arsenik içeriğine sahip kuyu suyu örneğinde, jeotermal kökenli sularla soğuk suyun karışımı söz konusudur. Diğer jeotermal kökenli sularla (SK-1, SK-32, SK-36) benzer parametrelerin sınır değerini aştığı görülmektedir. SK-39 kuyusunda ayrıca kalsiyum, magnezyum, klorür, bor, arsenik, demir, mangan, alüminyum, selenyum, nikel, kurşun, antimon bollukları üst sınır değerin üzerindedir. Birçok çözünmüş maddenin sınır değerin üzerinde olması nedeniyle içme amaçlı kullanıma uygun olmayan örnekte; yüksek klorür içeriği, deniz suyu girişimini işaret etmektedir. Denizden uzak noktada Söke Ovası'nın ortasında üretim sağlanan kuyudaki yüksek klorür, ovada tuzluluk nedeniyle üretimi durdurulan kuyular olduğu bilgisini doğrular niteliktedir.

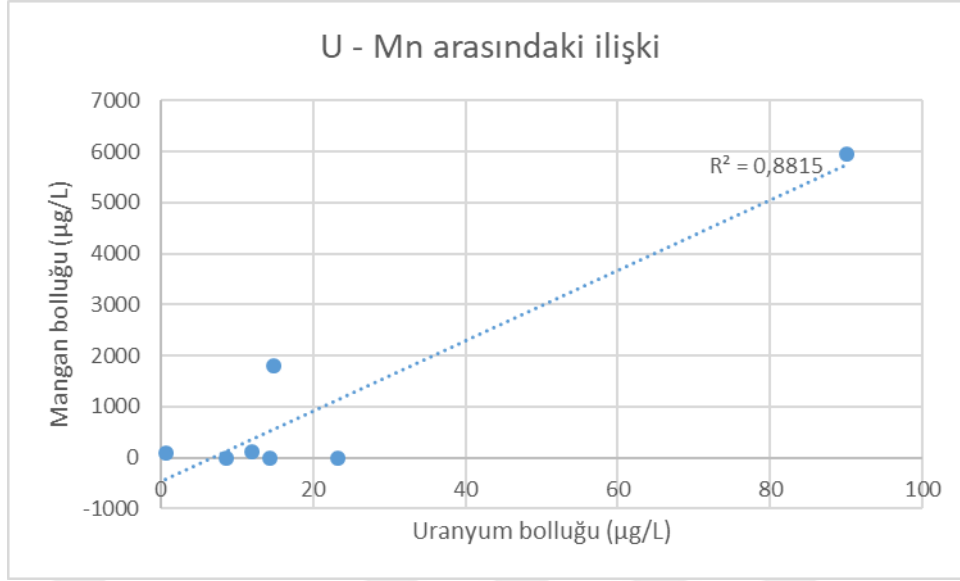
Çalıköy mahallesinde üretim sağlanan SK-43 kuyu suyu içme amaçlı tüketilmektedir. 200 mg/L olan üst sınır değerini 215 mg/L çözünmüş kalsiyum miktarıyla aşan örnek, iyi kalitede içme suyu olarak nitelendirilebilir. Karacahayıt mahallesi girişinde yer alan SK-44 kuyusu da yöre insanı tarafından içme amaçlı tüketilmektedir. Sadece mangan değerinin üst sınır değeri üzerinde olduğu yeraltı suyu içme amaçlı tüketime uygun kalitededir. Yeraltı sularında en yaygın bulunan metallerden birisi olan mangan, demirle birlikte formasyon kaynaklı olarak yeraltı sularında gözlenir ve manganın suda çözünmüş madde miktarı demire kıyasla daha azdır. Endüstriyel atıklar, asit-maden drenajı, kanalizasyon ve depolama suyu

sızıntılarında yeraltı sularında yüksek miktarda çözölü halde bulunan demir ve mangana katkı sağlayabilir.

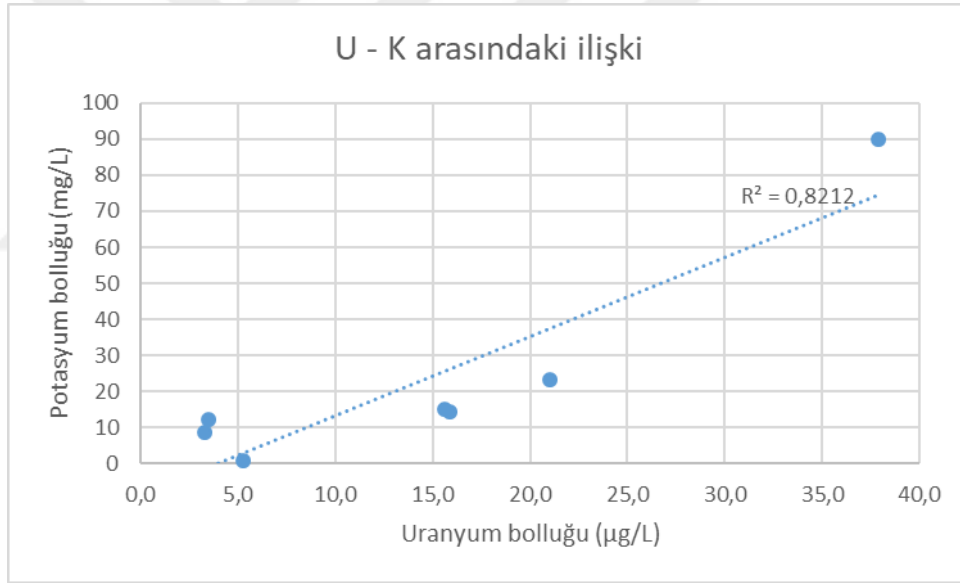
SK-45 Karacahayıt güneyinde hane halkı tarafından açılmış içme amaçlı tüketilen 10 metrelik sığ kuyudur. Birçok hane, mülkiyetindeki bahçeye açtığı sığ kuyulardan üretim yapmaktadır. Yeraltı suyu, üst sınır değerini aşan yüksek uranyum ve potasyum bolluğu nedeniyle dikkat çekmektedir. TS-266 tarafından Uranyum (U) için içme amaçlı tüketim üst sınır değeri belirtilmemesi nedeniyle EPA (2018) göz önünde bulundurulmuştur. Halk sağlığı açısından içme amaçlı tüketime uygun olmayan suyun, magnezyum, arsenik ve mangan değerleri de sınır değerin üzerindedir. Yeraltı sularındaki uranyum (U); uranyum madenciliği, nükleer test veya harcanmış nükleer yakıtın imha edilmesi yoluyla bulunabilmektedir (Nolan ve Weber, 2015). Söke Azap Gölü kuzeydoğusunda Karacahayıt mahallesine yakın noktada Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yapılan çalışmalarda uranyum madeni keşfedilmiştir (Şekil 5.13). Diğer sularla yapılan korelasyon çalışmasında herhangi bağıntı olmamasına rağmen Alüvyon akiferinden üretim sağlanan 7 örnek noktası göstermektedir ki, uranyum taşınımı beraberinde potasyum ve mangan zenginleşmesine neden olmaktadır. (Şekil 5.14, 5.15).



Şekil 5.13 Aydın ili Maden Haritası (MTA, 2010)



Şekil 5.14 Alüvyon akiferinde uranyum-mangan ilişkisini gösteren grafik



Şekil 5.15 Alüvyon akiferinde uranyum-potasyum ilişkisini gösteren grafik

SK-51 örneği Nalbantlar yöresinde içme amaçlı tüketilen kuyu suyudur. Mangan bolluğu dışında üst sınır değerini aşan parametre bulunmayan yeraltı suyu, içim için yüksek kaliteli olarak nitelendirilebilir. Sayrakçı mahallesinden üretim sağlanan SK-52, alüvyonda tarımsal amaçlı üretim hedeflenerek açılmış sığ kuyudur. Potasyum bolluğu dışında üst sınır değeri aşan parametre bulunmamaktadır. İçme suyuna uygun yeraltı suyu olarak nitelendirebilir.

Kisir köyünde alüvyondan alınan SK-53 örneği incelenecek olursa yüksek arsenik değeri çöze çarpmaktadır. Yöre halkı tarafından hem sulama hem de içme amaçlı kullanılan yeraltı sularını temsil eden örnek, kanserojen etkisiyle bilinen arsenik barındırmaktadır. Bölge halkının tamamına yakını yüksek arsenik içeren yeraltı sularını tüketmektedir. Arsenik dışında üst sınır değerini geçen çözünmüş madde bulunmamasına rağmen yeraltı sularının içme amaçlı tüketilmemesi gerekmektedir.

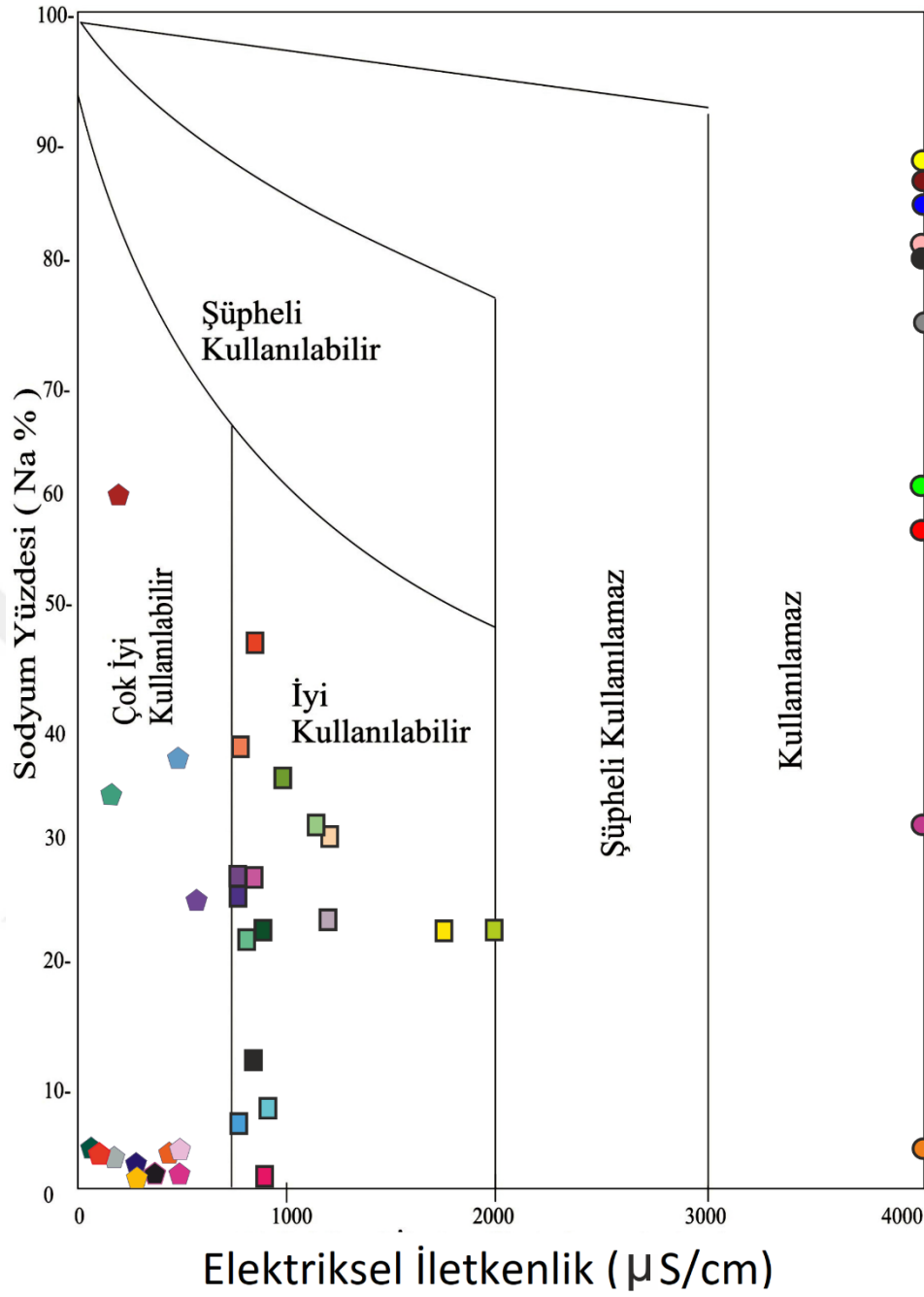
5.3.2 Sulama Suyu Standardına Uygunluk

Suların tarımda sulama amaçlı kullanımına uygunluğunun değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden birisi sodyumdur. Sodik toprak, neden olduğu yüksek osmotik basınç sebebiyle toprağın geçirgenliğini azaltarak hidrolik iletkenliğini düşürmektedir. Ek olarak sulama sonrası zeminde kabuk oluşmasına neden olarak bitkilerin emilimini azaltmaktadır. Özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) toplam çözünmüş madde miktarıyla doğru orantılı olduğu için önemli parametrelerin başında gelmektedir.

5.3.2.1 Suların Wilcox Diyagramı Aracılığıyla Değerlendirilmesi

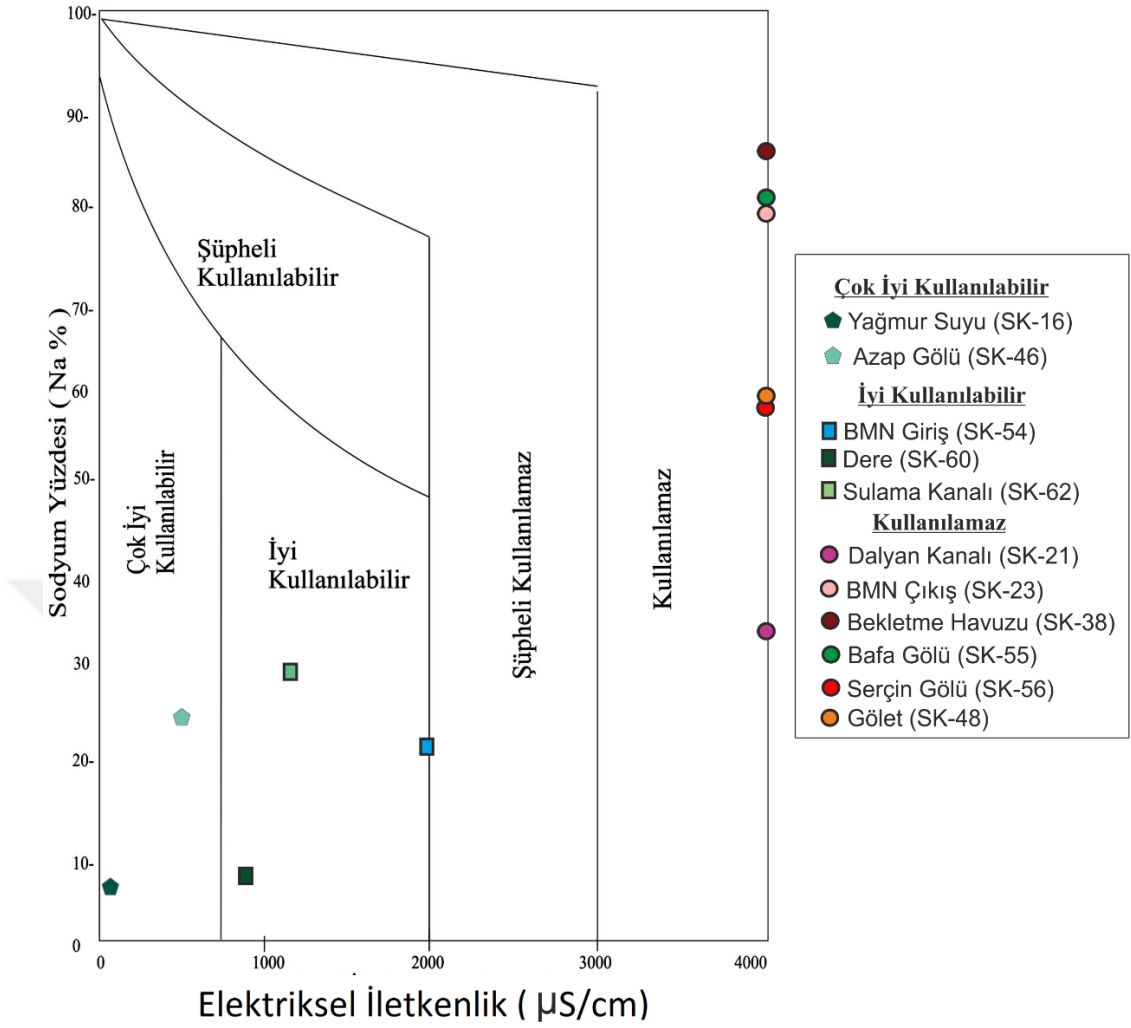
Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955) sık kullanılan sınıflamalardan birisidir. Diyagramın uygulanabilmesi için özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) yanı sıra çözülebilir sodyum yüzdesi (%rNa) değeri, bilinmesi gereken değişkenlerdir. 'r' sembolü mek/L biriminden işlem yapılacağını belirtmektedir. %rNa değeri aşağıda ifade edilen denklemlerle hesaplanır.

$$\%rNa = \frac{rNa}{rNa+rK+rCa+rMg} \times 100 \quad (5.4)$$



Çok İyi Kullanılabilir		İyi Kullanılabilir		Kullanılamaz	
SK-8	SK-46	SK-3	SK-31	SK-1	SK-38
SK-10	SK-47	SK-6	SK-43	SK-21	SK-39
SK-16	SK-51	SK-9	SK-45	SK-23	SK-48
SK-17	SK-52	SK-11	SK-54	SK-32	SK-55
SK-18	SK-53	SK-12	SK-59	SK-36	SK-56
SK-41	SK-61	SK-26	SK-60		
SK-44		SK-29	SK-62		
		SK-30			

Şekil 5.16 Suların Wilcox Diyagramı'nda gösterimi (Wilcox, 1955)



Şekil 5.17 Yüzey Sularının Wilcox Diyagramı'nda gösterimi

Şekil 5.16 tüm suları, şekil 5.17 ise yüzey sularının Wilcox Diyagramı'nda işaretlendiği şekillerdir. Diyagramlar incelenecek olursa; Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan kuyu ve kaynaklardan 6 tanesi (SK-8, SK-10, SK-17, SK-18, SK-47, SK-61), Gnays'tan üretim sağlanan SK-41 kuyusu ile Alüvyon'dan üretim sağlanan 4 kuyu (SK-44, SK-51, SK-52, SK-53) çok iyi kullanılabilir su sınıfındadır. Yüzey sularından Azap Gölü (SK-46) ve yağmur suyu (SK-16) aynı şekilde tarımda sulama amaçlı çok iyi kullanılabilir su sınıfındadır.

Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan 4 adet kuyu (SK-3, SK-6, SK-11, SK-59), Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan kuyuların tamamı (SK-26, SK-29, SK-30, SK-31), Alüvyon'dan üretim sağlanan 2 adet kuyu (SK-43, SK-45) ise iyi kullanılabilir su sınıfındadır. Büyük Menderes Nehri'nin havza girişi örnekleme

(SK-54) ve kuzey kolu kurutularak tarımsal amaçlı yapay yollarla kurulan sulama kanalı (SK-62), şistlerden havzaya akaçlanan dere (SK-60), Söke bölgesi içme su deposu (SK-12) da tarımsal sulama amaçlı iyi kullanılabilir su sınıfındadır.

Menderes Masifi Mermerleri'nden yüzeylenen jeotermal kökenli SK-36, SK-37 kuyusu ve SK-1, SK-32 kaynakları ile alüvyon üretim sağlanan jeotermal akışkanla karışım belirlenen SK-39 kuyusu kullanılamaz su sınıfındadır. Yüzey sularından Serçin Gölü (SK-56), Bafa Gölü (SK-55), Bafa Gölü'nden Büyük Menderes Nehri'ne tahliye edilen Dalyan Kanalı (SK-21), kanal aracılığıyla Büyük Menderes Nehri'ne bırakılan balık üretim tesisi atık su bekletme havuzu (SK-38) ve tüm bu suların Büyük Menderes Nehri'ne karıştığı örnek noktası (SK-23) kullanılamaz su sınıfındadır.

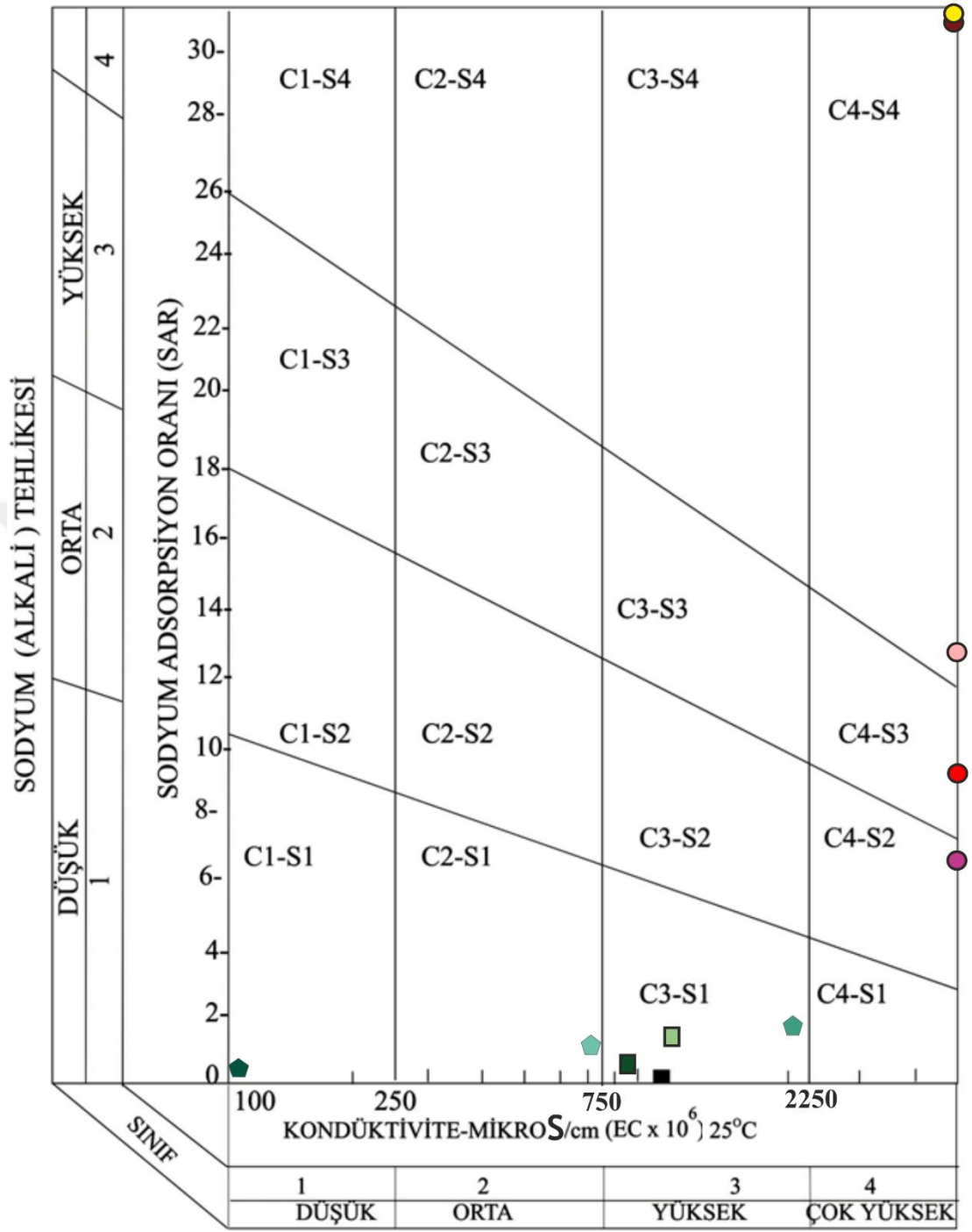
Yüzey suları kendi içlerinde incelenecek olursa yağmur suyu (SK-16), Azap Gölü (SK-46) tarımsal amaçlı çok iyi kullanılabilir su sınıfında yer alıyorken, Büyük Menderes Nehri havza girişi örnek noktası (SK-54), dere (SK-60), Sulama Kanalı (SK-62) iyi kullanılabilir su sınıfında yer almaktadır. Bafa Gölü (SK-55), Serçin Gölü (SK-56), atık su bekletme havuzu (SK-38), Dalyan Kanalı'na tahliye edildiği nokta (SK-21), tahliye sonrası Büyük Menderes Nehir çıkış noktası (SK-23) tarımsal amaçlı kullanılamaz su sınıfındadır. Dalyan Kanalı ile alandan uzaklaştırılan jeotermal kökenli atık suları, tahliye sonrası nehrin kimyasını değiştirmekte ve suları tarımsal amaçlı kullanılamaz hale getirmektedir.

5.3.2.2 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı Yorumlaması

ABD Tuzluluk Diyagramının uygulanabilmesi için ise sodyum absorpsiyon oranı (SAR) değeri bilinmesi gereken değişkendir. 'r' sembolü mek/L biriminden işlem yapılacağını belirtmektedir. SAR (Sodyum absorpsiyon oranı) sonuçları aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanır.

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa+rMg}{2}}} \quad (5.5)$$

Yeraltı sularının elektriksel iletkenlik (EC) ve hesaplanan sodyum absorpsiyon oranı (SAR) değeri işlenerek yorumlanan ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı tarımsal amaçlı kullanılan suların sınıflamasında kullanılan diyagramların başında gelmektedir. SAR değeri, grafiğin y ekseninde aritmetik olarak artış gösteren sodyum tehlikesi bölümüne işlenir. S ile ifade edilmektedir. 0-11 arasında düşük sodyum tehlikesi S-1, 11-18 arasında orta sodyum tehlikesi S-2, 18-26 arasında yüksek sodyum tehlikesi S-3, 26 ve üzeri değerler ise çok yüksek sodyum tehlikesi olarak adlandırılarak S-4 olarak ifade edilir. Elektriksel iletkenlik değeri, grafiğin x ekseninde logaritmik artış gösteren kondüktivite bölümüne işlenir. 0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındaki değerler düşük kondüktivite C-1, 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındaki değerler orta kondüktivite C-2, 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındaki değerler yüksek kondüktivite C-3, 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve üzeri değerler çok yüksek kondüktivite olarak sınıflandırılır ve C-4 olarak ifade edilir.



C1-S1	C2-S1	C3-S1	C4-S2	C4-S3	C4-S4
◆ SK-16	◆ SK-46	◆ SK-54 ■ SK-60 ■ SK-62	● SK-21	● SK-56	● SK-23 ● SK-38 ● SK-55

Şekil 5.19 Yüzey sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi (Richard, 1954)

C1-S1 alanına düşen düşük kondüktivite ve düşük sodyum tehlikesi olarak sınıflandırılan sulama amaçlı kullanıma en uygun sular; SK-16 (Yağmur Suyu), Menderes Masifi'nden üretim sağlanan kuyu (SK-47) ve kaynak (SK-17) ile Alüvyon'dan üretim sağlanan 1 adet kuyu kuyu (SK-53) sularıdır.

C2-S1 alanına düşen orta kondüktivite ve düşük sodyum tehlikesi olarak sınıflandırılan sulama amaçlı kullanıma uygun sular; Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan 3 adet kuyu (SK-10, SK-11, SK-61) ve 2 adet kaynak (SK-8, SK-18) noktasıdır. Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan kuyu (SK-26) ve kaynak (SK-30) ile Alüvyon biriminden üretim sağlanan 4 adet kuyu (SK-41, SK-44, SK-51, SK-52,) benzer niteliktedir. Ayrıca Söke içme suyu deposu (SK-12) ile Azap Gölü (SK-46) C2-S1 olarak sınıflandırılır.

C3-S1 alanına düşen sular, düşük sodyum tehlikesi ve yüksek kondüktivite olarak sınıflandırılan ve yüksek elektriksel iletkenlik nedeniyle sulama amaçlı kullanıma uygunluğundan şüphe edilebilecek sulardır. Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan 2 adet kuyu (SK-3, SK-59) ve kaynak (SK-6), Alüvyon biriminden üretim sağlanan 2 adet kuyu (SK-43, SK-45) ile Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan 2 adet kuyu (SK-29, SK-31) örnekleme bu alana karşılık gelmektedir. Ayrıca Sulama Kanalı kış ve bahar örneklemeleri bu alanda yer almaktadır. Şistlerde beliren dere (SK-60) ile Büyük Menderes Nehri havza girişi örnekleme (SK-54) bu sınıflamaya karşılık gelmektedir.

Geriye kalan tüm su noktaları yüksek kondüktivite (C4) nedeniyle tarımsal sulamaya uygun olmayan sulardır. Yüksek kondüktivite - düşük sodyum tehlikesi (C4-S1) olarak sınıflandırılan su noktası, Alüvyon'dan üretim sağlanan 4 mevsim 20°C'nin üzerinde sıcaklığa sahip ılık jeotermal kökenli su olarak tanımlanan SK-39 kuyusudur. Dalyan Kanalı ile karışarak kimyası değişen Büyük Menderes Nehri havza çıkış noktası (SK-21) yüksek kondüktivite - orta sodyum tehlikesi (C4-S2) olarak sınıflandırılır. Gölet (SK-48) ve Serçin Gölü (SK-56) yüksek kondüktivite - yüksek sodyum tehlikesi (C4-S3) bölgesine karşılık gelmektedir.

Yüksek kondüktivite – çok yüksek sodyum tehlikesi (C4-S4) olarak sınıflandırılan sular, sulama amaçlı kullanıma kesinlikle uygun olmayan sulardır. Ilık karstik jeotermal akışkan barındıran Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan 1 adet kuyu (SK-36) ve 2 kaynak (SK-1, SK-32) bu alana karşılık gelmektedir. Ayrıca balık üretim tesisi atık su bekletme havuzu (SK-38) ve Büyük Menderes Nehri denize döküldüğü alan örnekleme (SK-23) bu alana karşılık gelmektedir.

Yüzey suları kendi içlerinde değerlendirilecek olursa yağmur suyu (SK-16) ve Azap Gölü (SK-46) sulamaya en uygun sulardır. Sulama kanalı (SK-62), kuzeyde yer alan dere (SK-60) ve Büyük Menderes Nehri havza girişinden yapılan örnekleme (SK-54) sulamaya uygun sulardır. Serçin Gölü (SK-56), Dalyan Kanalı (SK-21), Balık çiftliği atık su bekletme havuzu (SK-38), Dalyan Kanalı (SK-23) ve Bafa Gölü (SK-55) tarımsal sulamaya uygun olmayan, toprakla teması halinde havza genelinde sürdürülebilir tarım üretimini sekteye uğratabacak sulardır (Şekil 5.18, Şekil 5.19).

5.3.2.3 Magnezyum Tehlikesi (MH)

Sudaki majör iyonlardan birisi olan magnezyumun, sulama suyunda kullanılması durumunda meydana getirebileceği riskleri tanımlamak adına Szabolcs and Dorab (1964) tarafından magnezyum tehlikesi (MH) eşitliği geliştirilmiştir. Çalışma alanında evaporitler, dolomitik kireçtaşı ve alüvyon yelpazede kireçtaşından türemiş çakıl – kum içerisinde dolaşım esnasında formasyon (jeoloji) kaynaklı artış gösteren magnezyum, toprağı daha alkali hale getirmesi nedeniyle ekin verimi olumsuz yönde etkilemektedir. Magnezyumca zengin minerallerin çözünmesinin yavaş olması ve kalsiyumun yeryüzünde daha bol olması nedeniyle magnezyum genellikle kalsiyuma göre düşük bollukta belirmektedir. Magnezyum tehlikesi (MH) aşağıda ifade edilen eşitlikle hesaplanır:

$$MH = 100 \times (rMg^{+2} / (rMg^{+2} + rCa^{+2})) \quad (5.6)$$

MH (Magnesium Hazard) değeri 50'nin üzerinde olan sular kullanıma uygun olmayan, 50'nin altında olan sular ise sulama amaçlı kullanıma uygun sular olarak nitelendirilir.

Söke Havzası'ndan alınan örneklerden Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan kuyu ve kaynakların birçoğu kullanılamaz su olarak yorumlanabilir. Bafa Gölü kuzeyinde alüvyondan yüzeyleyen ya da kuyu aracılığıyla üretim sağlanan, mermer akiferinden temin edilen Ca-HCO₃ fasiyes tipini yansıtan sular (SK-17, SK-18, SK-47, SK-51) ile kuzey hattında mermerlerden üretim sağlanan SK-10 kuyusu hariç Mermer akiferlerinde yüksek magnezyum tehlikesi beklenmektedir.

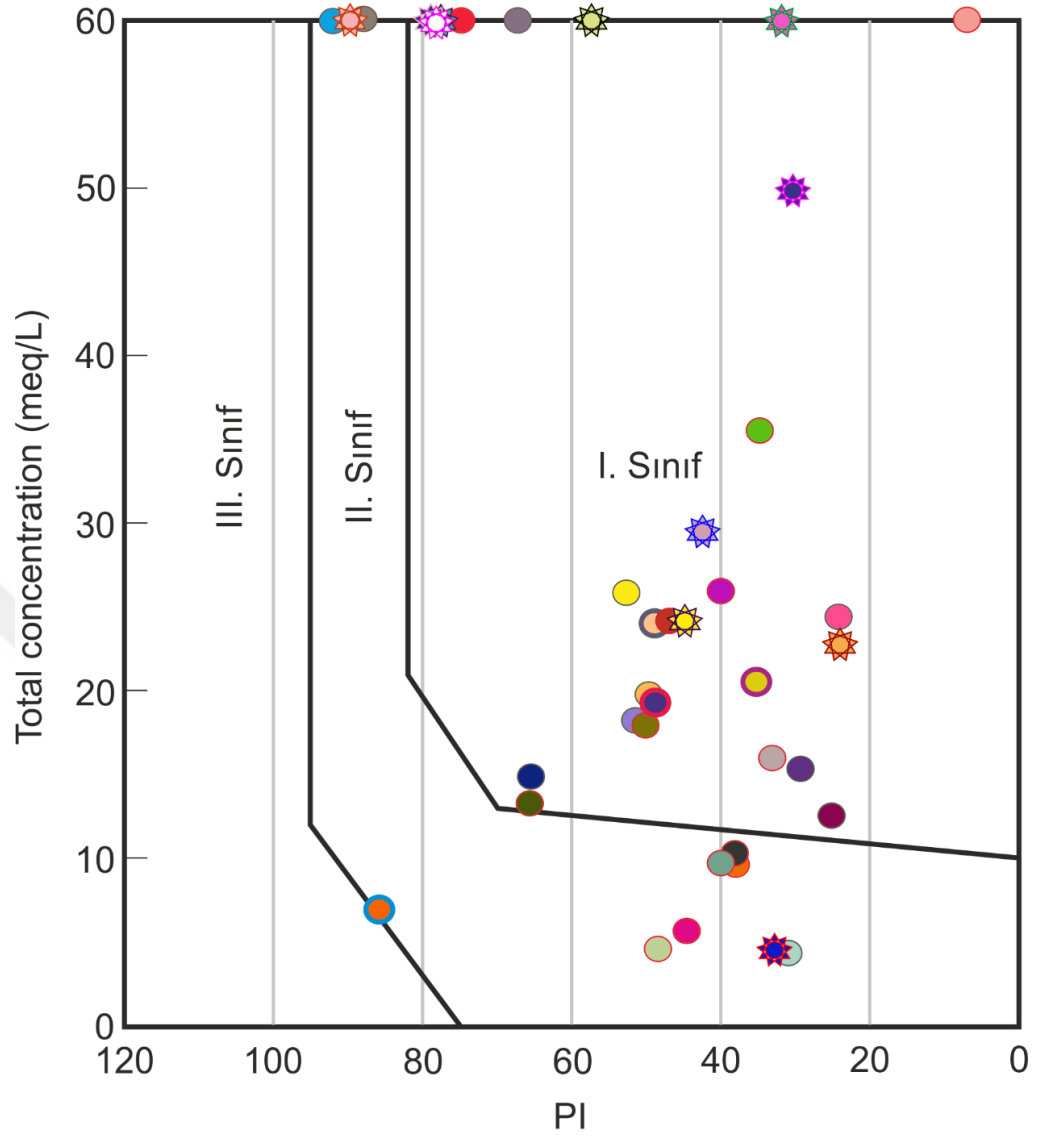
Bafa Gölü kuzeyinde Alüvyondan üretim sağlanan 5 kuyu (SK-39, SK-43, SK-44, SK-45, SK-51) sulama suyuna uygun olarak nitelendirilir. Alüvyon akiferinde magnezyum tehlikesi beklenen 2 kuyu örnekleme (SK-52, SK-53) sınır değer olan 50'yi az farkla geçmektedir.

Tarımsal amaçlı kullanılan sulama kanalı (SK-9, SK-62) ile Büyük Menderes Nehri havza giriş – çıkış örnek noktaları (SK-54, SK-23) magnezyum tehlikesinin en yüksek olduğu sulardır (Tablo 5.9).

5.3.2.4 Geçirgenlik İndeksi (PI)

Sulama kanalı (SK-9, SK-62) ve Büyük Menderes Nehri (SK-23, SK-54) tarımsal amaçlı kullanım için idare tarafından organize edilen sulardır. Bunların dışında yöre halkı tarafından sığ sondajlardan üretim sağlanan yeraltı suları sulama amaçlı kullanılmaktadır. Sulama sularının tarım arazilerinde uzun süreli kullanımı, toprağın sodyum (Na), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve bikarbonat (HCO₃) içeriklerinde değişikliğe sebep olarak toprak geçirgenliğini etkilemektedir. Söke Ovası'nın çoğu tarım arazisinden oluşmaktadır. Doneen (1964) tarafından geliştirilen geçirimlilik ya da geçirgenlik indeksi, 5.7'de ifade edilen denklemle hesaplanır.

$$PI = \frac{rNa^{2+} + \sqrt{rHCO_3^-}}{rCa^{2+} + rMg^{2+} + rNa^+} \quad (5.7)$$



ACIKLAMALAR

YERALTI SULARI						
SK-1	SK-3	SK-6	SK-8	SK-9	SK-10	SK-11
SK-12	SK-17	SK-18	SK-26	SK-29	SK-30	SK-31
SK-32	SK-36	SK-39	SK-41	SK-43	SK-44	SK-45
SK-47	SK-48	SK-51	SK-52	SK-53	SK-59	SK-61
YÜZEY SULARI						
SK-16	SK-21	SK-23	SK-38	SK-46	SK-54	SK-55
SK-56	SK-60	SK-62	SK-63			

Şekil 5.20 Suların geçirgenlik indeksi (PI) değerine göre sınıflandırılması (Doneen, 1964)

Bu diyagramda, geçirimlilik indeksi (PI) ile mek/L cinsinden hesaplanan toplam çözünmüş madde miktarı arasındaki ilişki yorumlanmaktadır. 1. Sınıf geçirimliliğin %75'den yüksek, 2. Sınıf ise geçirimliliğin %75 - %25 arasında geçirimliliğe karşılık gelmektedir. 1. ve 2. Sınıfa karşılık gelen sular tarımsal amaçlı kullanıma uygun olarak nitelendirilir. 3. Sınıf ise geçirimliliği %25'den düşük olan sulardır. Bu alan tarımsal amaçlı kullanıma uygun olmayan suları işaret etmektedir (Varol ve Davraz, 2015).

Suların %52'si (SK-3, SK-6, SK-9, SK-11, SK-12, SK-26, SK-29, SK-30, SK-31, SK-43, SK-44, SK-45, SK-46, SK-51, SK-52, SK-54, SK-59, SK-60, SK-61, SK-62) tarımsal amaçlı kullanımda 1. Sınıf kalite olarak saptanmıştır. Suların %20'si (SK-8, SK-10, SK-16, SK-17, SK-18, SK-41, SK-47, SK-53) geçirimliliği %25 - %75 arası olduğu varsayılan 2. Sınıf kalite sular olarak belirlenmiştir (Tablo 5.9).

Büyük Menderes Nehri havza girişi örneği, sulama kanalı ve Azap Gölü dışında bütün yüzey suları ve jeotermal kökenli SK-1, SK-32, SK-36 suları 3. Sınıf kalitedeki sular sınıfında yer almaktadır. Toplamda suların %28'lik kısmı (SK-1, SK-21, SK-23, SK-32, SK-36, SK-38, SK-39, SK-48, SK-55, SK-56, SK-63) geçirimliliğin % 25'den düşük olduğu, tarımsal sulamaya uygun olmayan 3. Sınıf kalitedeki sular olarak saptanmıştır (Şekil 5.20).

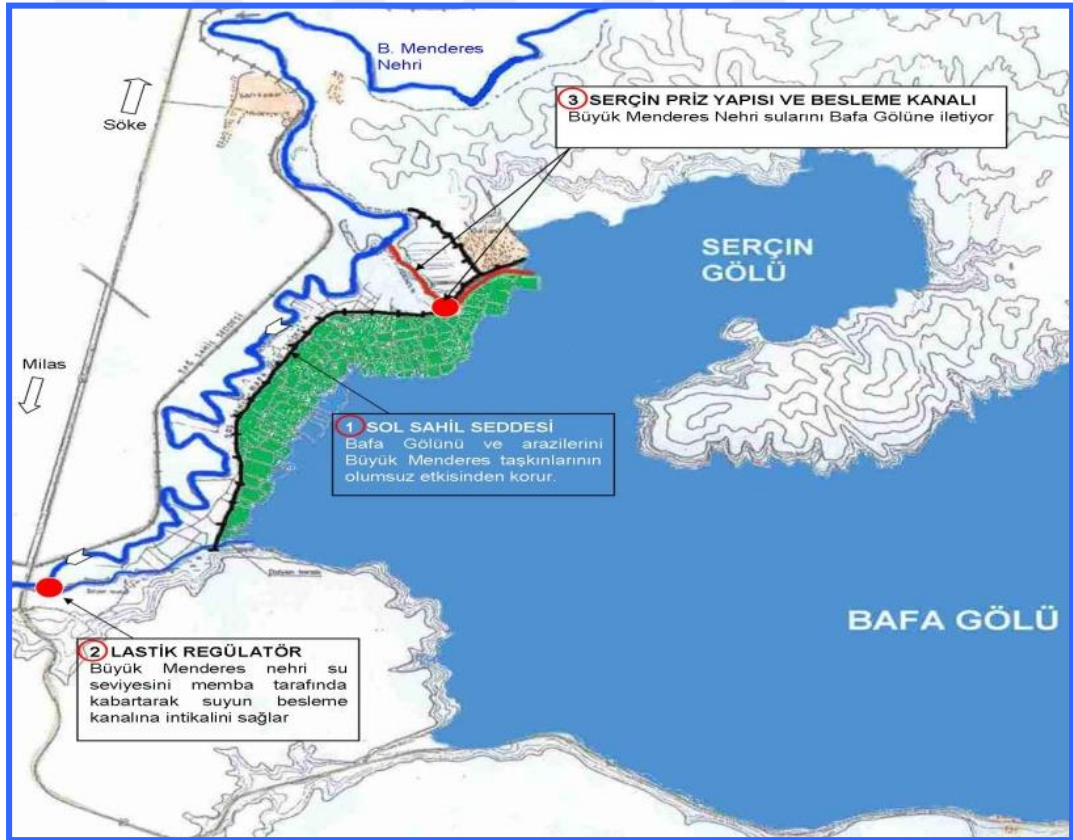
Tablo 5.9 Suların sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), magnezyum tehlikesi (MH), sodyum yüzdesi (%Na), geçirgenlik indesi (PI) değerleri

NU	Nokta Tipi	T (°C)	ÖEİ (μS/cm)	pH	Akifer - Su Noktası	SAR	MH	%Na	PI
SK-3	Jeotermal Kuyu	20,3	1205	7,15	Menderes Masifi Mermerleri	1,1	55,9	18,8	40,3
SK-6	Kuyu	18,5	772	7,31	Menderes Masifi Mermerleri	1,2	60,8	22,3	48,1
SK-8	Kaynak	17,5	405	7,92	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	53,6	0,5	32,2
SK-9	Yüzey	16,9	1065	8,35	Sulama Kanalı (Kış)	1,6	60,4	26,0	48,5
SK-10	Kuyu	17,3	348	7,94	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	20,8	0,4	38,3
SK-11	Kuyu	19,9	709	7,30	Menderes Masifi Mermerleri	0,2	84,4	3,9	32,1
SK-12	Kuyu	16,0	705	7,64	Söke Su Deposu (Mermer)	1,2	77,1	23,7	52,4
SK-16	Yağmur Suyu	14,0	30	7,70	Yağmur Suyu	0,1	25,1	3,1	33,7
SK-17	Kaynak	16,9	227	6,37	Menderes Masifi Mermerleri	0,1	24,6	2,1	46,0
SK-18	Kaynak	18,2	459	7,69	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	4,7	0,6	37,4
SK-21	Yüzey	16,7	20000	8,50	Dalyan Kanalı	6,4	61,1	28,8	31,3
SK-23	Yüzey	15,0	7000	7,96	Menderes Nehri Havza Çıkışı	12,5	60,5	49,9	76,7
SK-26	Kuyu	18,6	750	7,00	Gölsel Karbonat	1,8	48,0	35,8	64,8
SK-29	Kuyu	18,3	1047	6,99	Gölsel Karbonat	1,8	85,6	28,3	52,9
SK-30	Kaynak	9,9	687	7,54	Gölsel Karbonat	1,1	60,1	22,2	50,3
SK-31	Jeotermal Kuyu	23,7	1703	7,10	Gölsel Karbonat	1,1	74,0	15,9	33,5
SK-32	Jeotermal Kaynak	26,1	43800	6,75	Menderes Masifi Mermerleri	88,0	79,7	87,8	89,3
SK-36	Jeotermal Kuyu	25,6	56000	6,97	Menderes Masifi Mermerleri	72,1	81,5	83,7	85,9
SK-37*	Jeotermal Kuyu	25,0	25500	7,46	Menderes Masifi Mermerleri	38,8	83,7	76,5	78,7
SK-38	Yüzey	23,0	51700	7,53	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu	70,0	78,6	84,0	86,2
SK-39	Jeotermal Kuyu	22,3	4700	7,20	Alüvyon	0,3	46,4	3,0	7,5
SK-41	Kuyu	13,6	388	7,85	Gnays	0,0	18,3	0,5	40,1
SK-43	Kuyu	14,1	943	7,16	Alüvyon	0,0	19,7	0,3	23,9
SK-44	Kuyu	14,7	518	6,80	Alüvyon	0,0	10,7	0,7	26,1
SK-45	Kuyu	19,7	1268	6,52	Alüvyon	1,2	49,6	20,8	48,5
SK-46	Yüzey	13,1	590	8,92	Azap Gölü	1,1	73,8	19,0	43,6
SK-47	Kuyu	17,8	178	6,32	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	8,9	1,8	47,6
SK-48	Yüzey	18,0	6700	7,81	Gölet	11,1	71,7	60,5	66,9
SK-51	Kuyu	14,0	631	8,17	Alüvyon	0,0	9,2	0,9	28,6
SK-52	Kuyu	15,4	484	8,11	Alüvyon	1,4	52,0	29,3	65,0
SK-53	Kuyu	12,7	225	7,72	Alüvyon	2,0	58,7	46,8	86,1
SK-54	Yüzey	14,4	2110	8,25	Menderes Nehri Havza Girişi	1,4	78,0	17,5	30,9
SK-55**	Yüzey	14,9	23400	8,58	Bafa Gölü	40,3	83,7	77,5	79,1
SK-56	Yüzey	15,0	7000	8,31	Serçin Gölü	9,3	79,4	52,6	58,3
SK-59	Kuyu	19,8	812	7,80	Menderes Masifi Mermerleri	0,5	51,2	11,1	36,1
SK-60	Yüzey	18,4	900	8,10	Dere	0,4	53,1	8,0	24,1
SK-61	Kuyu	18,9	707	7,48	Menderes Masifi Mermerleri	1,2	61,7	23,9	48,0
SK-62	Yüzey	17,0	1200	8,10	Sulama Kanalı (Bahar)	1,6	69,0	25,2	43,5
SK-63***	Deniz Suyu	17,5	57700	8,03	Deniz Suyu	69,8	84,4	78,1	79,4

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

5.3.3 Bafa Gölü Kalitesi ve Yüzey – Yeraltı Suları İlişkisi

Bafa Gölü ve çevresindeki yüzey suları, idare tarafından geliştirilen yapılarla yönetilmektedir. Gölün kuzey bölümünde 1985 yılında, Menderes Nehri ile arasında set yapılmış ve bağlantı kanalla korunmaktadır. 1990 yılında göl seviyesinin düşmesi nedeniyle sivil toplum örgütlerinin baskısı sonucu 1994 yılında bölge, Tabiat Koruma Alanı ilan edilmiştir. Büyük Menderes deltasına benzer ekosisteme sahip göl, nesli tükenmekte olan birçok canlıya ev sahipliği yapmakta ve birçok kuş türü için üreme ortamı sağlamaktadır. Maksimum derinliği 25 metre olan Bafa Gölü'nde, kurak dönemlerde gerçekleşen toplu balık ölümleri, tuzlanma ve su seviyesindeki düşüşün önlenmesi amacıyla farklı mühendislik çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

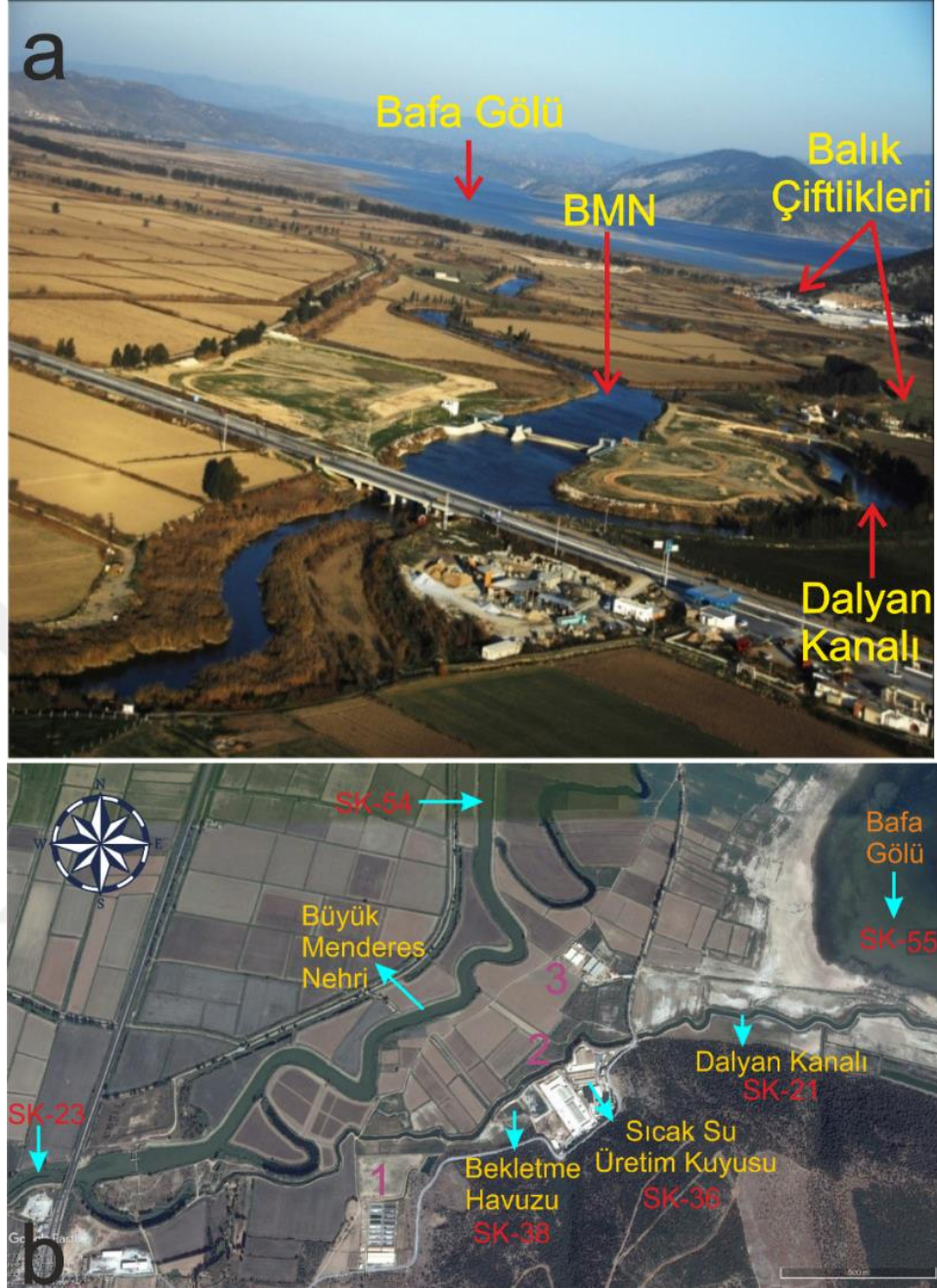


Şekil 5.21 Bafa Gölü üzerindeki yapılar (Orman ve Su İşleri Bakanlığı [OSİB], 2012)

Şekil 5.21’de 1 numara ile gösterilen *Sol Sahil Seddesi*, yağışlı dönemlerde Bafa Gölü’nü; Büyük Menderes Nehri taşkınlarının olumsuz etkisinden koruyacağı kurgulanarak, su girişinin kontrollü gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır.

3 numara ile gösterilen *Serçin Priz Yapısı ve Besleme Kanalı*, yapay yollarla hidrolik seviyesi arttırılan nehir sularının Bafa Gölü’ne iletilmesini sağlamaktadır. Özellikle kurak dönemlerde Bafa Gölü su seviyesinin azalması nedeniyle meydana gelen olumsuz etkilerin giderilmesi amacıyla kurulmuştur.

2 numara ile gösterilen *Lastik Regülatör* Bafa Gölü’ndeki su seviyesi +2 metre seviyesine ulaştığı zaman Bafa Gölü sularının Dalyan Kanalı aracılığıyla Büyük Menderes Nehri’ne ulaştırmaktadır. Bu sayede göldeki su döngüsü sağlanarak kirlilik oluşum ve birikiminin önüne geçilmesi, habitatın korunması hedeflenmiştir.



Şekil 5.22 (a) Bafa Gölü, Dalyan Kanalı, Büyük Menderes Nehri ilişkisini gösteren fotoğraf (OSİB, 2012) (b) Dalyan Kanalı, Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri ilişkisini gösteren uydu görüntüsü

Serçin Priz Yapısı ve Beslenme Kanalı ile Bafa Gölü'ne girişi sağlanan su, dolaşımın sağlanabilmesi için Dalyan Kanalı aracılığıyla tekrar Büyük Menderes Nehri'ne aktarılmaktadır (Şekil 5.22). Sulama dönemlerinde Bafa Gölü'ne su girişi sağlayan Serçin Priz Yapısı kapatılıp Dalyan Kanalı çıkışında bulunan lastik regülatör şişirilerek Bafa Gölü sularının Büyük Menderes Nehri ile etkileşimi

sonlandırılmaktadır. Savakta biriktirilen su ile tarımsal üretim yapılan araziler sulanmaktadır. Gelgit (metcezir) olduğunda Deniz sularının Bafa Gölü'ne ulaşmasını engelleyen yapı aynı zamanda herhangi beklenmedik nedenle göl seviyesi +3 metre kotuna ulaşırsa, lastik regülatör sökülerek Bafa Gölü sularını Dalyan Kanalı aracılığıyla tahliye etmektedir. Büyük Menderes Nehri kabartma tesisinden yaklaşık 20 km sonrasında Ege Denizi'ne kavuşmaktadır.

Dalyan kanalı hem Bafa Gölü'nün su döngüsünü sağlamakta hem de balık üretim tesislerinin atık sularının uzaklaştırılması amaçlı kullanılmaktadır. Bölgede mermer ve alüvyon sınırında yer alan birbirine yakın 3 adet balık çiftliği bulunmaktadır (Tablo 5.10).

Tablo 5.10 Bafa Gölü civarında balık üretimi yapan tesislerin üretim kapasitesi, kuyu sayısı ve derinliği, toplam yeraltı suyu çekimi ile atık su anlık değerlerini içeren tablo (OSİB, 2012)

Firma	Egamar (1)	Kılıç Holding (2)	Serçin (3)
Yıllık Üretim	78 milyon/yıl	90 Milyon/yıl	30 Milyon/yıl
Kuyu Sayısı	4	10	4
Kuyu Derinliği	50 m - 70 m	80 m -140 m	100 m - 120 m
Arıtma	Yok	İlkel Çökeltme	Yok
Yeraltı Suyu Çekimi	0.27 m ³ /sn	1.47 m ³ /sn	0.038 m ³ /sn
* EC (µS/cm)	32300	47200	54000
* Çözünmüş O ₂ (mg/L)	6,77	4,81	5,78
* Çözünmüş Oksijen (%)	79,3	64,7	72,2
Deşarj İzni	Yok	Yok	Yok

* Atık Su Anlık Değerleri

Egamar Su Ürünleri Balık Üretim Çiftliği, Şekil 5.22'de 1 numara ile gösterilen kuruluştur. 78 milyon/yıl balık üretim kapasitesine sahiptir. Derinliği 50 metre ile 70 metre arasında değişen 4 kuyudan toplamda 0.27 m³/sn debiyle yeraltı suyu çekimi yapılmaktadır. Arıtma havuzu bulunmayan tesis atık suları, Dalyan Kanalı aracılığıyla tarımsal etkinlik zamanlarına bağlı olarak Büyük Menderes Nehri'ne ya da Bafa Gölü'ne deşarj edilmektedir.

Kılıç Holding'e ait Balık Üretim Çiftliği, Şekil 5.22'de 2 numara ile gösterilen kuruluştur. 90 milyon/yıl balık üretim kapasitesine sahiptir. Derinliği 80 metre ile 140 metre arasında değişen 10 kuyudan toplamda 1,47 m³/sn debiyle yeraltı suyu çekimi yapılmaktadır. İlkel arıtma olarak nitelendirilebilecek çökertme (bekletme) havuzu olan tesis, atık sularını Dalyan Kanalı aracılığıyla tarımsal etkinlik zamanlarına bağlı olarak Büyük Menderes Nehri'ne ya da Bafa Gölü'ne deşarj etmektedir.

Serçin Yavru Balık Üretim Çiftliği, Şekil 5.22'de 3 numara ile gösterilen kuruluştur. 45 milyon/yıl balık üretim kapasitesine sahiptir. Derinliği 100 m ile 120 m arasında değişen 4 kuyudan toplamda 0.038 m³/sn debiyle yeraltı suyu çekimi yapılmaktadır. Arıtma havuzu bulunmayan tesis atık suları, Dalyan Kanalı aracılığıyla tarımsal etkinlik zamanlarına bağlı olarak Büyük Menderes Nehri'ne ya da Bafa Gölü'ne deşarj edilmektedir.

2012 rakamlarıyla toplamda yıllık 200 milyon balık üretimi gerçekleşmektedir (Tablo 5.10). Her bir ton balık üretimi sonucu; 110 kg azot, 12 kg fosfor ve 450 kg karbon açığa çıkmakta olup deniz ya da göl ekosistemine geçmektedir. Ek olarak kuyular tam performansla bir yıl boyunca çalıştığı takdirde yeraltından toplam 56 milyon m³'lük su çekilmesi anlamına gelmektedir. Yeraltı sularının tamamı yüzey sularına deşarj edilmektedir.

Suda çözülmüş Arsenik (As), Selenyum (Se), Kadmiyum (Cd), Kalay (Sn), Antimon (Sb), Sezyum (Cs), Baryum (Ba), Cıva (Hg), Kurşun (Pb), Bizmut (Bi) ve Uranyum (U) gibi iz elementler, kirletici olarak tanımlanır. N, P ise besleyici majör elementlerdir (Tablo 5.11). İnorganik ve/veya organik kirliliğe neden olan bu elementler, ekosisteme geri dönüşü olmayacak boyutlarda etki edebilecek niteliktedirler.

H																	He					
Li	Be															B	C		N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si		P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
Fr	Ra	**																				

*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yr	Lu
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu									

Tablo 5.12 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey - yeraltı sularının fiziksel parametreleri ve kimyasal analizleri

			Öİ (µS/cm)	pH	mg/L (ppm)									
NU	Su Noktası	T (°C)			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Si	B	Ba
SK-54	BMN Havza Girişi	14,4	2110	8,25	101,4	38,1	87,1	187,1	185	486,0	573,4	11,6	3,2	2,1
SK-56	Serçin Gölü	15,0	7000	8,31	824,6	96,1	122,9	287,5	1700	592,1	353,8	13,3	3,4	2,0
SK-55**	Bafa Gölü	14,9	23400	8,58	5104,0	151	198,0	616	8783	1578,0	156,0	0,58	1,9	-
SK-36	Jeotermal Kuyu	26,1	43800	6,75	10256,0	397,9	283,9	756,6	17500	2478,4	561,2	49,6	20,9	14,8
SK-37*	Jeotermal Kuyu – 2	25,0	25500	7,46	4906,0	198,0	198	616,0	8783	1052,0	317,0	8,1	-	-
SK-38	Bekletme Havuzu	23,0	51700	7,53	9501,6	356,8	299,0	665,8	14750	2363,5	512,4	21,4	20,6	14,6
SK-21	Dalyan Kanalı	16,7	20000	8,50	1110,7	251,5	881,6	840,9	5375	1128,6	305,0	14,6	20,3	14,4
SK-23	BMN Havza Çıkışı	15,0	7000	7,96	756,7	752,4	109,3	101,4	1500	578,8	512,4	17,9	3,5	2,1
SK-63 ***	Deniz Suyu	17,5	57700	8,03	14752	430	529	1733	24747	4161	171	1,7	5,4	3,0

Tablo 5.13 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey - yeraltı sularının iz element analizleri

[illegible] $x < 0,001$

Jeotermal kökenli kuyu suyunun (SK-36, SK-37) kimyasına yakın nitelikteki sular, işleminden sonra organik besleyici (azot, fosfor) yüküyle birlikte bekletme (arıtma) havuzunda toplanmakta (SK-38) ve Dalyan Kanalı (SK-21) aracılığıyla sulama dönemine bağlı olarak Bafa Gölü (SK-55) ya da Büyük Menderes Nehri'ne (SK-23) boşaltılmaktadır. Kanaldan tahliye sonrası atık sular, Büyük Menderes Nehri havza girişindeki (SK-54) sular ile karışmakta ve Serçin Gölü (SK-56) kimyasına benzer nitelikte suya dönüşmektedir (Tablo 5.14).

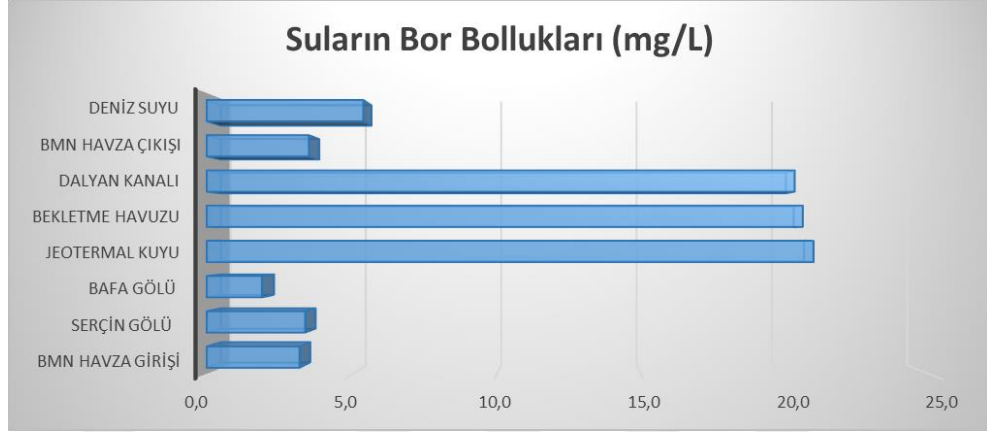
Tablo 5.14 Bafa Gölü ve alışverişte bulunduğu yüzey - yeraltı sularının EC, tuzlu su girişi değerleri

NU	Su Noktası	ÖEI ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Deniz Suyu Girişimi (%)
SK-54	BMN Havza Girişi	2110	0,7
SK-56	Serçin Gölü	7000	6,8
SK-55**	Bafa Gölü	23400	35,4
SK-36	Jeotermal Kuyu	43800	58,6
SK-37*	Jeotermal Kuyu - 2	25500	35,4
SK-38	Bekletme Havuzu	51700	59,6
SK-21	Dalyan Kanalı	20000	21,7
SK-23	BMN Havza Çıkışı	7000	6,0
SK-63 ***	Deniz Suyu	57700	100

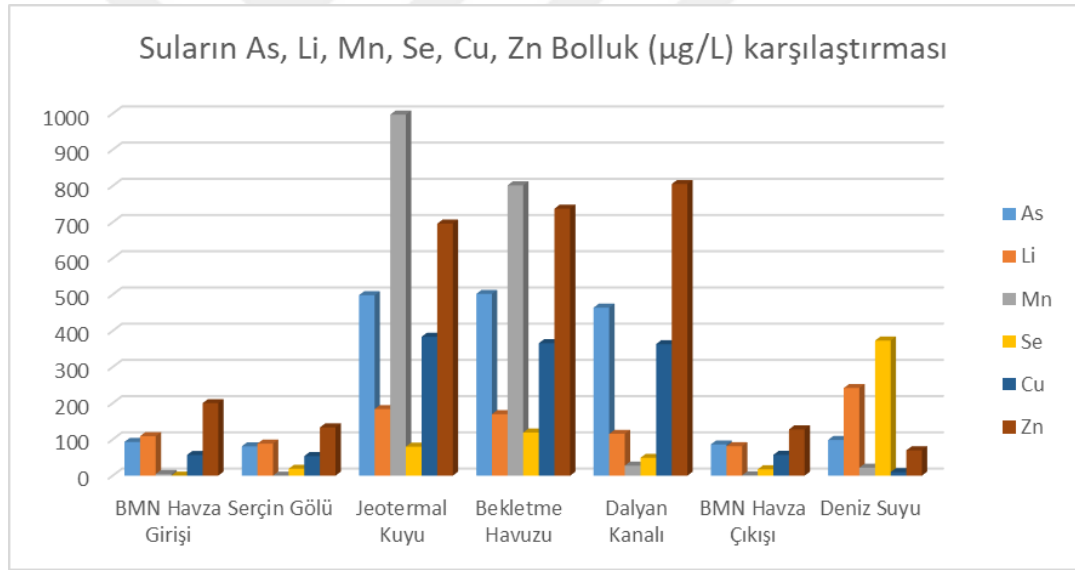
* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

Yüzey sularının majör iyon değerlerinin kıyaslandığı Schoeller Diyagramı Şekil 5.2'de görülmektedir. Deniz suyuna yakın miktarda çözünmüş madde bulunan jeotermal kökenli akışkanların, Bafa Gölü'ne deşarj edilmesiyle tuzluluk ve beraberinde inorganik madde yükü artmaktadır. Bafa Gölü, yaklaşık 2000 yıl kadar önce Ege Denizi'nin iç körfezi konumundayken Büyük Menderes Nehri'nin taşıyıp yığıldığı alüvyonlar sonucu denizle bağlantısı kesilerek oluşan lagünel kökenli tuzlu su gölüdür. Tuzluluk, göl ekosisteminin sorunu değildir. Akköy Fayı ile denetlenen ve Denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Alüvyon – Gölsel Karbonat ve Alüvyon – Mermer dokanağı boyunca deniz suyu girişi gerçekleşmektedir. Dokanak boyunca üretim sağlanan kuyuların atık suları, sulama döneminde Bafa Gölü'ne, diğer zamanlarda Dalyan Kanalı ile Büyük Menderes Nehri'ne aktarılmaktadır. Büyük Menderes Nehri 20 km sonrasında denize ulaşmaktadır. Jeotermal kökenli ve % 35.4 - % 58.6 oranda deniz suyu karışan akışkan yüzey sularına aktarılmaktadır. Bu süreç;

deniz suyu, nehir ve göl sularında inorganik madde birikimine neden olmaktadır (Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25).

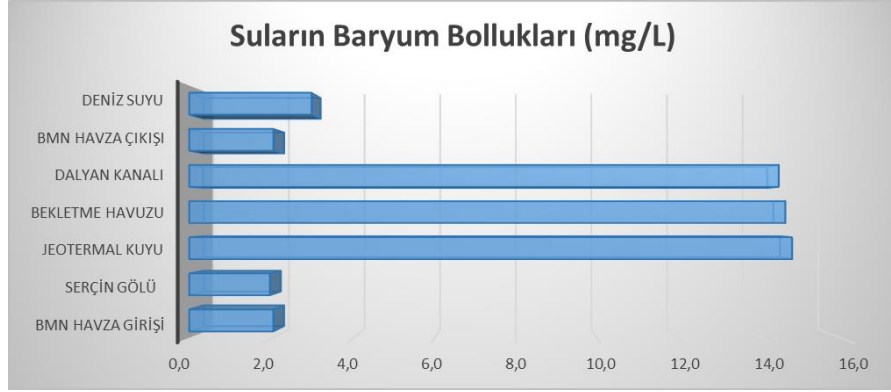


Şekil 5.23 Bafa Gölü ve ilişkili yüzey - yeraltı sularının bor bolluk karşılaştırması



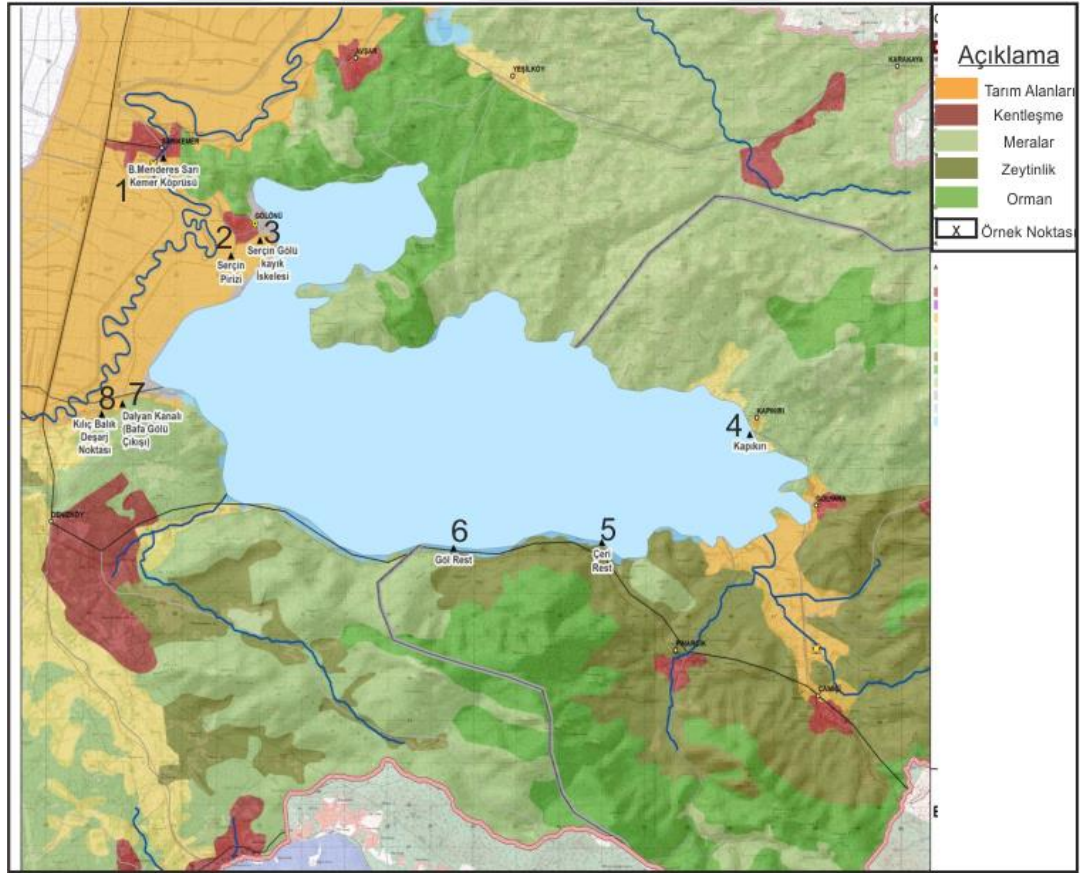
Şekil 5.24 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey ve yeraltı sularının arsenik, lityum, mangan, selenyum, bakır, çinko bolluk karşılaştırması

Büyük Menderes Nehri ya da Bafa Gölü ile uzaklaştırılan sular deşarj edildiği alanlarda bor, baryum, alüminyum, mangan, bakır, çinko, arsenik, kalay açısından zenginleşmeye neden olmaktadır.



Şekil 5.25 Bafa Gölü ile ilişkili yüzey - yeraltı sularının baryum bolluk karşılaştırması

Bafa Gölü doğusunda yer alan Serçin ve Sarıkemer tarımsal etkinliğin olduğu bölgedir. Bölge halkının geçim kaynağı tekneyle yapılan balıkçılık ve Bafa Gölü'nün kuzeyinde gerçekleştirilen mera hayvancılığıdır. Bafa Gölü'nün güneydoğusu zeytinlik için kullanılmaktayken, alanda kentleşme sınırlıdır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Bafa Gölü çevresi ve örnekleme noktaları (OSİB, 2012'den değiştirilerek)

Organik kirliliğin yorumlanabilmesi için OSİB (2012) analizleri tekrar gözden geçirilmiştir. Tablo 5.11’de bahsedilen besleyici (nutrient) elementlerden Azot (N) ve Fosfor (P) ile çözünmüş oksijen bolluğu ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı gibi bilgiler derlenmiştir (Tablo 5.15). Şekil 5.26’da örnekleme noktaları işaretlenmiştir.

Tablo 5.15 Bafa Gölü çevresinin analiz sonuçları (OSİB, 2012)

Parametre	Sarı kemer Köprüsü (1)	Serçin Prizi (2)	Serçin - Kayık İskelesi (3)	Kapıkırı (4)	Bafa Gölü - Çeri Rest. (5)	Bafa Gölü - Göl Restaurant (6)	Dalyan - Bafa Gölü Çıkışı (7)	Kılıç Balıkçılık (8)
T (°C)	27,70	28,10	30,10	30,20	32,00	31,30	26,80	28,20
pH	8,05	8,03	8,11	7,30	8,80	8,52	7,40	7,51
Eİ(μS/cm)	871	813	879	18740	18870	18670	44100	45800
ÇO (mg/l)	5,45	5,24	4,89	0,04	1,65	7,60	5,04	4,99
NH ₄ -N (mg/l)	0,08	0,13	0,51	0,80	0,41	0,64	0,09	2,30
Nitrit-N (mg/l)	0,02	0,03	0,18	0,57	0,85	0,55	0,14	0,13
o-PO ₄ (mg/l)	0,14	0,02	0,01	3,00	0,01	0,01	0,26	0,24
BOİ (mg/l)	20	30	30	450	60	60	30	30
Toplam N (mg/l)	3,21	3,16	3,42	74,91	67,95	62,01	55,20	55,45
Toplam P (mg/l)	0,10	0,13	0,10	1,23	0,01	0,01	0,19	0,18

8 numara ile belirtilen örnek noktası, bu çalışmada SK-38 örnek numaralı balık çiftliği atık su bekletme havuz suyuna karşılık gelmektedir. Ilık karstik tuzlu jeotermal akışkanın kullanım sonrası bekletildiği noktadan alınan örnekte elektriksel iletkenlik değeri yüksektir. 7 numara ile belirtilen örnek noktası ise SK-21 numaralı Dalyan Kanalı yüzey suyuna karşılık gelmektedir. Jeotermal kökenli akışkanın kullanım sonrası uzaklaştırılması amacıyla kullanılan Dalyan Kanalı, SK-38 yüzey suyuyla yaklaşık aynı elektriksel iletkenlik değerine sahiptir.

Fosfor doğada Ca₃(PO₄)₂, K₃(PO₄), Ca₅(PO₄)₃(OH), Ca₅(PO₄)₃F, Ca₅(PO₄)₃Cl gibi mineral olarak ya da nükleit asit, ATP, fosfolipler gibi organik bağlı olarak bulunur. Fosfor, sertliği ve toplam çözünmüş katı madde miktarını artırır. Organik fosfor bileşikleri, biyolojik etkinliklerle parçalanıp fosfat (PO₄⁻³) verirler. Bu fosfat ya mineralize olup doğada yer edinir ya da organizmalar tarafından tutulur. Fosfor döngüsü yalnızca su ve toprakta gelişmektedir. Fosfat ise doğal şartlarda oluşabileceği gibi topraktan suya karışan gübre, foseptik, deterjan ve temizlik malzemeleri gibi insan kaynaklı da artış gösterebilmektedir. 1 gram fosfat ortalama 100 gram algin

gelişmesine neden olurken, algler öldüğü takdirde ayrışabilmesi için 150 grama yakın oksijene ihtiyaç duyulmaktadır.

4 numaralı Kapıkırı hariç bölgenin fosfat ortalaması 0,01 mg/L'dir. 4 numaralı Kapıkırı örnek noktası 3 mg/L ile yüksek bollukta fosfat içermektedir. Beraberinde çözülmüş oksijen miktarı 0,04 mg/L ile yok denecek kadar azdır. Yüksek fosfatın evsel atık suların göle karışmasıyla gelişmiş olması olasıdır. İç kısımda kalan bölgenin, su döngüsünün sağlanamıyor olması kirlenme sürecinin daha hızlı gerçekleşmesine neden olmaktadır. Yüksek besin nedeniyle artış gösteren alglerin, yeterli oksijene erişememesinden dolayı bölgede ötrifikasyon (alp patlaması) gerçekleşmesi beklenir.

Nitrifikasyon, mikroorganizmaların enerji elde etmek için amonyumu (NH_4), nitrite (NO_2) ve ardından nitrata (NO_3) dönüştürdüğü süreçtir. Amonyacı oksitleyerek nitrite dönüştüren bakteri çeşitleri Nitrosomonas ile Nitrosococcus olduğu bilinmektedir. Nitrit oksitleyerek nitrata dönüştüren Nitrobakter bakterileriyle döngü tamamlanır. Geçişler aşağıda ifade edilmiştir.

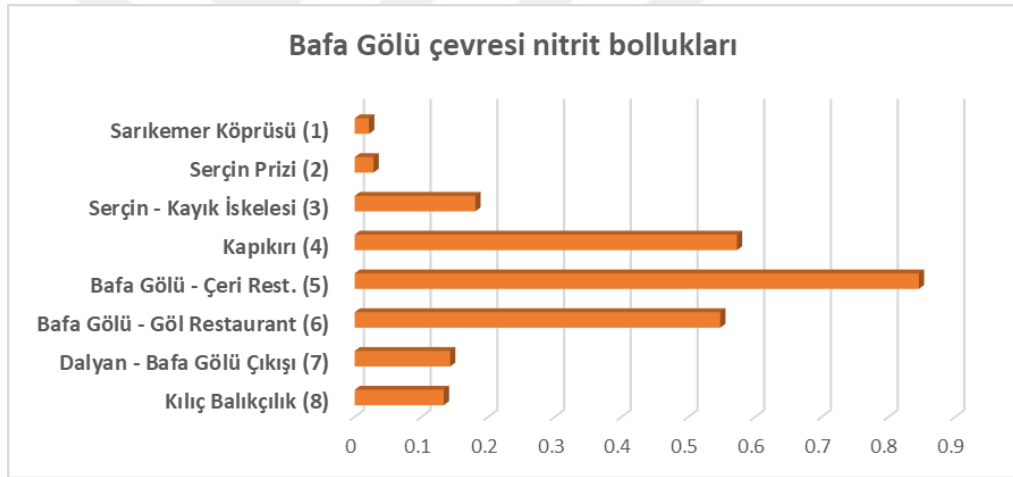


8 numaralı Balık çiftliği bekletme havuzu örnekleme hariç Bafa Gölü'nün amonyum (NH_4) ortalaması 0.38 mg/L'dir. 8 numaralı örneklemede ise amonyum bolluğu 2,30 mg/L olarak belirlenmiştir. Balık üretimi için kullanılan kimyasal yemler nedeniyle yüksek miktar amonyum (NH_4), Dalyan Kanalı ile Bafa Gölü'ne deşarj edilmektedir. Gölün en büyük azot kaynağı, balık üretim tesisi atık sularıdır.

Fazla besin nedeniyle sayıca artış gösteren mikroorganizmalar, yeterli oksijen olmaması nedeniyle ayrışamamaktadır. Alg patlaması ve sonrasında güneş ışınlarının göl dibine ulaşamamasıyla sonuçlanan süreçte, oksijensiz kalan alt tabakada havacıl yaşam durmaktadır. Bu durum doğal dengenin bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Balıkların yaşaması için gerekli sınır 4 mg/L çözülmüş oksijendir. Gölün ortalama

çözünmüş oksijen miktarı 4,36 mg/L'dir. Yağışsız dönemde buharlaşma etkisi gözlenen ve/veya Büyük Menderes Nehir sularının Bafa Gölü'ne verilemediği dönemlerde toplu balık ölümleri gerçekleşecektir.

Tarım etkisinde olmayan bölgelerde, insan faaliyetlerinden etkilenmeyen sığ yeraltı suyu genellikle 2 mg/L'den daha az nitrat içerir. Yeraltı sularındaki yaygın nitrat kaynakları; gübre, hayvancılık atıkları ve belediye atık su sistemlerindeki sızmadır. Toprakta biriken nitrat (NO_3) yağış ve sulama suyu aracılığıyla yeraltı suyu sistemine taşınır. İdeal koşullarda toprağa uygulanan azotun % 60'a yakını bitkiler tarafından tüketilir, yaklaşık %10'u havaya karışır, yaklaşık %20'lik kısmı organik madde ya da kil tanecikleriyle bütünleşir. Kalan % 2-10'luk kısmı ise yüzey sularına karışır veya yeraltı sularına sızar (Gray, 2008).



Şekil 5.27 Bafa Gölü çevresi nitrit bollukları

Bafa Gölü Güneydoğusunda zeytin işleme tesisleri bulunmaktadır. Bu tesisler Zeytin Karasularını lagünlerde buharlaşmaya almaktadır (OSİB, 2012). 4 – 5 ve 6 numaralı örnek noktaları hariç nitrit ortalaması 0.1 mg/L'dir. 4 – 5 ve 6 noktaları nitrit içerikleri sırasıyla 0,57 0,85 ve 0,55 mg/L'dir ve nitrit değerleri en yüksek olan örneklemelerdir (Şekil 5.27). Zeytin işleme tesislerinin Bafa Gölü'ne olumsuz etkisinden söz edilebilir. 4 numaralı Kapıkırı bölgesinin zeytinliğe diğerlerine kıyasla uzak olmasına rağmen 6 numaraya yakın değerler elde edilmiş olmasının nedeni foseptik sızdırması ile açıklanabilir. 3 numaralı Serçin Prizi – Kayık İskelesi nitrit

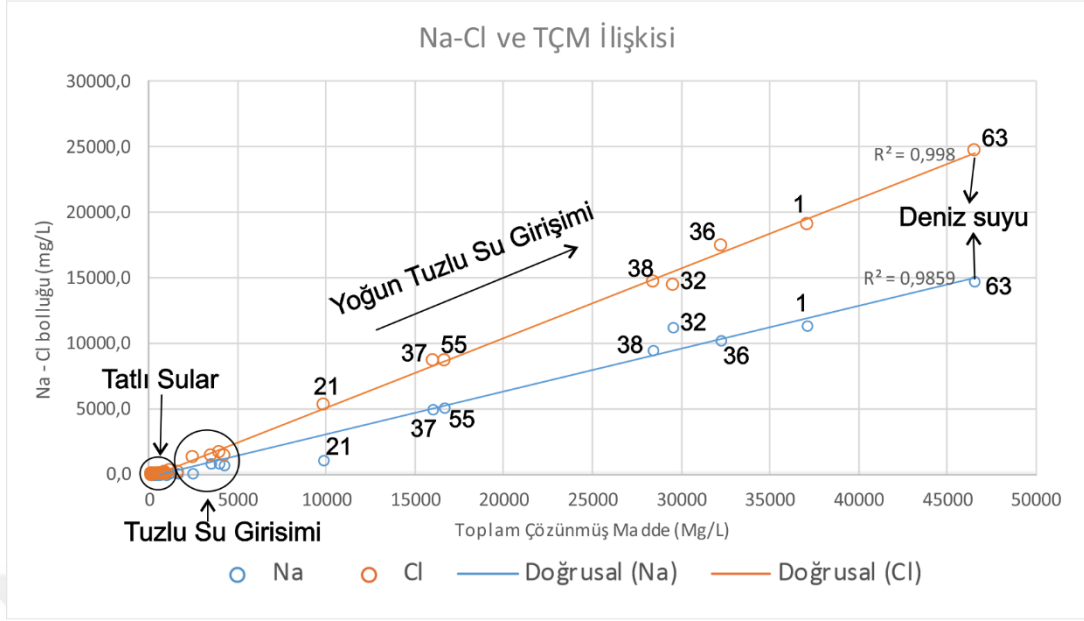
değerinin görece yüksek olmasının nedeni, mera hayvancılığı kaynaklı gübre birikiminin yağış sularıyla yeraltına süzülmesi olarak ifade edilebilir.

Özetlenecek olursa, Bafa Gölü'nde hem organik hem de inorganik kirlilikten söz edilebilir. Bafa Gölü organik kirlilik kaynakları; yüksek amonyum içeren balık üretim tesisi atık sularının göle deşarjı, Kapıkırı bölgesinde yüksek fosfat kaynaklarının Bafa Gölü'ne taşınmasıdır. Ek olarak zeytin işleme tesislerinin kurutma işlemini lagünde gerçekleştirerek nitrit birikimine neden olmaktadır.

İnorganik kirliliğin nedeni balık üretim tesislerinden üretim sağlanan jeotermal kökenli sulardır. Sular; bor, arsenik, alüminyum, kurşun gibi zehirleyici etkisi olan ve selenyum gibi balıklarda mutasyona neden olabilecek iyonlar barındırmaktadır. Tüm sınır değeri aşan parametrelerin arıtılması yüksek maliyetlidir. Halk sağlığı ve tarımsal etkinliğe zarar vermemesi için formasyon (jeolojik) kaynaklı kirliliğe neden olan kuyulardan üretim sağlanan yeraltı suları, yüzey sularıyla uzaklaştırılmamalıdır. Jeotermal kökenli akışkan, göl habitatının bozulmaması için yüzey sularına deşarj edilerek değil Mermer birimine reenjeksiyon yapılarak giderilmelidir. Yeraltı suların yüzey sularına oranla daha az çözünmüş oksijen olmasına rağmen, 2,208 mg/L bollukta bulunan amonyum arıtılmalıdır. Geribasım, arıtmadan sonra uygulanmalıdır. Jeotermal kökenli akışkan üretimi sağlanan Mermer biriminin reenjeksiyona uygunluğu ve fiziksel parametreleri Bölüm 4.3'te detaylandırılmıştır.

5.4 Deniz Suyu Girişimi

Özellikle alüvyon ile dolmuş olan kıyı bölgelerinde, deniz suyu; yeraltı suyu ve yüzey sularıyla etkileşime girebilmektedir. Sıkça rastlanan bu sorun, yeraltı su kimyasını değiştirerek suların; içme amaçlı tüketilemez, tarımsal amaçlı kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Deniz suyu sodyum klorürce zengin fasiyes oluşumunu yansıtmaktadır. Tuzlu su girişimi nedeniyle artış gösteren çözünmüş madde miktarının, sodyum ile 1 ve klorür ile 0.99 katsayısına sahip çok kuvvetli bağıntı (korelasyon) bulunmaktadır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 Toplam çözünmüş madde ile sodyum ve klorür ilişkisi

Suların kimyasal bileşimleri arasındaki oranlar kıyı bölgesinde meydana gelen tuzlu su girişiminin değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Deniz suyu girişiminin teorik yüzdesi, klorür (Cl^-) üzerinden yapılan hesaplarla ön görülebilmektedir. Klorür, fiziksel ve kimyasal açıdan yeniden etkin olmayan parametrelerden birisi olması nedeniyle tercih nedenidir.

Söke Ovası gibi sahil ile sınırı olan havzalarda tatlı sularda beliren yüksek klorürün nedeni, deniz suyu girişimi dışında deniz suyu buharlaşması sonucunda klorürce zengin tozların rüzgar aracılığıyla ovaya taşınarak yağması ve toprak yüzeyinde biriken tuzun yağış suyu ile yeraltı suyuna karışması, magma kaynaklı Cl_2 gazının yüzeye yaklaştığı bölgelerde akiferle bütünleşmesi de olabilir. Bu tez çalışması kapsamındaki yaklaşımlarda ve hesaplamalarda tüm çözünmüş fazla klorür (Cl^-) içeriğinin denizden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Deniz suyu karışım yüzdesi aşağıda ifade edilen denklemle hesaplanmıştır:

$$f_{\text{Deniz}} = \frac{C_{\text{Cl(Örnek)}} - C_{\text{Cl(İçme suyu)}}}{C_{\text{Cl(Deniz)}} - C_{\text{Cl(İçme suyu)}}} * 100 \quad (5.10)$$

Hesaplamalarda içme suyu klorür derişimini temsil eden $C_{Cl(\text{içme suyu})}$ için kıyıda en uzak noktalardaki Gnays biriminden üretim üretim sağlanan ve 16 mg/L klorür derişimi ile en düşük değere sahip olan SK-41 örneği seçilmiştir. $C_{Cl(\text{Deniz})}$, deniz suyu örneğinin klorür derişimini ifade etmektedir ve SK-63 örnek noktası ile temsil edilmekte olup 24.747 mg/L olarak hesaplanmıştır. $C_{Cl(\text{Örnek})}$ ise her örneğin klorür konsantrasyonunu belirtmektedir.



Tablo 5.16 Suların nokta tipi, akifer-su noktası, deniz suyu karışım yüzdesi, fasiyes tipi

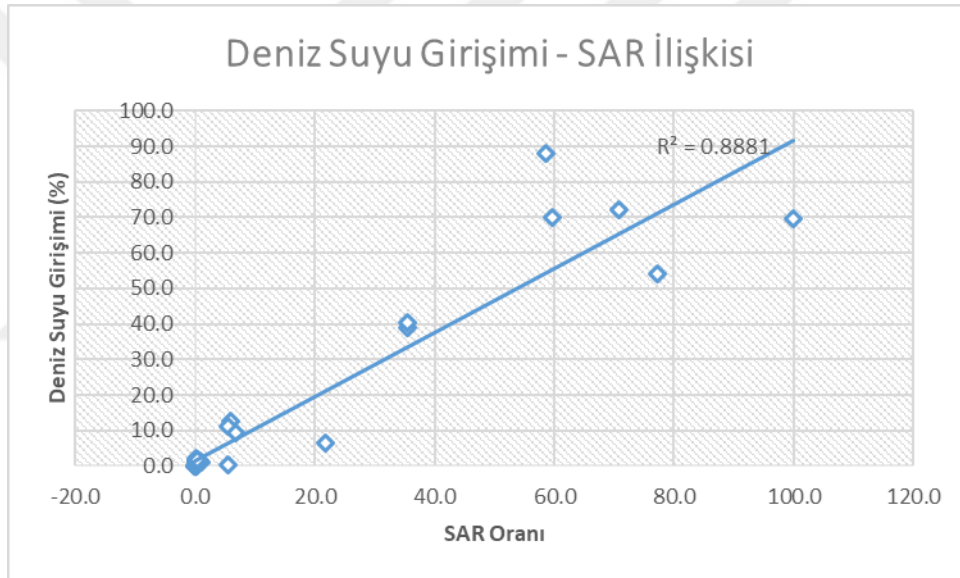
NU	Nokta Tipi	Akifer - Su Noktası	Girişim (%)	Fasiyes Tipi	
				IAH'a Göre	Back'e Göre
SK-1	Jeotermal Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	77,3	Na-Cl	Na-Cl
SK-3	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,6	Mg-Ca-HCO ₃ -Cl	HCO ₃
SK-6	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,2	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-8	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	0,1	Mg-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃	Mg
SK-9	Yüzey	Sulama Kanalı (Kış)	0,4	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄	HCO ₃
SK-10	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-11	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,1	Mg-HCO ₃	Mg-HCO ₃
SK-12	Kuyu	Söke Su Deposu (Mermer)	0,1	Mg-Na-HCO ₃	Mg-HCO ₃
SK-16	Yağmur Suyu	Yağmur Suyu	0,0	Ca-Mg-SO ₄	Ca-SO ₄
SK-17	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Ca-HCO ₃
SK-18	Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-21	Yüzey	Dalyan Kanalı	21,7	Mg-Na-Ca-Cl	Cl
SK-23	Yüzey	Menderes Nehri Havza Çıkışı	6,0	Na-K-Cl	Cl
SK-26	Kuyu	Gölsel Karbonat	0,1	Na-Ca-Mg-HCO ₃	HCO ₃
SK-29	Kuyu	Gölsel Karbonat	0,3	Mg-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-30	Kaynak	Gölsel Karbonat	0,2	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-31	Jeotermal Kuyu	Gölsel Karbonat	1,1	Mg-Ca-Cl-HCO ₃	Mg
SK-32	Jeotermal Kaynak	Menderes Masifi Mermerleri	58,6	Na-Cl	Na-Cl
SK-36	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	70,7	Na-Cl	Na-Cl
SK-37*	Jeotermal Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	35,4	Na-Cl	Na-Cl
SK-38	Yüzey	Balık Çiftliği Bekletme Havuzu	59,6	Na-Cl	Na-Cl
SK-39	Jeotermal Kuyu	Alüvyon	5,5	Ca-Mg-Cl	Ca-Cl
SK-41	Kuyu	Gnays	0,0	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-43	Kuyu	Alüvyon	0,2	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-44	Kuyu	Alüvyon	0,2	Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Ca
SK-45	Kuyu	Alüvyon	0,1	Ca-Mg-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-46	Yüzey	Azap Gölü	0,3	Mg-HCO ₃ -Cl	Mg-HCO ₃
SK-47	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,0	Ca-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Ca
SK-48	Yüzey	Gölet	5,6	Na-Mg-Cl	Na-Cl
SK-51	Kuyu	Alüvyon	0,1	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
SK-52	Kuyu	Alüvyon	0,1	Mg-Ca-Na-HCO ₃	HCO ₃
SK-53	Kuyu	Alüvyon	0,1	Na-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Karışık
SK-54	Yüzey	Menderes Nehri Havza Girişi	0,7	Mg-SO ₄ -Cl	Mg
SK-55**	Yüzey	Bafa Gölü	35,4	Na-Cl	Na-Cl
SK-56	Yüzey	Serçin Gölü	6,8	Na-Mg-Cl	Na-Cl
SK-59	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,2	Ca-Mg-HCO ₃	HCO ₃
SK-60	Yüzey	Dere	0,1	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃	SO ₄
SK-61	Kuyu	Menderes Masifi Mermerleri	0,2	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	HCO ₃
SK-62	Yüzey	Sulama Kanalı (Bahar)	0,4	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Karışık
SK-63***	Deniz Suyu	Deniz Suyu	100,0	Na-Cl	Na-Cl

* (Tarcan, 2013), ** (Tarcan vd., 2007), *** (Gemici ve Somay, 2012)

40 örneğin deniz suyu karışım yüzdesi incelenecek olursa % 77,3'lük oranla en yüksek değer SK-1 jeotermal kökenli sıcak su kaynağında belirmektedir. Deniz suyu karışım oranı; içme amaçlı kullanılan tatlı sularda ortalama % 0,2'dir. Havza genelinde jeotermal akışkan karışımı ve deniz suyu girişimi kaynaklı tuzlanma baskısı bulunmaktadır (Tablo 5.16).

Tuzlu su girişimi olmayan kuyular Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan kuzeyde SK-10 ve gúneyde SK-47 kuyuları ile yóre halkı tarafından içme amaçlı tüketilen Asırlık çeşme (SK-17) ve Bitli çeşme (SK-18) kaynaklarıdır. Bu kuyu ve kaynaklardan alúvyona çok yakın noktada yer almasına rağmen 20 kilometre kadar kıyı içinde yer almaktadır.

Deniz suyu girişimi sonucu yeraltı sularında meydana gelen tuzlanma, suların içme ve tarımsal amaçlı kullanım niteliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Sulama suyu kalite parametresi sodyum absorbsiyon oranı (SAR) ile deniz suyu karışım yüzdesi arasındaki bağıntı (r) incelenecek olursa 0,93 olarak bulunur (şekil 5.29).



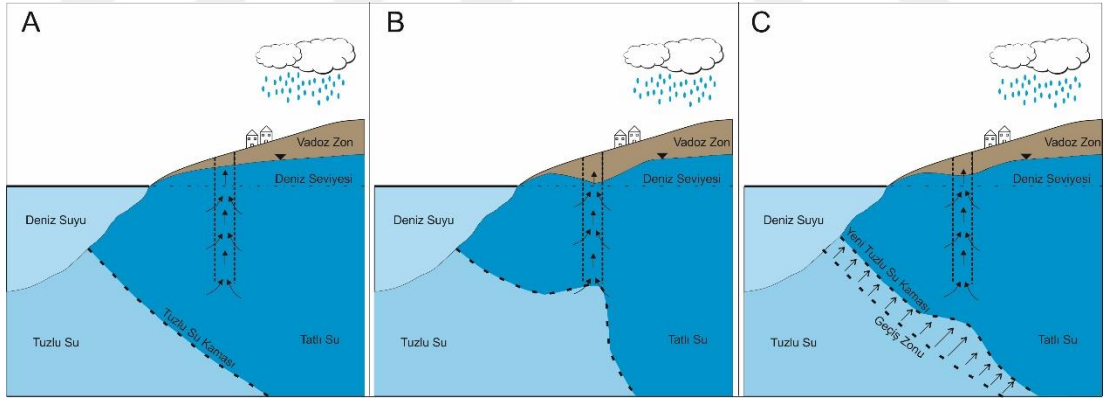
şekil 5.29 Deniz suyu karışım yüzdesi ile SAR arasındaki bağıntı

SAR oranı ile tuzlu su girişimi arasında 0,94 çok kuvvetli bağıntı dikkat çekmektedir. Suların fasiyes tipi incelendiğinde deniz suyu karışımı oranının yüksek olduğu suların sodyum klorürce zengin su olduğu göze çarpmaktadır. Söke Ovası'nda dikkat çeken jeotermal kökenli SK-1, SK-32 sıcak su kaynaklarına sırasıyla %77,3, %58,6 oranında tuzlu su karışmaktadır.

Söke Ovası'nda kuzey ve gúneyde mermerlere yakın olmak üzere alúvyon boyunca yaklaşık 20-30 metre arasında değişen sığ kuyular bulunmaktadır. Bu kuyulardan içme amaçlı yeraltı suyu üretilmektedir. Alúvyonun ortasında açılan kuyular tuzlanma

nedeniyle terk edilerek sulama amaçlı kuyu suyu üretiminden vazgeçilmiştir. İdare tarafından Büyük Menderes Nehri'nin kuzey kolu kurutularak yatak boyunca sulama kanalı kurulmuştur. Söke girişinde yer alan regülatör aracılığıyla tarım suyuna ihtiyaç olan dönemlerde Büyük Menderes Nehri suları havzaya tahliye edilmektedir. Toprak jeokimyası Bölüm 7'de görüldüğü üzere Söke Ovası topraklarında ağır metal birikimi söz konusudur. Kış aylarında yağışlı dönemde toprağın yıkanması, yeraltı suyu tuzluluğunu arttıran etkidir. Ayrıca, sulama amaçlı yoğun çekimin ardından meydana gelen deniz suyu girişi havza genelinde kayıt dışı (kaçak) kuyular nedeniyle devam etmektedir.

Söke Ovası'nda su tablasına uzaklık 0 ile 15 metre arasında değişmektedir. Vadoz zon görece olarak incedir. Aşırı yeraltı suyu çekimi (pompaj) nedeniyle, tatlı su – tuzlu su arasında yoğunluk farkından dolayı karışmama durumunu açıklayan ve geçiş zonu olarak kabul edilen tuzlu su kaması teorik eğriden uzaklaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı tuzlu su, tatlı su akiferini kullanıma uygun olmayan hale dönüştürmektedir (Şekil 5.30). Tuzlu su girişi ovanın iç kesimlerine kadar uzanmaktadır (Şekil 5.31).



Şekil 5.30 Söke Ovası aşırı çekim sonucu deniz suyu girişi kavramsal modeli

Söke Ovası Karina – Atburgazı'na kadar olan bölgede gözlenen Doğu – Batı uzanımlı fay hattı boyunca deniz suyu girişiminden kaynaklanan tuzlanma sorunu vardır. Güneyde denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan alanda Akköy Fayı ile denetlenen deniz suyu girişi gerçekleşmektedir. Faya yakın noktada mermer biriminden üretim sağlanan SK-38 kuyusu ile alüvyon – mermer dokanağına yakın Alüvyon biriminden üretim sağlanan SK-37 kuyusu arasındaki deniz suyu girişi

farkı dikkat çekmektedir. İki kuyu birbirine 500 metre uzaklıkta olmasına rağmen kimyasal nitelikleri farklıdır. Faydan uzaklaştıkça deniz suyu girişimi etkisi azalmaktadır. Gölsele Karbonat olarak tanımlanan birimde SK-26, SK-29 kuyu sularında killi düzeylerin akiferi deniz suyu girişiminden koruması nedeniyle girişim yüzdesi düşüktür. Ova genelinde tuzlu su girişimi faylarla kontrol edilmektedir. Şekil 5.31’de jeoloji haritasına yeraltı sularının örnekleme numaraları ve arazi ölçüm sıcaklıkları işaretlenmiştir. Alüvyonel akiferi ve karstik akiferi kapsayan alanda, yeraltı sularının deniz suyu girişim yüzde değerleri üzerinden kriging enterpolasyon yöntemi uygulanarak dağılım haritası oluşturulmuştur.



SK-32, Tuzburgazı ile Doğanbey arasında mermerden yüzeylenerek lagünü boşalan 26.1°C sıcaklığa sahip jeotermal kökenli yeraltı su kaynağıdır. Yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip suya, deniz suyu katkısı %58,6 olarak hesaplanmıştır. % 41,4 oranda jeotermal kökenli su ve % 58,6 oranda deniz suyu, ısı alışverişi sonunda son sıcaklığı 26,1°C olarak yüzeylenmektedir. Bilinenlerle aşağıda ifade edilen eşitlik aracılığıyla dolaşımdaki jeotermal suyun en düşük sıcaklığı 38.27 °C olarak hesaplanmıştır.

$$a \text{ } ^\circ\text{C} \times \% 41.4 + 17.5^\circ\text{C} \times \% 58.6 = 26.10^\circ\text{C} \times \% 100 \quad (5.11)$$

SK-36, Bafa Gölü yakınındaki balık çiftliğinde mermerlerden üretim sağlanan jeotermal kökenli sudur. SK-32 kaynağıyla aynı akiferden olduğu ön görülen yeraltı suyunda hem alüvyondan hem de Akbük körfezi boyunca mermerlerden deniz suyu girişimi meydana gelmektedir. Deniz suyu katkısının %70,7 olarak hesaplanmıştır. Kapalı sistemde toplam ısı enerjisi sabit olacağı ön koşuluyla jeotermal kökenli suyun sıcaklığını tahmin etmek için benzer işlem burada da uygulanmıştır. Kuyuların mevcut derinliğinin 50-100 metre arasında değişmesi de göz önünde bulundurularak işlemlerde kayalardan ısı iletimi göz ardı edilip iki sıvının yeraltında salt olarak karıştığı ön görülmektedir. Bu yöntem ile SK-36 kuyusundan üretim sağlanan jeotermal kökenli suyun sıcaklığının en az 45,14 °C olduğu tahmin edilmektedir.

$$a \text{ } ^\circ\text{C} \times \% 29.3 + 17.5^\circ\text{C} \times \% 70.7 = 25.6 \text{ } ^\circ\text{C} \times \% 100 \quad (5.12)$$

Söke Ovası'nda geçmişte bu yana tarımsal üretim devam etmekte olup sürdürülebilir olması hedeflenmelidir. Alüvyonda süzülme nedenli gelişen tuzlanma, bölge halkının geçim kaynağı olan tarımsal üretimi tehdit etmektedir. Yörenin diğer geçim kaynağı ise Bafa Gölü ve civarında yapılan balıkçılık etkinliğidir. Bafa Gölü civarındaki mermerlerden üretim sağlanan fay hattı boyunca deniz suyu girişimi etkisindeki jeotermal kökenli su ile balık üretimi gerçekleştirilmektedir. Yüksek kapasiteye sahip çiftliklerde yılda toplam 100 bin tonun üzerinde çipura, levrek ve alabalık üretilmektedir. Özellikle Serçin yöre halkının çoğu bu tesislerde istihdam edilmektedir. Balık üretim tesislerinin atık sularını, yüzey sularıyla uzaklaştırması

Dalyan Kanalı'nın Bafa Gölü'ne tahliye edildiği dönemlerde Bafa Gölü tuzluluğunu arttırmakta, Büyük Menderes Nehri'ne tahliye edildiğinde ise Nehir suyunu tuzlandırmaktadır.

Büyük Menderes Nehri'nin Serçin Prizi'nden göle verildiği Serçin Gölü'nde (SK-56) tuzluluk % 6,8 ve Bafa Gölü'nde (SK-55) tuzluluk % 35,4 olarak hesaplanmıştır. Bafa Gölü, M.Ö. 4. Yüzyıla kadar Ege Denizi'nin iç körfezi konumundayken Büyük Menderes Nehri'nin taşıyıp yığıldığı alüvyonlar sonucu denizle bağlantısı kesilerek lagünel kökenli göle dönüşmüştür. Alüvyon biriminin altında mermer birimi ve bazı yerlerde Neojen karasal tortulları devam etmektedir. Alüvyon üzerinden yapılan sondajlarda 10-40 metre ardından mermer birimine girilmektedir. Bafa Gölü oluşumu itibariyle geçmiş yüzyıllardan 20. Yüzyıl sonuna kadar deniz suyuna yakın tuzluluktadır. Bafa Gölü'nde 'tuzluluk' bir sorun değildir ve jeolojik süreçlerle oluşan tuzlu su gölüdür. Tuzluluk, balık üretim tesislerinde olduğu gibi Bafa Gölü'nün balık verimini arttıracaktır.

İdarenin Bafa Gölü'nde yaşamın devamlılığı için tasarladığı ve hayata geçirdiği mühendislik çalışmalarına Bölüm 5.3.3'te detaylı olarak ifade edilmiştir. Balık çiftliğinde üretimi sağlanan jeotermal akışkan (SK-32), Akköy Fayı boyunca tuzlu su girişimi olmasından dolayı yüksek çözünmüş madde ve elektriksel iletkenlik (EC) değerine sahiptir. Fay ile denetlenen tuzlu su girişimi Bafa Gölü'ne dek devam etmektedir.

İnsan etkinliğiyle artış gösteren yeraltı su çekimi, alüvyondaki tuzlu su girişimini arttırmakta; içme ve sulama amaçlı kullanılan yeraltı - yüzey sularını tüketime uygun olmayan hale getirmektedir. Çözüm olarak ilk aşamada Söke Ovası'ndaki yeraltı su çekimleri kontrol altına alınmalıdır. Kıyıya paralel olarak açılacak kuyulardan, denize boşalan sulama kanalı suları yeraltına geri basım yapılarak tuzlu suyun itilerek ovadan uzaklaştırılması sağlanabilir. Söke Ovası'nın iç kesimlerine kadar ulaşan tuzlu su girişimi, toprağı alkali hale getirmektedir. Tarımsal üretimi baltalamamak ve sık sondajlarla tatlı su üretimine devam edebilmek için kıyı şeridinde yeraltı bariyerleri inşa edilmesi de uygulanabilecek diğer çözüm yöntemidir. Kuzeybatı da Karina –

Atburgazı sınırı boyunca gözlenen Doğu – Batı uzanımlı Söke Fayı, güneyde denizden Bafa Gölü’ne kadar uzanan Akköy Fayı ile denetlenen tuzlu su girişimi nedeniyle faya yakın noktalarda sulama ya da içme suyu amaçlı kuyu açılmamalıdır.



BÖLÜM ALTI

JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Jeotermal akışkanlar, temas halinde olduğu jeolojik oluşumlardan çeşitli kimyasalları çözerek dolaşımına devam ederler. Kimyasal farklılığın çoğu büyük ölçüde bu kayaçları kimyasına, akiferin beslenmesine ve magmatik ve/veya metamorfik kayaçlardan gaz katkısına bağlıdır. Farklılığa neden olan değişkenler başlıca, çözünen gazlar ya da takas edilen iyonlar olabilir. Çoğu jeotermometre, kimyasal denge reaksiyonlarına dayanmaktadır. Jeotermometre uygulaması, yeraltı sularında çözülmüş madde içeriğine karşılık gelen belirli denge sabiti üzerinden yapılan hesaplamalarla hazne kaya sıcaklığının tahmin edildiği kimyasal eşitlikler bütünüdür. En önemli jeotermometreler, su - kayaç iyon değişimine bağlı gelişen kation jeotermometreleri (Na/K oranı, Na-K-Ca) ve çözünürlüğe bağlı jeotermometrelerden silika (kuvars ve kalsedon) jeotermometreleridir. Diğer eşitlikler denge oranı ve denge sağlanmamış olan suların kimyasına dayanmaktadır (Arnorsson ve Svavarsson, 1985).

6.1 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulaması

Yeraltı sularının hazne kayaçtaki rezervuar sıcaklığının bulunması ve suların temas halinde olduğu akifer birimiyle olan kimyasal denge durumlarının belirlenebilmesi için Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen üçgen diyagram kullanılmaktadır. Üçgen diyagramda suyun konumunun bulunması için %Na, %Mg ve %K değerlerinin bulunması gerekir (Tablo 6.1). Öncelikle işlemlerde kullanılacak değişken olan S parametresinin hesaplanması gerekir. İlgili eşitlikler aşağıda ifade edilmiştir. Yapılan işlemlerde değerler mg/L'dir.

$$S = \frac{Na}{1000} + \frac{K}{100} + (Mg)^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

$$\%Na = \frac{Na}{10S} \quad (6.2)$$

$$\%Mg = \frac{100 (Mg)^{1/2}}{S} \quad (6.3)$$

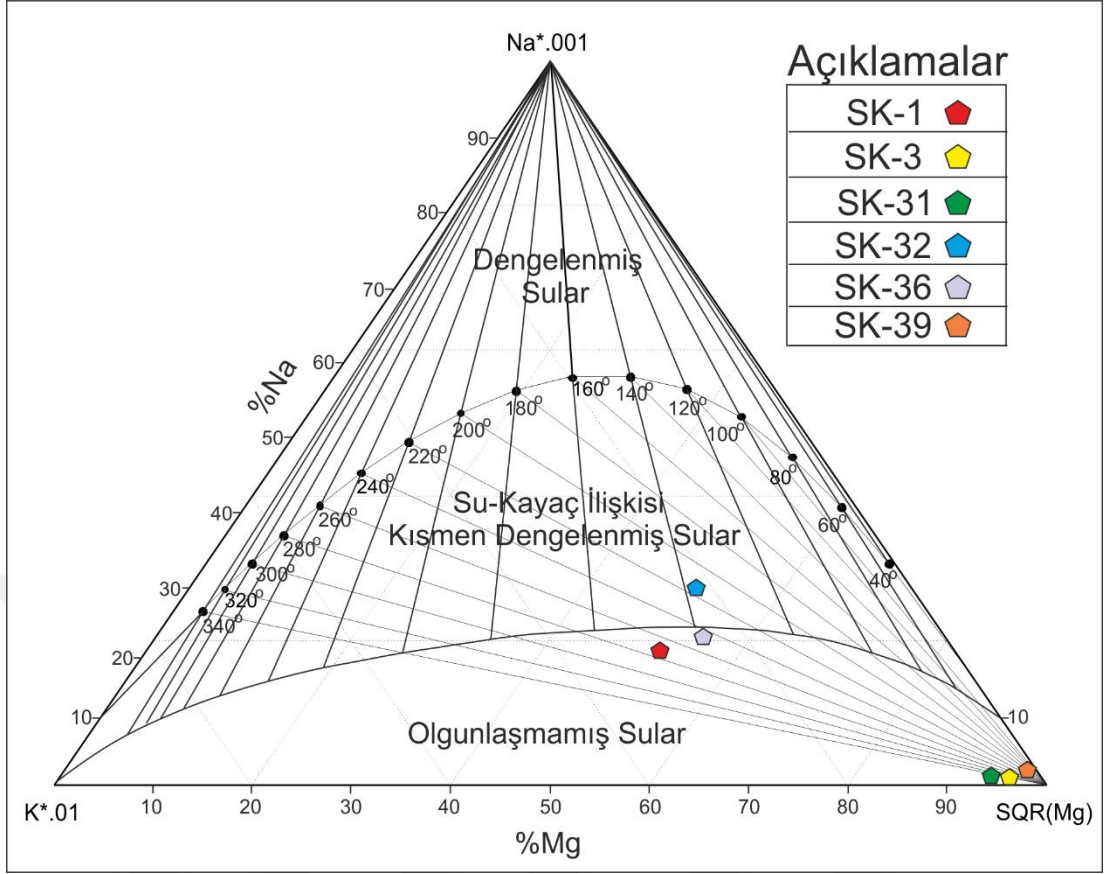
$$\%K = \% 100 - (\%Mg + \%Na) \quad (6.4)$$

Üçgen diyagram suların denge durumunu belirtmekte olup 3 farklı gruba ayırmaktadır. Yeraltı sularının kayaç-su denge durumunun bilinmesi katyon jeotermometre uygulamasının geçerliliği hakkında bilgi vermektedir. Olgunlaşmamış su sınıfına düşen yeraltı suları, katyon jeotermometre uygulaması sonuçlarına şüpheyile yaklaşılmaması gereken sulardır. Su-Kayaç ilişkisi dengelenmiş sular, doğru sonuca en yakın değeri verecek olan noktalardır. Çalışma kapsamında kış örneklemesinde 20°C üzerinde sıcaklığa sahip olan yeraltı sularından SK-1, SK-3, SK-31, SK-32, SK-36 ve SK-39 Giggenbach (1988) diyagramına işlenmiştir.

Tablo 6.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı için kullanılan değişkenlerin sonuçları

NU	Giggenbach Diyagramı			
	S	%Na	%Mg	%K
SK-1	53,44	21,27	61,96	16,8
SK-3	8,61	0,67	96,47	2,9
SK-31	11,67	0,56	95,94	3,5
SK-32	38,13	29,55	64,25	6,2
SK-36	41,74	24,57	65,90	9,5
SK-39	16,20	0,20	98,83	1,0

Kuzey mermerlerinden yüzeylenen SK-32 kaynağı kısmen dengelenmiş sular sınıfına girmektedir. Bafa Gölü güneyinde yer alan mermerlerden üretim sağlanan SK-36 kuyusu ve kuzeyde Mermer biriminden denize boşalan SK-1 kaynağı ise kısmen dengelenmiş su sınıfında olmasa da yakındır. SK-3, SK-31, SK-39 kuyuları jeotermometre sonuçlarına şüpheyile bakılması gereken yeraltı sularıdır (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Jeotermal kökenli yeraltı sularının Giggenbach Üçgen Diyagramı'nda gösterimi (Giggenbach, 1988)

6.2 Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Kimyasal jeotermometreler, yüzeylenen ya da kuyulardan üretim sağlanan suların hazne (rezervuar) kayadaki sıcaklığını tahmin etmek amaçlı kullanılan yöntemleri içermektedir. Jeotermal akışkan göstergesi olan minör elementler yorumlanarak ya da majör elementlerin dengede olma durumlarına göre geliştirilen formüller aracılığıyla kısa ve basit şekilde hesaplanarak uygulanabilir. Niteliksel ve niceliksel kimyasal jeotermometre olmak üzere 2 alt başlıkta incelenmiştir.

6.2.1 Niteliksel Kimyasal Jeotermometre Değerlendirmesi

Bu yöntemde jeotermal kökenli sular, magmatik ya da metamorfik kökenli gazların sudaki çözünmüş madde miktarına ya da akışkanda çözünmüş majör iyonların oranlarına bakılarak değerlendirilir.

Akiferin haznedeki sıcaklığını tahmin etmekte kullanılan en önemli majör element silisyum (Si) olmakla beraber jeotermal sistemlerde kabuklaşma sorununa yol açmasıyla bilinmektedir. 180 °C’de başlayan silis çökmesi, sıcaklık düşüşüyle artarak devam eder. Klorür miktarı az olan asitli sular 100 °C’ye yaklaştıkça kayaçtaki silikatları bozundurarak amorf silis açısından zengin hale getirir. Çalışma alanındaki sulardaki SiO₂ ortalaması 39 ppm olup en düşük değer 2 ppm en yüksek değer 92 ppm olarak ölçülmüştür. Jeotermal kökenli su-kayaç ilişkisi kısmen dengelenmiş sular (SK-1, SK-32, SK-36) örneklerinin silis miktarı sırasıyla 65, 39, 50 ppm olarak ölçülmüştür. Soğuk yeraltı sularıyla karşılaştırılacak olursa herhangi jeotermal belirleyici duruma işaret etmemektedir. Silisyumdioksit (SiO₂) dışında Bor (B), Lityum (Li), Rubidyum (Rb), Sezyum (Cs), Arsenik (As) gibi elementlerin birinin ya da birkaçının suda fazla bulunması da yüksek hazne sıcaklığını işaret etmektedir.

Tablo 6.2 Sıcak suların silisyum, bor, arsenik, lityum, rubidyum, sezyum içerikleri

NU	ppm		ppb			
	Si	B	As	Li	Rb	Cs
SK-1	6,5	25,73	507,2	156,1	175,9	<0.001
SK-3	4,7	2,39	0,4	3,9	2,1	<0.001
SK-31	6,8	2,58	77,8	90,3	21,3	<0.001
SK-32	3,9	20,14	471,9	160,8	123,6	<0.001
SK-36	5,0	20,94	498,2	183,7	138,2	<0.001
SK-39	6,7	2,44	119,9	14,6	2,5	<0.001

Çalışma alanındaki en düşük bor değeri 0,03 mg/L, ortalama ise 3,4 mg/L’dir. Kış örneklemeinde 20 °C üzerinden sıcaklık ölçülen sular değerlendirilecek olursa bor içeriği ortalamanın çok üzerindedir. SK-1 örneği 25,73 mg/L, SK-32 20,14 mg/L, SK-36 ise 20,94 ppm (mg/L) bor içermesiyle dikkat çekmektedir. Alandaki diğer 20 °C

üzerindeki sıcaklığa sahip diğer örneklerin SK-3, SK-31, SK-39 bor bollukları sırasıyla 2.39, 2.58, 2.44 ppm'dir.

Söke Grabeni'nde örneklenen sular en düşük 0,3 ppb ($\mu\text{g/L}$), en yüksek 507,2 ppb değerinde arsenik içermektedir. Su-kayaç ilişkisini kısmen tamamlamış olan sular SK-1 507,2 ppb, SK-32 471,9 ppb, SK-36 ise 498,2 ppb çözünmüş arsenik içeriğiyle ova geneline kıyasla çok yüksek miktarda arsenik içermektedir. SK-31 ve SK-39 kuyuları sırasıyla 77,8 ppb ve 119,9 ppb arsenik içermektedir.

Yeraltı sularının *lityum* (Li) içeriği incelenecek olursa en düşük değer 0,72 ppb iken en yüksek değer 242 ppb'dir. SK-1 156,1 ppb iken SK-32 160,8 ppb ve SK-36 183,7 ppb lityum içermektedir.

Yeraltı sularının *Rubidyum* (Rb) içeriği incelenecek olursa en düşük 0,38 ppb, en yüksek 175,9 ppb'dir. Ortalaması 23,32 ppb rubidyum içeren sularda en yüksek değerler SK-1, SK-31, SK-36 kuyularında görünmekte olup sırasıyla 175,9 ppb, 21,3 ppb, 138,2 ppb rubidyum içeriğine sahiptir. *Sezyum* (Cs) içeriği çok düşük olup herhangi belirleyici olarak tanımlanamamaktadır (Tablo 6.2).

6.2.2 Niceliksel Kimyasal Jeotermometre Değerlendirmesi

Jeotermal kökenli olduğu öngörülen suların rezervuar sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan bir diğer kullanışlı yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Bazı varsayımlar yapıldığı takdirde geçerliliği vardır. Bu varsayımlar:

- Sıcak sulardaki çözünmüş madde içeriğindeki kimyasal süreçler, akifer-su arasında meydana gelmektedir.
- Kimyasal tepkimelerin ham maddeleri rezervuar kayadan karşılanmakta ve bolca bulunmaktadır.
- Hazne kayaçtaki sularda kayaç-su etkileşimi dengeye ulaşmıştır.
- Hazne kayaçtan yüzeye doğru ilerleyen sıcak suyun, soğuma esnasında kimyasal dengesi değişmez.

- Hazne kayaçta gelen sıcak sular, soğuk yeraltı suları veya yüzey sularıyla karışma durumu söz konusu değildir.

Bu varsayımlardan ilk ikisi SiO_2 ve Na-K-Ca jeotermometre uygulamalarında kabul edilmektedir. Son üç varsayımın gerçek olması olası değildir çünkü soğuma esnasında suyun dengesi değişecek ve yeni kimyasal denge oluşacaktır. Ayrıca suların karışmaması pek olası değildir. Çalışma alanında deniz suyu girişimi bu varsayımı geçersiz kılmaktadır (Tarcan, 2002).

6.2.2.1 Katyon Jeotermometre Uygulamaları

Bu yöntemde, sulardaki sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), lityum (Li) gibi çözünmüş maddelerin iyon değişimine bağlı olarak yapılan hesaplamalarla rezervuar sıcaklığı için tahmin yürütülmektedir. Katyon jeotermometre uygulamaları 180°C ile 350 °C arası sıcaklıktaki akiferden gelen sularda daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışma kapsamında farklı kaynaklardan 12 adet katyon jeotermometresi derlenmiştir (Tablo 6.3).

Tablo 6.3 Çalışma kapsamında uygulanan katyon jeotermometrelerinin türü, kullanım aralığı, formülü, birimi ve kaynağı

İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler					
Katyon Jeotermometresi					
Nu	Tür	Aralık	Formül	Birim	Kaynak
1	Na-K	-	$908 / (0.692 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mol/L	Fournier, 1979
2	Na-K	100°C - 275°C	$(855.6) / (0.857 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Truesdell, 1976
3	Na-K	> 150°C	$883 / (0.78 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Tonani, 1980
4	Na-K	25°C - 250°C	$933 / (0.993 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Arnorsson vd., 1983
5	Na-K	250°C - 350°C	$1319 / (1.699 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Arnorsson vd., 1983
6	Na-K	> 150°C	$1217 / (1.483 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1979
7	Na-K	> 150°C	$1178 / (1.47 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Nieva ve Nieva, 1987
8	Na-K	> 180°C	$1390 / (1.75 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Giggenbach, 1988
9	Na-K	-	$777 / (0.7 + \text{LOG}(\text{Na/K})) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
10	Na-K	0°C - 350°C	$733.6 - 770.55 \cdot \text{LOG}(\text{Na/K}) + 378.189 \cdot \text{LOG}(\text{Na/K})^2 - 95.753 \cdot \text{LOG}(\text{Na/K})^3 + 9.544 \cdot \text{LOG}(\text{Na/K})^4$	mol/L	Arnorsson, 2000b
11	Na-K-Ca	0°C - 300°C	$\ast > 100 \text{ ise } 1647 / ((\text{LOG}(\text{Na/K})) + (1/3) \cdot (\text{LOG}((\text{KAREKÖK}(\text{Ca/Na}) + 2.06)) + 2.47)) - 273.15$	mmol/L	Fournier ve Truesdell, 1973
11	Na-K-Ca	0°C - 300°C	$\ast < 100 \text{ ise } : (1647 / ((\text{LOG}(\text{Na/K})) + (4/3) \cdot (\text{LOG}((\text{KAREKÖK}(\text{Ca/Na}) + 2.06)) + 2.47)) - 273.15))$	mmol/L	Fournier ve Truesdell, 1973
12	K-Mg	-	$4410 / (13.95 - \text{LOG}(\text{K}^2/\text{Mg})) - 273.15$	mg/L	Giggenbach, 1988

*: $(1647 / ((\text{LOG}(\text{Na/K})) + \text{Ca} \cdot (\text{LOG}((\text{KAREKÖK}(\text{Ca/Na}) + 2.06)) + 2.47)) - 273.15)) > 100$

Tablo 6.4 Yeraltı sularına uygulanan katyon jeotermometre sonuçları

NU	KATYON JEOTERMOMETRE UYGULAMASI											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SK-1	175,1	163,3	195,7	171,9	197,5	197,4	184,6	214,0	157,7	181,7	116,6	124,7
SK-3	431,8	426,7	497,7	413,6	365,7	385,2	368,6	383,9	456,1	389,6	240,3	66,0
SK-31	533,9	534,3	625,5	507,2	420,5	448,9	431,1	438,7	587,7	463,4	269,0	70,7
SK-32	76,0	64,3	86,0	76,1	117,4	111,8	101,0	132,3	53,6	101,5	70,1	94,9
SK-36	115,9	104,1	129,8	114,9	150,9	147,3	135,7	166,5	94,9	133,5	90,3	106,1
SK-39	458,3	454,5	530,4	438,1	380,5	402,3	385,4	398,7	489,5	409,4	149,9	42,5

Öncelikle su-kayaç dengesi kısmen dengelenmiş 1 adet kaynak (SK-32) ve kısmen dengeye yakın noktalardaki kaynak (SK-1) ve kuyu (SK-36) örneği sonuçları değerlendirilmiştir. Bu 3 yeraltı suyu Menderes Masifi Mermerleri'nden üretilmektedir. Aynı akiferden üretim sağlanan SK-1, SK-32, SK-36 örnekleri için en düşük rezervuar sıcaklıkları sırasıyla 116.6 °C, 53.6 °C, 90.3 °C olarak bulunmuştur. En yüksek değerler sırasıyla 214 °C, 220 °C, 221 °C olarak bulunmuştur. Su-kayaç ilişkisi kısmen dengelenmiş sular sınıfına düşen 3 yeraltı suyu örneği üzerinden durulmuştur. Katyon jeotermometre uygulamaları 180 °C – 350 °C arası sıcaklıktaki akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir. Geçerli sıcaklık aralığının yüksek olması göz önünde bulundurulmalıdır.

SK-1 kaynağına yakın noktada kuyudan üretim sağlanan SK-3 kuyusu, Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan SK-31 kuyusu ile alüvyonda açılmış 30 metrelik SK-39 kuyuları kış örneklemede 20°C üzerinde olmasına rağmen olgunlaşmamış sular olarak tanımlanmıştır. Bu 3 örnek için sonuçlar çok değişken olup ortalama rezervuar sıcaklığı SK-3 için 368.8 °C, SK-31 için 444.3 °C, SK-39 için 378.3 °C bulunmuştur.

6.2.2.2 Silis Jeotermometre Uygulamaları

Bu yöntemde, SiO₂ içeriği üzerinden yapılan hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ve kullanım aralığı Tablo 6.5'de verilmiştir. Silis jeotermometreleri, katyona kıyasla kullanım aralığı daha düşüktür.

Tablo 6.5 Jeotermal kökenli sulara uygulanan silis jeotermometre uygulamasının türü, kullanım aralığı ve kaynağı

Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler Silis Jeotermometresi					
Nu	Tür	Aralık	Formül	Birim	Kaynak
1	SiO ₂ (Amorf Silis)	25°C - 250°C	$731 / (4.52 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
2	SiO ₂ (Amorf Silis)	0 - 350	$-121.6 + (0.2694 * \text{SiO}_2) - 1.8101 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 + 7.5221 * 10^{-8} * (\text{SiO}_2)^3 + 55.114 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Gunnarsson ve Arnorsson, 2000
3	SiO ₂ (α Kristobalit)	-	$1000 / (4.78 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
4	SiO ₂ (β Kristobalit)	25°C - 250°C	$781 / (4.51 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
5	SiO ₂ (Morganit)	0°C - 200°C	$-30.7 + (0.5311 * \text{SiO}_2) + 1.2578 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 - 5.9241 * 10^{-7} * (\text{SiO}_2)^3 + 19.576 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Gislason vd., 1997
6	SiO ₂ (Kuars)	25°C - 250°C	$1309 / (5.19 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
7	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	25°C - 250°C	$1522 / (5.75 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
8	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	25°C - 250°C	$1021 / (4.69 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
9	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	25°C - 250°C	$1164 / (4.9 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
10	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	25°C - 250°C	$1498 / (5.7 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
11	SiO ₂ (Kuars)	0°C - 350°C	$-53.5 + (0.11236 * \text{SiO}_2) - 0.5559 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 + 0.1772 * 10^{-7} * (\text{SiO}_2)^3 + 74.36 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Fournier ve Potter, 1982
12	SiO ₂ (Kuars)	0°C - 350°C	$-55.3 + (0.3659 * \text{SiO}_2) - 5.3954 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 + 5.5132 * 10^{-7} * (\text{SiO}_2)^3 + 74.36 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Fournier ve Potter, 1982
13	SiO ₂ (Kuars)	0°C - 350°C	$-66.9 + (0.1378 * \text{SiO}_2) - 4.9727 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 + 1.0468 * 10^{-8} * (\text{SiO}_2)^3 + 87.841 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Arnorsson, 2000a
14	SiO ₂ (Kalsedon)	-	$1264 / (5.31 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
15	SiO ₂ (Kalsedon)	-	$(1101 / (0.11 - \text{LOG}(\text{SiO}_2 / 1000))) - 273.15$	mmol/L	Arnorsson ve diğer., 1983
16	SiO ₂ (Kalsedon)	0°C - 250°C	$1032 / (4.69 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Fournier, 1977
17	SiO ₂ (Kalsedon)	25°C - 900°C	$-42.2 + (0.28831 * \text{SiO}_2) - 3.6686 * 10^{-4} * (\text{SiO}_2)^2 + 3.1665 * 10^{-7} * (\text{SiO}_2)^3 + 77.034 * \text{LOG}(\text{SiO}_2)$	mg/L	Fournier ve Potter, 1982
18	SiO ₂ (Kalsedon)	25°C - 180°C	$1112 / (4.91 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Arnorsson ve diğer., 1983
19	SiO ₂ (Kuars)	-	$1175.7 / (4.88 - \text{LOG}(\text{SiO}_2)) - 273.15$	mg/L	Verma, 2001

Tablo 6.6 Jeotermal kökenli sulara uygulanan silis jeotermometre sonuçları

NU	1	2	3	4	5	6	7
SK-1	-56,8	-55,1	1,6	-41,4	-1,0	50,1	57,0
SK-3	-65,5	-63,8	-8,6	-50,7	-5,8	39,2	47,2
SK-31	-55,5	-53,7	3,2	-39,9	-0,2	51,8	58,5
SK-32	-70,1	-68,7	-14,1	-55,6	-8,3	33,4	42,0
SK-36	-64,0	-62,2	-6,8	-49,0	-5,0	41,2	49,0
SK-39	-55,8	-54,0	2,9	-40,2	-0,4	51,5	58,3
	8	9	10	11	12	13	14
SK-1	14,5	36,5	55,4	32,9	36,5	35,2	30,0
SK-3	3,5	25,3	45,5	21,9	24,6	22,3	20,1
SK-31	16,2	38,2	56,9	34,5	38,3	37,1	31,5
SK-32	-2,3	19,3	40,2	15,9	18,1	15,1	14,8
SK-36	5,5	27,3	47,3	24,0	26,8	24,7	21,9
SK-39	15,9	37,9	56,6	34,2	37,9	36,7	31,2
	15	16	17	18	19		
SK-1	20,6	17,6	49,6	21,8	41,3		
SK-3	9,9	6,5	37,6	11,2	29,8		
SK-31	22,2	19,3	51,4	23,5	43,0		
SK-32	4,3	0,6	31,1	5,6	23,8		
SK-36	11,9	8,5	39,8	13,1	31,9		
SK-39	21,9	19,0	51,0	23,2	42,7		

SK-1, SK-32, SK-36 jeotermal kökenli suları için silis jeotermometre uygulaması en yüksek sıcaklık sonuçları sırasıyla 57 °C, 42 °C, 49 °C olarak bulunmuştur (Tablo 6.6).

Tablo 6.7 Su-kayaç ilişkisi kısmen dengelenmiş SK-1, SK-32 kaynakları ve SK-36 kuyusunun Silis-kasyon jeotermometre uygulaması en değerleri

		Jeotermometre Sonuçları	
		Kasyon (°C)	Silis (°C)
SK-1, SK-32, SK-36 için en fazla ve en düşük değerler	Mak	214,0	57,0
	Min	53,6	-70,1

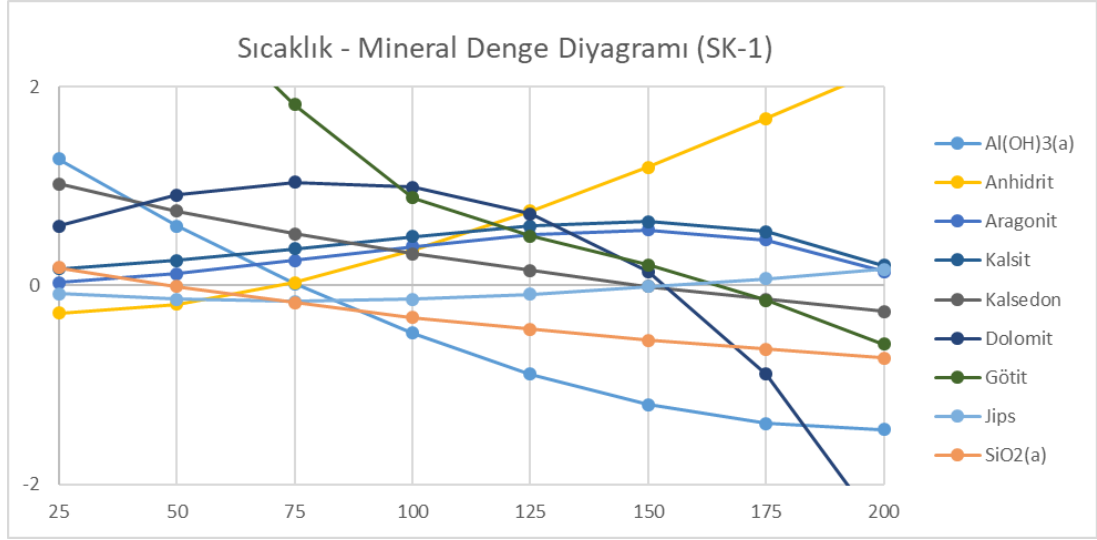
6.2.2.3 Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

Reed ve Spycher (1984), jeotermal sahalarda hazne kayadaki akifer sıcaklık öngörüsü için kimyasal simülasyonlar aracılığıyla elde edilen doygunluk değeri-sıcaklık üzerinden uygulanan jeotermometre önermiştir. Suyun çözünürlüğünün basınç etkisiyle değişimi oldukça zayıftır, baskın etken sıcaklıktır. Doygunluk indeksi ($\log (Q/K)$) sıfıra eşit olması teorik olarak denge durumunu, sıfırdan büyük olması doygunluğu, sıfırdan küçük olması suyun ilgili minerali çözündürücü etkide olduğu anlamına gelmektedir.

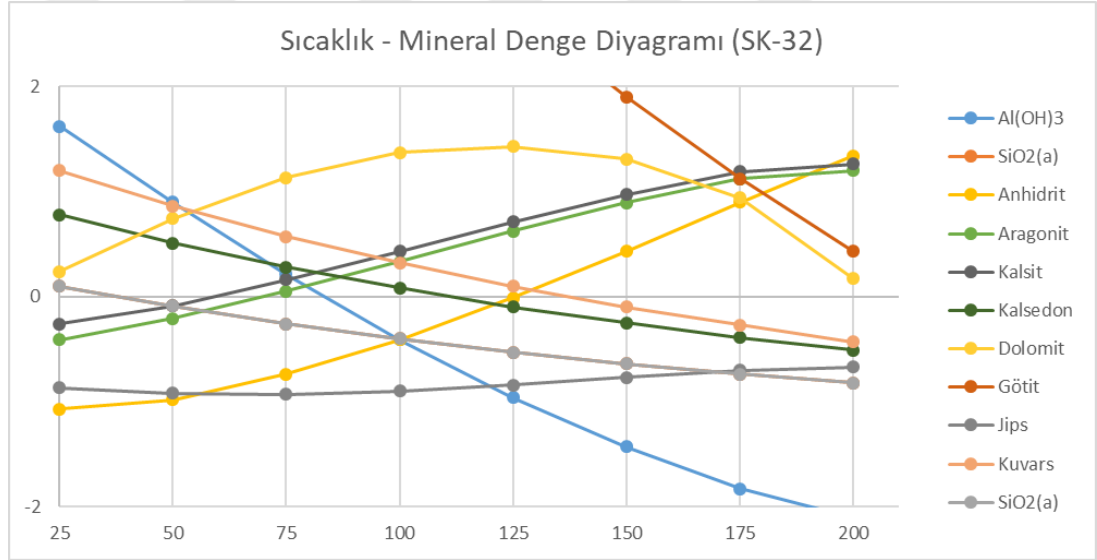
Bu yöntemde, çeşitli minerallerin doygunluk indekslerini farklı sıcaklıklarda simüle eden PHREEQC (Parkhurst ve Appelo, 1999) programında elde edilen değerler Microsoft Excel 2016 aracılığıyla grafiğe yansıtılarak çalışılmıştır. X ekseninde sıcaklık, Y ekseninde o sıcaklığa ait simüle edilen mineral doygunluk değeri olacak şekilde grafik oluşturulur (Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4).

Minerallerin çözünürlük denge sabitleri sıcaklık ile doğrudan ilişkili olduğu için birden çok mineralin 0 doygunluk indeksi değerinin üzerinde çıktığı nokta, rezervuar sıcaklık değerinin karşılık geldiği nokta kabul edilir. Akiferin hazne sıcaklığına en yakın ve doğru sonucu vermektedir.

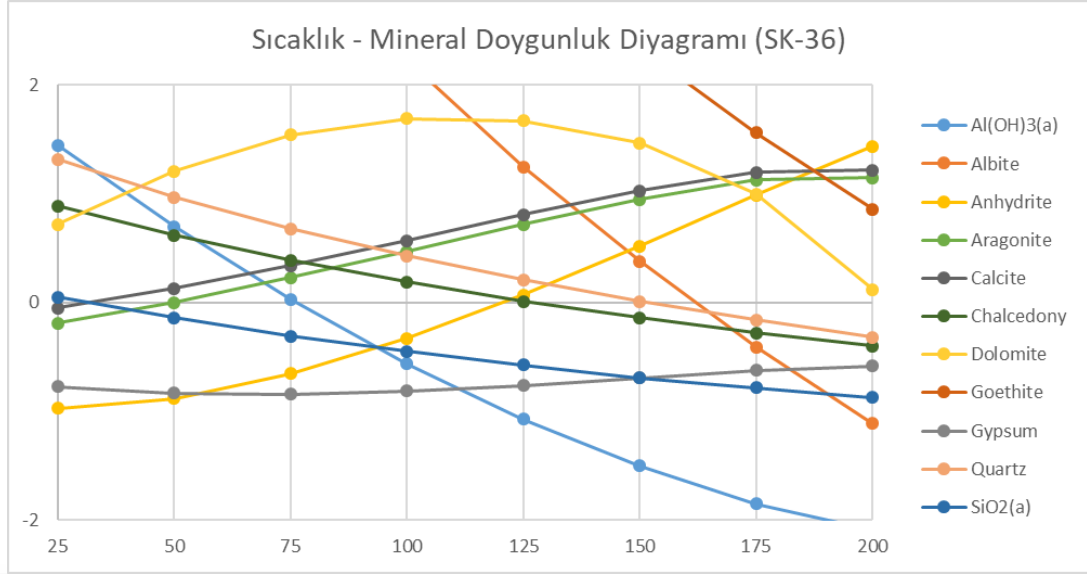
Doygunluk indeksi değerinin negatif bölümünde meydana gelen çakışma ise jeotermal kökenli akifere farklı sıcaklıktaki akışkan ya da akışkanların karıştığını ve bu karışımındaki soğuk akiferin sıcaklığını belirtmektedir. Grafiğin pozitif kısmında gelişen çakışmalar ise buhar ayrılması ile farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını işaret etmektedir.



Şekil 6.2 SK-1 kaynağı sıcaklık - mineral denge diyagramı



Şekil 6.3 SK-32 kaynağı sıcaklık - mineral denge diyagramı



Şekil 6.4 SK-36 kuyusu sıcaklık - mineral denge diyagramı

Söke Ovası'nın kuzeydoğusunda Mermer biriminden yüzeylenen SK-1 kaynağında doyumluk denge çizgisinde 2 noktada çakışma söz konusudur. 75 °C'de $\text{Al}(\text{OH})_3$ – Anhidrit ve yaklaşık 150 °C'de Jips – Kalsedon – Dolomit doyumluk anı ortak kesişenlerdir. Eksenin negatif kısmında Jips – SiO_2 kesişimi ana akifere soğuk su karışımı olduğunu ifade etmektedir. 125 °C'de Dolomit – Anhidrit ve Aragonit – Götüt birbirinden farklı noktalarda pozitif doyumluk değerinde kesişmektedir.

SK-1 kaynağına yakın noktada yer alan SK-32 kaynağında doyumluğun denge çizgisinde 50 °C'de Kalsit – SiO_2 , 120 °C'de Kalsedon – Anhidrit mineralleri çakışmaktadır. Eksenin negatif kısmında ve 100 °C'de $\text{Al}(\text{OH})_3$ – SiO_2 – Anhidrit kesişmektedir. Pozitif ekseninde 60 °C'de Dolomit – Kuvars – AlOH_3 mineralleri kesişmektedir.

Söke Ovası güneydoğusunda Bafa Gölü civarında jeotermal kökenli yeraltı suyu üretimi sağlanan SK-36 kuyusunda doyumluk denge çizgisinde 120 °C'de Kalsedon- Anhidrit mineralleri çakışmaktadır. Eksenin negatif kısmında 85 °C'de $\text{Al}(\text{OH})_3$ – SiO_2 – Anhidrit kesişmektedir. Pozitif doyumluk değerinde farklı sıcaklıklarda birçok mineral kesişmektedir.

Aynı akiferde 75 °C ile 150 °C arasında denge çizgisi kesişimleri gözlenmektedir. Bu aralık jeotermal kökenli akışkanın rezervuar sıcaklık aralığını işaret etmektedir. Hem negatif hem de pozitif doygunluk değerlerinde birden çok noktada ortak kesişimler bulunmaktadır. Bu durum akiferin, buhar ayrılımına bağlı sıcak akışkan ile soğuk suların karışımından meydana gelmesi olarak yorumlanabilir.



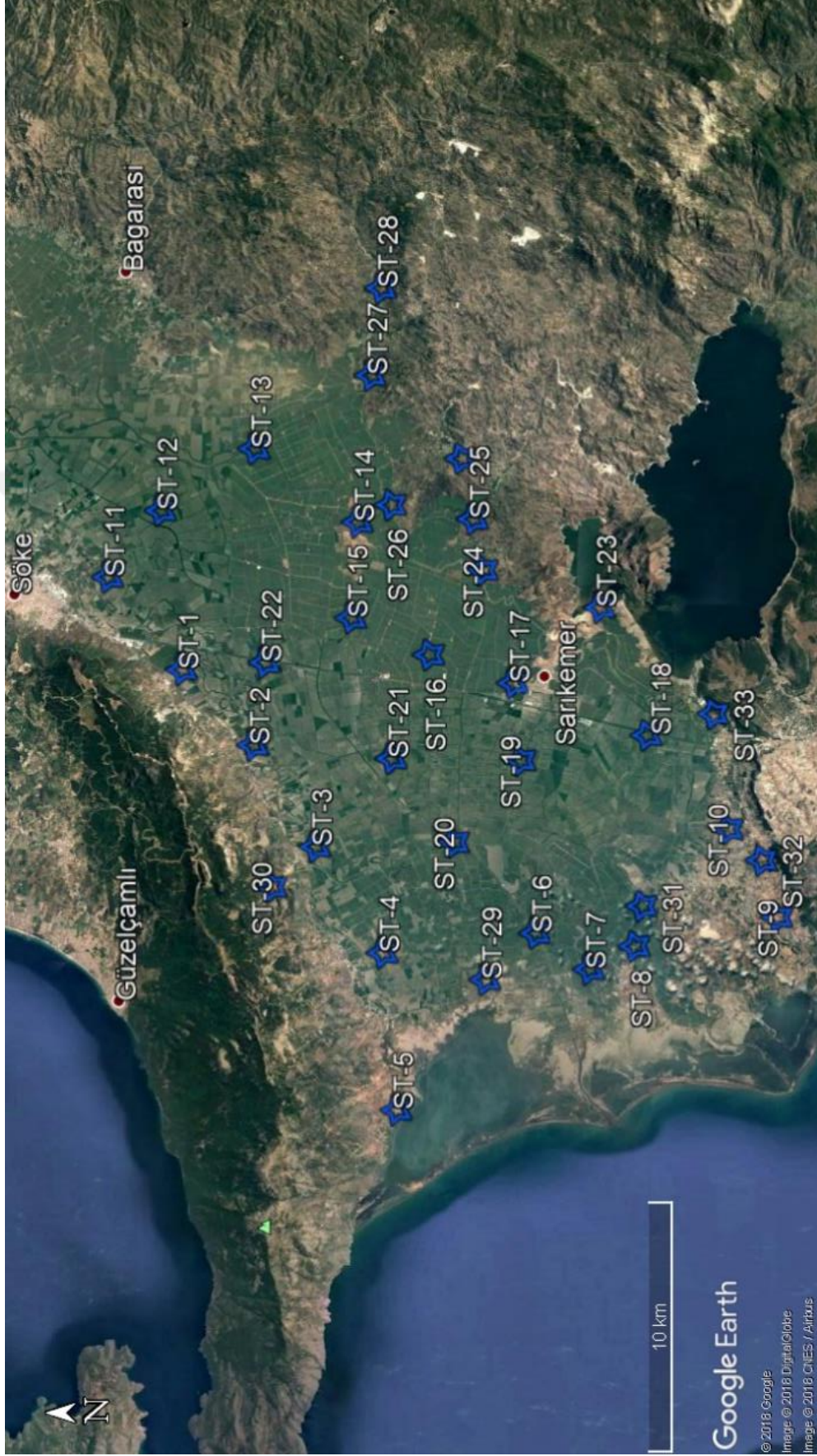
BÖLÜM YEDİ

TOPRAK JEOKİMYASI

Toprak, farklı minerallerden, katmanlı zonlardan oluşan doğal bir beden olarak tanımlanmaktadır. Doku, yapı, tutarlılık, renk, kimyasal, biyolojik ve diğer özellikler açısından farklılık gösteren ana maddelerden (parent material) oluşur (Birkeland 1999). Toprak; ağaç, göl, böcek ya da bulut gibi ayrı olarak gözlenmez ve tanımlanabilir dış sınırlara sahip değildir (Whitehead, 1925). Sediman ise suda ya da havada asılı olarak veya suda çözünmüş halde taşınan, kayalardan veya biyolojik maddelerden türetilmiş taneler bütünü olarak tanımlanır (Horowitz, 1985).

Toprak kalitesi, su kaynaklarıyla birebir etkileşimde olan insan kaynaklı (antropojenik) kirlilik (kontaminasyon) derecesini farklı yaklaşımlarla hesaplayarak yorumlamaya dayanır. Doğal veya yönetilen ekosistem sınırları içinde belirli bir tür toprağın üretim kapasitesi, bitki ve hayvan verimliliğini sürdürmek, su - hava kalitesini korumak veya geliştirmek ile insan sağlığını ve yerleşimini desteklemektir.

Söke Ovası, Büyük Menderes Nehri alüvyonları ile oluşmuş ve oluşum sürecinin devam ettiği tarımsal aktivitenin yüksek olduğu bölgedir. Toprak jeokimyası çalışması için Kuvaterner alüvyondan grid (kafes) yöntemiyle örnekleme yapılmıştır. Arazi çalışmasında önceden belirlenen noktalara gidilmesi hedeflenmiştir. Saha çalışmasında bataklık olan bölgelerden örnekleme yapılamamış olup en yakın noktalardan 30 adet toprak, 4 adet kayaç örneği alınmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Söke Ovası toprak örnekleme yapılan noktalar

(Dung ve diğeri., 2013) tarafından ele alınmış olan kirlilik denetim yöntemleri, Toplam Miktarı Bağlı Yöntemler (Methods base on Total Concentration) ve Reaktif Havuza Bağlı Yöntemler (Methods Based on Reactive Pool) olarak iki grupta incelenir. Bu çalışma kapsamında madde miktarına bağlı yöntemlerden kirlilik indeksi (PI) sınıflaması kullanılmıştır.

7.1 PI (Pollution İndeks) Sınıflaması

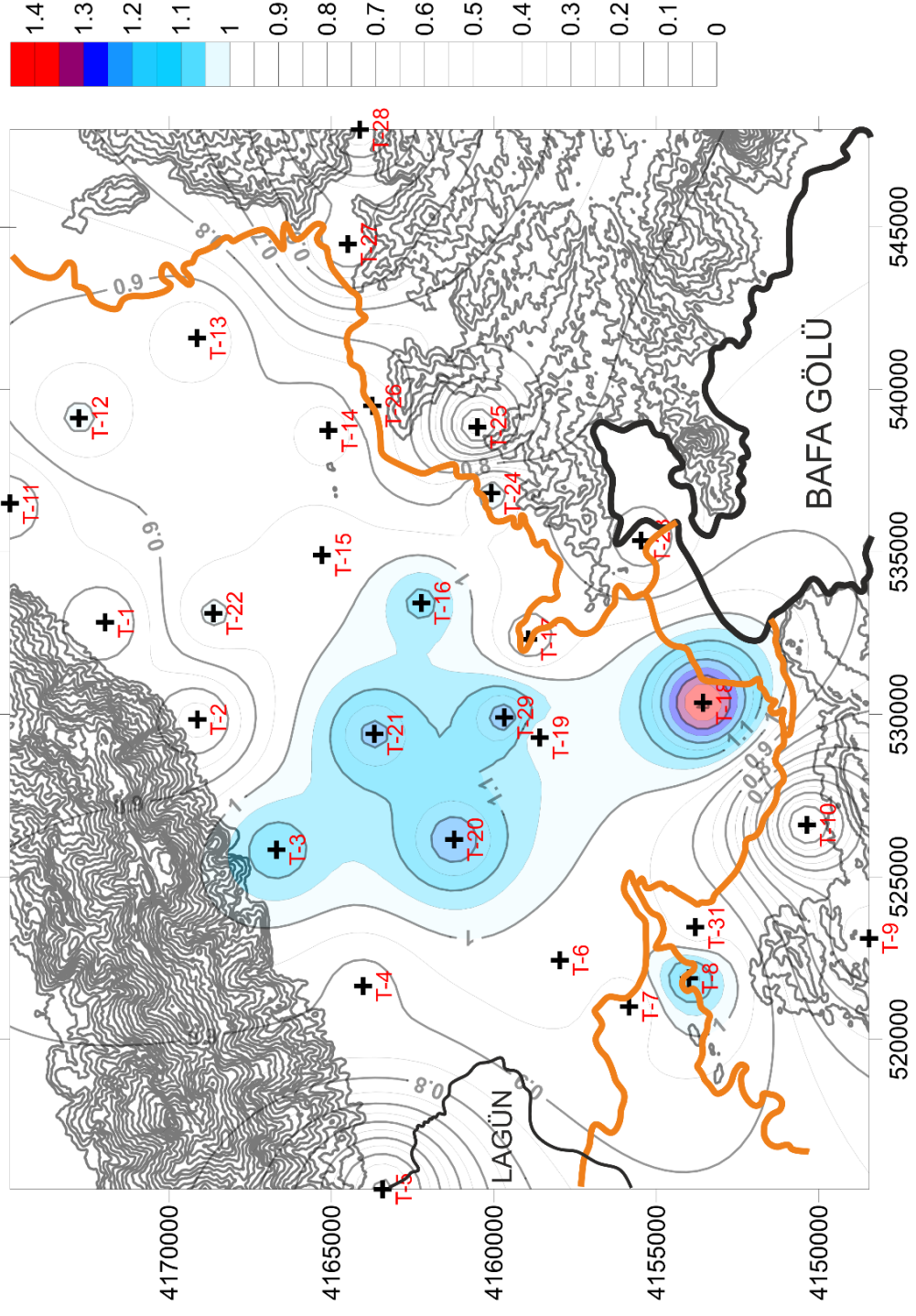
Toprak kirliliği üzerine sınıflama ölçütü Kirlilik İndeksi (PI=pollution index) sıkça kullanılan sınıflamadır. (Nishida ve diğeri.,1982) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflama şekli ile inceleme alanındaki tortul ve topraklarda görülebilecek dokuz farklı ağır metal elementi kullanılarak kirlilik indeksi hesaplanmıştır. Bağlantıda her element için belirtilen düzeyler As, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn için (Chon ve diğeri., 1996) dan, Ni ve Cr ise (Sponza ve Karaoğlu 2002) den alınmıştır. Bu dokuz metalden oluşturulan kirlilik indeksi (PI) değeri aşağıda ifade edilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$PI = \left(\frac{As}{20} + \frac{Cd}{3} + \frac{Cu}{100} + \frac{Hg}{2} + \frac{Pb}{100} + \frac{Sb}{5} + \frac{Zn}{300} + \frac{Ni}{50} + \frac{Cr}{100} \right) / 9 \quad (7.1)$$

Tablo 7.1 Toprak örneklerin Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Cr, Hg bollukları ve PI değerleri (Sınır değeri geçenler koyu renkle gösterilmiştir)

Kod	mg/L										PI
	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Cr	Hg	
T-1	0,35	17,28	8,72	40,1	230,2	10,1	0,13	0,35	108,7	0,05	0,75
T-2	0,33	15,51	8,37	41	220,6	9,5	0,14	0,32	110,3	0,072	0,72
T-3	0,44	30,42	14,84	60,3	353,2	16	0,24	0,34	157,6	0,061	1,14
T-4	0,34	22,59	13,55	49,8	269,1	12,3	0,16	0,29	121,3	0,116	0,88
T-5	0,9	35,67	15,04	57	39,5	12	0,15	0,38	31,6	0,129	0,29
T-6	0,31	25,99	13,45	57,8	303,8	13,9	0,2	0,34	139,3	0,068	0,99
T-7	0,37	22,54	10,52	48,8	284,3	12,1	0,14	0,32	131,5	0,049	0,91
T-8	0,35	30,42	14,83	62,8	373,6	14,2	0,19	0,34	162,7	0,053	1,18
T-9	0,27	7,7	9,36	19,2	173,6	4,4	0,1	0,11	52,9	0,021	0,50
T-10	0,12	7,86	13,72	24,1	62,4	3,6	0,09	0,12	29	0,043	0,23
T-11	2,76	27,77	15,44	51,3	100,8	57,6	0,18	2,01	95,2	0,075	0,77
T-12	0,4	24,38	11,64	55,5	317,4	12,3	0,16	0,32	146,7	0,054	1,01
T-13	0,45	23,17	11,46	52,8	313,7	12	0,16	0,33	142,7	0,06	1,00
T-14	0,45	29,55	14,29	57,2	305,4	14,8	0,18	0,36	132,9	0,065	1,00
T-15	0,38	24,2	11,9	54,1	309,1	12	0,18	0,31	142,2	0,036	0,99
T-16	0,38	25,7	12,84	56,8	356,7	12,8	0,22	0,3	156	0,073	1,12
T-17	0,37	19,07	10,22	44,4	269	10,3	0,15	0,33	125,1	0,032	0,86
T-18	0,46	35,62	19,29	67,3	451,4	18,6	0,22	0,32	183,5	0,052	1,41
T-19	0,35	20,61	9,91	45,4	330,3	10,1	0,14	0,25	146,3	0,043	1,02
T-20	0,37	32,01	17,42	64,8	393,1	16,6	0,22	0,29	167	0,078	1,25
T-21	0,45	33,16	15,96	65,3	382,4	16,4	0,21	0,27	165,2	0,049	1,22
T-22	0,31	26,61	13,52	61,5	311,7	14	0,16	0,3	140,1	0,039	1,01
T-23	0,35	19,16	8,73	45,8	234,5	9,8	0,11	0,27	109,9	0,052	0,76
T-24	0,79	33,6	16,31	66,9	306,1	18,1	0,21	0,4	131,9	0,085	1,03
T-25	0,41	23,85	2,73	16,7	20,9	36,9	0,03	0,42	14,7	0,007	0,31
T-26	0,41	19,16	9,06	42,9	274,2	9,7	0,13	0,35	123,1	0,031	0,86
T-27	0,45	21,65	9,73	57,7	24,7	29,2	0,19	6,77	15,1	0,038	0,45
T-28	0,46	20,73	10,59	55,8	23,5	11	0,15	0,59	22,7	0,056	0,22
T-29	0,84	33,93	17,58	65	376,8	20,6	0,34	0,39	160,8	0,049	1,24
T-31	0,36	20,4	9,66	45	295,2	10,8	0,15	0,3	128,5	0,03	0,92
Mak	2,76	35,67	19,29	67,30	451,40	57,60	0,34	6,77	183,50	0,13	1,41
Min	0,12	7,70	2,73	16,70	20,90	3,60	0,03	0,11	14,70	0,01	0,22
Ort	0,50	24,34	12,36	51,10	256,91	15,39	0,17	0,59	116,48	0,06	0,87

1'in üzerindeki PI değerleri, kirlilik olarak değerlendirilir. T-16, T-18, T-19, T-20, T-21, T-22, T-23, T-24, T-29 örnekleri üst sınır değerinin üzerinde metal barındırmakta olup kirlenmiş olarak nitelendirilebilir. Herhangi metalin zenginleşmesi, insan kaynaklı (antropojenik) girdilerden veya jeoloji (formasyon) kaynaklı meydana gelebilir (Nimick ve Moore 1991). Kirliliğin en fazla olduğu nokta T-18 için kirlilik indeksi 1,41 olarak bulunmuştur. En düşük indeks değeri T-28'de 0,22 ile dikkat çekmektedir (Tablo 7.1).



Şekil 7.2 Söke Ovası kirlilik indeks dağılım haritası

Kirliliğin daha net çözümlenebilmesi için Microsoft Excel’de oluşturulan veri seti Surfer 12 (Golden Software, 2014) aracılığıyla kriging enterpolasyon yöntemi uygulanarak haritalandırılmıştır. Kirlilik dağılım haritasında karmaşıklık olmaması için Büyük Menderes Nehri turuncu ile boyanmıştır. PI değeri 1’den itibaren renklendirme yapılarak kirlilik odaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 7.2).

En az kirlenmiş olarak yorumlanan T-28 örnek noktası Büyük Menderes Nehri ya da sulama kanalıyla ilişkisi olmayan, yöre halkının yeraltı suyundan üretim yaparak sulama yaptığı bölgedir. Kirlilik, Dalyan Kanalı ve Büyük Menderes Nehri suları ile sulama yapılan topraklarda yoğunlaşmaktadır. İç kesimlerden itibaren Söke Ovası genelinde kirlilik mevcuttur. Tarımsal aktivitede sulama kanalının kullanıldığı noktalar, yeraltı suyundan ya da derelerden sulama yapılan bölgelere oranla çok daha kirlidir. Büyük Menderes Nehri, Söke Ovası’na kirlenmiş olarak ulaşmaktadır. Kanal aracılığıyla gerçekleşen sulama sonrası buharlaşma ya da süzülmeyle birlikte toprakta metal birikimi söz konusudur. Kanalla sulanmayan Gölsel Karbonat yüzeyinde tarım yapılan toprak örnekleri T-9, T-10 sırasıyla 0,50 ve 0,23 değerleri ile ovadaki en temiz toprak örneklerindendir.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanının jeolojik haritası güncellenmiş ve örnekleme yapılan su noktaları haritalandırılmıştır. Akifer olma özelliği gösteren kayaçların hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir. Menderes Masifi'nde yer alan Bafa Gölü kuzeydoğusunda gözlenen *Gnays* birimi fay zonları hariç geçirimsizdir. *Şist* birimi ikincil gözeneklilikten dolayı nispeten geçirimli olmakla birlikte genel olarak geçirimsizdir. Alanda yer alan *Menderes Masifi Mermerleri* yaz – kış 20 °C'nin üzerinde sıcaklığa sahip ılık, tuzlu, karstik akifer olma özelliği göstermektedir. Deniz suyu girişimi belirlenen sıcak suların entalpisi düşük, çözünmüş madde miktarı çok yüksektir. Yüksek geçirimliliğe sahip mermerler bölge halkının içme suyu ihtiyacını karşılayan soğuk su akiferi olma özelliği de göstermektedir. Bafa Gölü'nün Güneybatısında yer alan *Gölsel Karbonat* birimi soğuk su doğal çıkışları ve yüzeyden itibaren 30-40 metreden itibaren yaz-kış 20 °C'nin üzerindeki yeraltı suları ile ılık, karstik jeotermal akifer olma özelliği göstermektedir. Birim yüksek geçirimliliğe sahiptir. Deniz kıyısına çok yakın olmasına rağmen, bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılayacak nitelikte çözünmüş maddeye sahip soğuk su barındırabilmesinin nedeni karasal kırıntı olarak adlandırılan birimdeki killerin deniz suyu girişimini engellemesidir. Çeşitli kayaçların kum, kil, silt ve çakıl boyutunda kırıntılarından oluşan Kuvaterner yaşlı Alüvyon, gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip olup alüvyonal akifer özeliğindedir. Deniz kıyısında Gölsel Karbonat birimine yakın noktalardaki killi düzeyleri geçirimsizdir.

İzotop sonuçları, suların tamamına yakınının güncel ve yağış (meteorik) kökenli olduğunu işaret etmektedir. Deniz suyu girişimi etkisindeki jeotermal kaynakları (SK-1, SK-32) ile jeotermal kuyu (SK-36) suyunda tuzlu su girişimi etkisinden dolayı oksijen-18 oranında zenginleşme gözlenmektedir.

Deniz suyu girişiminden etkilenen jeotermal kökenli kuyu suları ve kaynaklar sodyum-klorürce (Na-Cl) zengin su olarak sınıflandırılır. Gölsel Karbonat akiferinde yer alan soğuk su kaynak (SK-30) ve kuyuları (SK-26, SK-29) başta olmak üzere, alüvyonda üretim sağlanan SK-45 kuyusu ile kuzeyde yer alan Menderes Masifi

Mermerlerindeki kuyular (SK-3, SK-6, SK-59, SK-61) bikarbonatça (HCO_3) zengin su olarak sınıflandırılır. Deniz suyu girişiminden etkilenmeyen Bafa Gölü kuzeydoğusunda yer alan Menderes Masifi Mermerleri ve alüvyon arasındaki dokanak boyunca yüzeylenen soğuk su kaynakları Asırlık çeşme (SK-17), Bitli çeşme (SK-18) ve kuyular (SK-10, SK-43, SK-51) kalsiyum-bikarbonatça (Ca-HCO_3) zengin su olarak sınıflandırılır. Akçakonak yakınları yüksek debiyle doğal çıkış gözlenen SK-8 kaynağı, Büyük Menderes Nehri havza girişi (SK-54), Gölsel Karbonat biriminde yer alan sıcak su kuyusu (SK-31) ise magnezyumca (Mg) zengin su olarak sınıflandırılır. Diğer sular ise kendine özgü karakterdedir.

Yaz aylarının kurak geçtiği bölgede yüzey sularının tamamı buharlaşma baskısı nedeniyle çözünmüş madde miktarında artış gösterme eğilimindedir. Büyük Menderes Nehri ile sulanan Söke Ovası topraklarının alkalileşme ve yeraltı suyunun tuzlanma nedenlerinden birisi buharlaşma etkisidir. Yeraltı sularında yağış katkısı olmakla birlikte, dolaşımdaki akiferlerin çoğunun çözünmüş madde kaynağı kayaçlardır.

Yeraltı sularının çoğu içme amaçlı tüketime uygundur. Bulgulara göre bazı örneklemeler üst sınır değerini geçen magnezyum, bor, arsenik, potasyum içermektedir. Bor, doğal kaynak olarak yer kabuğunda gözlenir, boratlar ve borosilikatlar içeren kayalardan ve topraklardan süzülerek yeraltı sularına karışır. Bolluğu, jeotermal kökenli suların ayırt edilmesinde kullanılır. Jeotermal kökenli akışkan ve karıştığı soğuk sularda (SK-3, SK-31, SK-39) sınır değer üstünde bor gözlenmektedir.

Dolomit ve evaporit kaynaklı magnezyum bolluğu, Mermerde SK-3, SK-6, SK-11, SK-12; Gölsel Karbonat'ta SK-29, SK-30, SK-31; Alüvyonda SK-45 soğuk su üretim kuyularında dikkat çekmektedir. Ek olarak, SK-12 örneklem noktası bölgenin evsel tüketim amaçlı dağıtım sağlanan su deposudur. Su deposuna girişte engel olmaması, dışarıdan müdahalelere açık hale getirmektedir. Herhangi art niyet girişimine karşı önlem alınmamış olması, halk sağlığı açısından tehdit ögesidir.

Doğanbey-Tuzburgazı arasında yüzeylenen SK-32 kaynağı yöre halkından bazı insanlar tarafından *şifalı* olarak bilenen ve içme amaçlı şişeleme yapılan jeotermal kökenli sudur. Hipertansiyona neden olacak seviyede sodyum, yüksek doz tüketimde zehirleyici ve kanserojen etkisi olan bor, arsenik, kurşun gibi birçok ağır metal içeren yeraltı su kaynağının içme amaçlı tüketilmesi engellenmelidir.

SK-31, Aydın Su ve Kanalizasyon İşleri (ASKİ) idaresindeki kuyudur. Klorür, magnezyum, alüminyum, demir, nikel, kurşun, antimon miktarları sınır değerin üzerindedir. Menderes Masifi Mermerleri jeotermal kökenli akışkan ile karışım söz konusu olan kuyudan üretim sağlanan yeraltı suyu, direkt olarak kullanıma uygun olmayıp ancak kendisinden daha saf sularla seyreltme yöntemine gidilerek tüketilebilir.

SK-47, Avşar mahalle sakinleri tarafından içme amaçlı tüketilen yeraltı suyudur. 12,1 µg/L arsenik bolluğu ile içme amaçlı tüketimde üst sınır değeri olan 10 µg/L üzerinde çözünmüş madde içermektedir. Arsenik kirliliğinin birçok nedeni olmakla birlikte; insektisit, bestisit gibi arsenik içeren kimyasal maddeler, tarım yapılan alüvyon formasyonunda ürün verimini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sebeple arseniğin yağış ve sulama suları aracılığıyla yeraltı suyuna sızması, sık rastlanan insan kaynaklı (antropojenik) kirliliktir. Köyün yakınında bulunan Azap Gölü (SK-46) yüzey suyu ve SK-45 kuyu suyunda da benzer parametreler sınır değerin üzerindedir. Arseniğin kaynağının belirlenebilmesi için bölgede daha kapsamlı çalışma gerekmektedir.

SK-45, Karacahayıt güneyinde hane halkı tarafından açılmış içme amaçlı tüketilen 10 metrelik sığ kuyu suyudur. Birçok hane, mülkiyetindeki bahçeye açtığı sığ kuyulardan üretim yapmaktadır. Yeraltı suyu, üst sınır değerini aşan 90 µg/L uranyum ve 37,9 mg/L potasyum bolluğu nedeniyle dikkat çekmektedir. TS-266 tarafından Uranyum (U) için içme amaçlı tüketim üst sınır değeri belirtilmemiştir ancak halk sağlığı açısından içme amaçlı tüketime uygun olmayan suyun; magnezyum, arsenik ve mangan değerleri de sınır değerin üzerindedir. Söke Azap Gölü kuzeydoğusunda Karacahayıt mahallesine yakın bölgede Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından

uranyum madeni belirlenmiştir. Hidrojeokimyasal çalışmalara göre uranyum taşınımı beraberinde potasyum ve mangan zenginleşmesine neden olmaktadır.

SK-53, Kisir köyünde alüvyonda hem sulama hem de içme amaçlı kullanılan yeraltı sularını temsil eden örnektir. Kanserojen etkisiyle bilinen arsenik barındırmaktadır. Bölge halkının tamamına yakını yüksek değerlerde arsenik içeren yeraltı sularını tüketmektedir. Arsenik dışında üst sınır değerini geçen çözünmüş madde bulunmamasına rağmen yeraltı sularının içme amaçlı kesinlikle tüketilmemesi gerekmektedir.

Gnays'tan üretim sağlanan SK-41 kuyu suyu, Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan kuyu suyu ve kaynaklardan 6 tanesi (SK-8, SK-10, SK-17, SK-18, SK-47, SK-61) ile Alüvyon'dan üretim sağlanan 4 kuyu suyu (SK-44, SK-51, SK-52, SK-53) tarımsal amaçlı çok iyi kullanılabilir su sınıfındadır. Menderes Masifi Mermerleri'nden üretim sağlanan 4 adet kuyu suyu (SK-3, SK-6, SK-11, SK-59), Gölsel Karbonat biriminden üretim sağlanan kuyu sularının tamamı (SK-26, SK-29, SK-30, SK-31), Alüvyon'dan üretim sağlanan 2 adet kuyu suyu (SK-43, SK-45) ise tarımsal amaçlı iyi kullanılabilir su sınıfındadır. Menderes Masifi Mermerleri'nden yüzeylenen jeotermal kökenli SK-36, SK-37 kuyu suyu ve SK-1, SK-32 kaynakları ile Alüvyondan üretim sağlanan jeotermal akışkanla karışım belirlenen SK-39 kuyu suyu tarımsal amaçlı kullanılamaz su sınıfındadır.

Yüzey suları kendi içlerinde incelenecek olursa yağmur suyu (SK-16), Azap Gölü (SK-46) tarımsal amaçlı çok iyi kullanılabilir su sınıfında yer alıyorken, Büyük Menderes Nehri havza girişi örnek noktası (SK-54), dere (SK-60), Sulama Kanalı (SK-62) iyi kullanılabilir su sınıfında yer almaktadır. Bafa Gölü (SK-55), Serçin Gölü (SK-56), atık su bekletme havuzu (SK-38), Dalyan Kanalı'na tahliye edildiği nokta (SK-21), tahliye sonrası Büyük Menderes Nehri çıkış noktası (SK-23) tarımsal amaçlı kullanılamaz su sınıfındadır. Dalyan Kanalı ile alandan uzaklaştırılan jeotermal kökenli atık suları, tahliye sonrası nehrin kimyasını değiştirmekte ve suları tarımsal amaçlı kullanılamaz hale getirmektedir. Ek olarak tarımsal amaçlı kullanılan sulama

kanalı (SK-9, SK-62) ile Büyük Menderes Nehri havza giriş – çıkış örnek noktaları (SK-54, SK-23) magnezyum tehlikesinin en yüksek olduğu sulardır.

Balık çiftliklerinde kullanılan jeotermal kökenli suların (SK-36, SK-37), Dalyan Kanalı (SK-21) ile uzaklaştırılmasının Bafa Gölü (SK-55) ve/veya Büyük Menderes Nehri havza çıkışında (SK-23) sebep olduğu *inorganik madde birikimi* tehlikeli boyuttur. Balık çiftliklerinde üretim sağlanan jeotermal kökenli yeraltı suyu (SK-36, SK-37) zehirleyici etkisi olan iz element barındırmaktadır. Bu durum, Bafa Gölü'nü ağır metalce zengin hale dönüştürmektedir. Deşarj nedeniyle Bafa Gölü'nde Bor, Baryum, Alüminyum, Mangan, Krom, Nikel, Bakır, Çinko ve Antimon derişimleri sürekli artmaktadır. Gerek göl gerekse çiftlik balıklarının bünyesinde barındırdığı inorganik madde miktarı araştırılmalıdır.

Bafa Gölü'nün doğusunda yer alan Kapıkırı örnek noktası 3 mg/L ile yüksek bollukta fosfat içermektedir. Beraberinde çözünmüş oksijen miktarı 0,04 mg/L ile yok denecek kadar azdır. Yüksek fosfatın evsel atık suların göle karışmasıyla gelişmiş olması olasıdır. İç kısımda kalan bölgenin, su döngüsünün sağlanamıyor olması kirlenme sürecinin daha hızlı gerçekleşmesine neden olmaktadır. Yüksek besin nedeniyle artış gösteren alglerin, yeterli oksijene erişememesinden dolayı bölgede ötrifikasyon (alp patlaması) gerçekleşmesi beklenir. Gölün doğusunda yer alan jeotermal kökenli suların balık çiftliği bekletme havuzu örnekleme amonyum bolluğu 2,3 mg/L olarak belirlenmiştir. Balık üretimi için kullanılan kimyasal yemler ve balık dışkıları nedeniyle suda yüksek miktarda çözülebilir amonyum (NH_4) bulunmaktadır. İnsan kaynaklı nedenlerle kirlenilen yüzey suları Dalyan Kanalı aracılığıyla periyodik aralıklarla Bafa Gölü veya Büyük Menderes Nehri'ne deşarj edilmektedir. Gölün en büyük azot kaynağı, balık üretim tesisi atık sularıdır.

Fazla besin nedeniyle sayıca artış gösteren mikroorganizmalar, yeterli oksijen olmaması nedeniyle ayrışamamaktadır. Alg patlaması gerçekleşmektedir. Devam eden süreçte güneş ışınlarının göl dibine ulaşamaması nedeniyle gölün alt tabakası oksijensiz kalmakta ve havacıl yaşam durmaktadır. Bu durum doğal dengenin bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Balıkların yaşaması için gerekli sınır 5 mg/L çözünmüş

oksijendir. Gölün ortalama çözünmüş oksijen miktarı 4,36 mg/L'dir. Yağışsız dönemde buharlaşma ve Büyük Menderes Nehir sularının Bafa Gölü'nü beslemediği dönemlerde balıkların biyokimyasal oksijen ihtiyacındaki artış nedeniyle toplu balık ölümleri gerçekleşecektir.

Organik ve inorganik kirliliğin önlenmesi için sınır değeri aşan tüm parametrelerin arıtılması yüksek maliyetlidir. Meydana gelen ağır metal birikimi, halk sağlığını tehdit etmektedir. Büyük Menderes Nehri'ne deşarjı tarımsal etkinliği, Bafa Gölü'ne deşarjı ise göl ekosistemini olumsuz etkilemektedir. Gölde var olan habitatın olumsuz etkilenmemesi için atık sular, yüzey suları ile deşarj edilmemelidir. Bunun yerine amonyum arıtıldıktan sonra Mermer birimine reenjeksiyon yapılarak uzaklaştırılmalıdır. Jeotermal kökenli akışkan barındıran mermer akiferinin Cooper – Jacob ve Theis yöntem uygulamalarına göre sırasıyla hidrolik iletkenlik katsayısı (K) 1,04 m/sn ve 2,05 m/sn; iletkenlik (T) 0,135 m²/sn ve 0,267 m²/sn; depolama katsayıları (S) % 0,09 ve % 0,03 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, mermerin çok verimli ve yüksek geçirimsiliğe sahip akifer olduğunu göstermektedir. Üretim indeksi 1667 m³/sa/m, reenjeksiyon indeksi 9200 m³/sa/m olarak hesaplanan mermer akiferi, reenjeksiyona uygundur. Deşarj izni bulunmayan kuyular için gerekli düzenlemeler yapılarak yeraltına geri basım yoluyla uzaklaştırılması en kalıcı çözüm olacaktır.

Söke Ovası sorunlarından bir diğeri ise deniz suyu girişimidir. 40 örneğin deniz suyu karışım yüzdesi incelenecek olursa % 77,3'lük oranla en yüksek değer SK-1 jeotermal kökenli sıcak su kaynağında belirmektedir. İçme amaçlı kullanılan tatlı sularda girişim yüzde ortalaması % 0,2'dir. Havza genelinde ovanın Büyük Menderes Nehri'yle sulanması ve aşırı tatlı su çekiminden dolayı deniz suyu girişimi kaynaklı tuzlanma baskısı bulunmaktadır. Söke Ovası'nda geçmişten bu yana tarımsal üretim devam etmekte olup sürdürülebilir olması hedeflenmelidir. Bölgenin tarımsal sulama ihtiyacı, yüksek çözünmüş madde içeriğiyle dikkat çeken Büyük Menderes Nehri'nin aktarıldığı sulama kanalıyla giderilmektedir. Buharlaşma etkisiyle birlikte toprakta biriken tuz ve iz metaller, yağışlı dönemde süzülerek yeraltı sularını kirletmektedir. Çözüm olarak ilk aşamada Söke Ovası'ndaki yeraltı su çekimleri kontrol altına

alınmalıdır. Sulama Kanalı alüvyonun bittiği alanlarda denize boşalmaktadır. Sulama kanalı suları, kıyıya paralel olarak açılacak kuyulardan; yüksek basınçla ile Alüvyon birimine geri basılmalıdır. Bu yöntemde tuzlu su itilerek ovoidan uzaklaştırılabilir. Söke Ovası'nın iç kesimlerine kadar ulaşan tuzlu su girişimi, toprağı alkali hale getirmektedir. Tarımsal üretimi baltalamamak ve sığ sondajlarla tatlı su üretimine devam edebilmek için kıyı şeridinde yeraltı bariyerleri kurulması da uygulanabilecek diğerk çözüm yöntemidir. Deniz suyu girişimi, Kuzeybatı da Karina – Atburgazı sınırı boyunca gözlenen Doğı – Batı uzanımlı Söke Fayı, güneyde denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Akköy Fayı ile denetlenmektedir. Bu nedenle faya yakın noktalarda sulama ya da içme suyu tüketimi amaçlanan sondaj yapılmamalıdır.

İşlemlerde kayalardan ısı iletimi göz ardı edilip iki sıvının yeraltında salt olarak karıştığı ön görülerek tuzlu su girişimi yüzdesinden yapılan basit hesaplamalarla hazne (rezervuar) sıcaklığı en az 45.14 °C olarak hesaplanmıştır. Ek olarak SK-1, SK-32 ve SK-36 jeotermal kökenli yeraltı suları başta olmak üzere katyon ve silis jeotermometresi uygulanmış olup en yüksek sıcaklık katyon jeotermometre uygulamasında 214 °C ve silis jeotermometre uygulamasında 57 °C olarak belirlenmiştir. Akışkanların farklı sıcaklıklardaki mineral doygunluk durumları simüle edilmiştir. Öngörülen değerler ile sıcaklık – mineral denge diyagramları oluşturulmuştur. Aynı akiferde 75 °C ile 150 °C arasında denge çizgisi kesişmeleri gözlenmektedir. Bu aralık jeotermal kökenli akışkanın rezervuar sıcaklık aralığını işaret etmektedir. Hem negatif hem de pozitif doygunluk değerlerinde birden çok noktada ortak kesişmeler bulunmaktadır. Bu durum akiferin, buhar ayrılımına bağı sıcak akışkan ile soğuk suların karışımından meydana gelmesi olarak yorumlanabilir.

Toprakta, ağır metal içerikleri üzerinden kirlilik indeksi (PI) hesaplanmıştır. En yüksek kirlilik indeksine sahip toprak Dalyan Kanalı yakınından örneklenen T-29 numaralı örnek noktasıdır. En az kirlenmiş olarak yorumlanan T-28 örnek noktası Bafa Gölü kuzeyinde Büyük Menderes Nehri ya da sulama kanalıyla ilişiğı olmayan, yöre halkının yeraltı suyundan üretim yaparak sulama yaptığı bölgedir. Büyük Menderes Nehri, Söke Ovası'na kirlenilmiş olarak ulaşmaktadır. Sulama Kanalı ile tarımsal amaçlı kullanım hedeflenerek dağıtımı yapılan nehir suyu, ova topraklarında ağır

metal birikimine neden olmaktadır. Kirlilik, Dalyan Kanalı ve Büyük Menderes Nehri'nin olduğu alanlarda yoğunlaşmaktadır. Tarımsal etkinlikte sulama kanalının kullanıldığı noktalar, yeraltı suyundan ya da derelerden sulama yapılan bölgelere oranla çok daha kirlidir. Kanalla sulanmayan Gölsel Karbonat biriminden tarım yapılan noktalardaki toprak örneklemeleri T-9, T-10 sırasıyla 0,50 ve 0,23 değeri ile ovadaki en temiz toprak örneklerindendir.



KAYNAKLAR

- Akçay, H., Oguz, A., Karapire, C. (2003). Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. *Water research*, 37(4), 813-822.
- Altunel, E. (1998). Evidence for damaging historical earthquakes at Priene, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7(1), 25-36.
- Arnorsson, S. (2000a). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. *International Atomic Energy Agency*, 109-111.
- Arnorsson, S. (2000b). The quartz and Na/K geothermometers. I. New thermodynamic calibration. In *Proceedings of the World Geothermal Congress*, 929-934.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(3), 567-577.
- Back, W. (1961). Techniques for mapping of hydrochemical facies. *US Geol Surv Prof Pap*, 424, 380-382.
- Birkeland P.W. (1999). *Soils and geomorphology*, 3rd edition. Oxford University Press, New York.
- Blue Marble Geographics, (2015). *Global Mapper v.17*, 77 Water Street, Hallowell, Maine 04347 USA
- Bowen, G. J. ve Wilkinson, B. (2002). Spatial distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric precipitation. *Geology*, 30(4), 315-318.

- Brezonik, P. ve Arnold, W. (2011). *Water chemistry: an introduction to the chemistry of natural and engineered aquatic systems*. OUP USA.
- Calmbach, L. (1997). AquaChem computer code-version 3.7. 42. *Waterloo, Ontario, Canada N2L, 3L3*.
- Chon, H.T., Cho, C.H., Kim, K.W., Moon, H.S. (1996). The occurrence and dispersion of 453 potentially toxic elements in areas covered with black shales and slates in Korea, *Applied Geochemistry*, 11, 69-76.
- Clark, I. D. ve Fritz, P. (1997). Tracing the carbon cycle. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, 111-134.
- Cooper, H. H. ve Jacob, C. E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 27(4), 526-534.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133(3465), 1702-1703.
- Çakmakoğlu, A. (2007). Pre-Neogene tectonostratigraphy of Dilek Peninsula and the area surrounding Söke and Selçuk. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, (135), 1-17.
- Doneen, L. D. (1964). *Notes on water quality in agriculture*. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.
- Dora, O. Ö. (1975). Menderes masifinde alkali feldspatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarda kullanılması. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 18, 111-126.

- Dora, O. Ö. (2011). Menderes Masifi'ndeki Jeolojik Araştırmaların Tarihsel Gelişimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 142 (142).
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Özalp, S. ve Elmacı, H. (2011). 1:250000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Aydın (NJ35-11) Paftası, Seri No:3, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Dung, T. T. T., Cappuyns, V., Swennen, R., Phung, N. K. (2013). From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12(4), 335-353.
- Durmaz, E., Kocagöz, R., Bilacan, E., Orhan, H. (2017). Metal pollution in biotic and abiotic samples of the Büyük Menderes River, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4274-4283.
- Durov, S. A. (1948). Natural waters and graphic representation of their composition. *Dokl Akad Nauk SSSR* 59(3), 87-90.
- Egeran, N. ve Yener, H. (1944). *Notes explicatives de la Carte Géologique de la Turquie*, Feville İzmir. Çankaya Matbaası.
- Ercan, T., Akat, U., Günay, E., Savaşçın, Y. (1986). Söke–Selçuk–Kuşadası dolaylarının jeolojisi ve volkanik kayaların petrokimyasal özellikleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 105(106), 15-38.
- Erol, O. (1996). Büyük Menderes Deltasının Foto-Jeomorfolojik İncelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 1–42.
- Esri S. (2016). *Arcgis 10.5.1*. Geographic information system. California, United States.
- European Union. (2014). *Drinking Water Regulations*, S.I. No. 122 of 2014.

- Fournier, R. O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5(1-4), 41-50.
- Fournier, R. O. (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O., ve Potter, R. W. (1982). Revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Bull., Geotherm. Resour. Counc.(Davis, Calif.);(United States)*, 11(10).
- Fournier, R. O., ve Truesdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37(5), 1255-1275.
- Gat, J. R., ve Carmi, I. (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *Journal of Geophysical Research*, 75(15), 3039-3048.
- Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088-1090
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et cosmochimica acta*, 52(12), 2749-2765.
- Gíslason, S. R., Heaney, P. J., Oelkers, E. H., ve Schott, J. (1997). Kinetic and thermodynamic properties of moganite, a novel silica polymorph. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(6), 1193-1204.
- Golden S. 2014. *Surfer version 12 Surface Mapping System*, Golden, Colorado.
- Gonfiantini, R. (1985). On the isotopic composition of precipitation in tropical stations. *Acta Amazonica*, 15(1-2), 121-140.

- Gray, N.F. 2008. *Drinking Water Quality: Problems and Solutions*. New York: Cambridge University Press
- Gunnarsson, I., ve Arnórsson, S. (2000). Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of H_4SiO_4 in the range of 0 to 350 C at P sat. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(13), 2295-2307.
- Güner, İ. N., ve Yıldırım, N., (2005). Jeotermal Akışkanlarda Paleo-Deniz Suyunun Varlığına Bir Örnek: Ömerbeyli-Germencik (Aydın) Jeotermal Sahası, *II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu*, İzmir, 309-321.
- Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Yılmaz, Y. (2001). Neogene basin development around Söke-Kuşadası (western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region. *Geodinamica acta*, 14 (1-3), 57-69.
- Hakyemez, H. Y., Erkal, T., Göktas, F. (1999). Late Quaternary evolution of the Gediz and Büyük menderes grabens, western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18(4-5), 549-554.
- Hamilton. W. (1841). *Researches in Asia minor, Pontus and Ermenia*. London
- Hancock, P. L., ve Barka, A. A. (1987). Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 9(5-6), 573-584.
- Hetzel, R. ve Reischmann, T. (1996). Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation. *Geological Magazine*, 133(5), 565-572.
- Horowitz, A. J. (1985). *A primer on trace metal-sediment chemistry* (p. 67). Washington, DC: US Government Printing Office.
- Hounslow, A. (2018). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.

International Association of Hydrogeologists. (1979). *Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500,000*, IAH, United Kingdom.

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu. (2007, 13 Haziran). *T.C. Resmi Gazete*, (Sayı: 26551). <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/06/20070613-1.htm>

Karakuş, H., ve Şimşek, Ş. (2013). Tracing deep thermal water circulation systems in the E–W trending Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 252, 38-52.

Karamandere, İ. H., ve Helvacı, C. (2003). Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12(2), 175-198.

Kazancı, N., Dündar, S., Alçiçek, M. C., Gürbüz, A. (2009). Quaternary deposits of the Büyük Menderes Graben in western Anatolia, Turkey: Implications for river capture and the longest Holocene estuary in the Aegean Sea. *Marine Geology*, 264(3-4), 165-176.

Kazancı, N., Gürbüz, A., Boyraz, S. (2011). Büyük Menderes nehri'nin jeolojisi ve evrimi. *Geological Bulletin of Turkey*, 54(1-2).

Keser, B., (2008). *Aydın İlinde Büyük Menderes Nehri ile sulanan bölgelerde yetişen bazı sebze ve meyvelerdeki ağır metal kirliliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

Knipping, M., Müllenhoff, M., Brückner, H. (2008). Human induced landscape changes around Bafa Gölü (western Turkey). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17(4), 365-380.

- Lloyd, J.W., Heathcote J.A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, an introduction*. Clarence Press, Oxford.
- Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi. (2002). *1:500000 Ölçekli Aydın, Denizli, Muğla Bölgesi Jeoloji Haritası*. Ankara. Türkiye.
- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217-254.
- Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D. R. (2008). Helium–carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, 247(1-2), 305-321.
- Nieva, D., ve Nieva, R. (1987). Developments in geothermal energy in Mexico—part twelve. A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP*, 7(3), 243-258.
- Nimick, D. A., ve Moore, J. N. (1991). Prediction of water-soluble metal concentrations in fluvially deposited tailings sediments, Upper Clark Fork Valley, Montana, USA. *Applied Geochemistry*, 6(6), 635-646.
- Nishida, H., Miyai, M., Tada, F., & Suzuki, S. (1982). Computation of the index of pollution caused by heavy metals in river sediment. *Environmental Pollution (Series B)*, 4, 241-248.
- Nolan, J., ve Weber, K. A. (2015). Natural uranium contamination in major US aquifers linked to nitrate, *Environmental Science & Technology Letters*, 2(8), 215-220.
- Oberhänsli, R., Monie, P., Candan, O., Warkus, C.F., Partzsch J.H., Dora, Ö. (1998). The age of blueschist metamorphism on the Mesozoic cover series of the Menderes massif. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 78, 309-316.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2012). *Bafa Gölü Su Kalite Değerlendirme Raporu*. Ankara. Türkiye.

Öztürk, Ö. (2009). *Aydın Söke Ovası'nda yoğun sulu tarım yapılan bazı pilot alanlardaki yeraltı sularının kirlilik durumlarının belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

Parejas, E. (1940). La tectonique transversale de la Turquie. Review of the Faculty of Sci- ence, *University of Istanbul Series B* 5, 133–244.

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.

Ravenscroft, P., Brammer, H., Richards, K. (2009). *Arsenic pollution: a global synthesis*. John Wiley ve Sons.

Razowska-Jaworek, L. (2014). *Calcium and magnesium in groundwater: occurrence and significance for human health*. CRC Press.

Reed, M., ve Spycher, N. (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(7), 1479-1492.

Richard, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, USDA Hand Book. No. 60. US Govt. Press, Washington, DC, 160.

RockWare. (2006). Spreadsheet software for water analysis. Prairie city computing, inc. AqQA Application 1.1.1 [1.1.5.1].

- Sarıca, N. (2000). The Plio-Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N-S extensional tectonics in West Anatolia: Mammalian evidence from the continental deposits. *Geological Journal*, 35, 1-24.
- Sayın, M. ve Eyüpoğlu, Ö. S. (2005). Türkiye’deki yağışların kararlı izotop içeriklerini kullanarak yerel meteorik doğrularının belirlenmesi. 2. *Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu*, Gümüşdüz – İzmir.
- Schoeller, H. (1935). Utilite de la notion des exchanges de bases pour le comparision des eaux souterraines. *Société Géologie Comptes Rendus Sommaire et Bulletin, série*, 5, 651-657.
- Schuiling, R. D. (1962). On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex (SW-Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 58, 71-84.
- Sheppard, S. M. (1981). Stable isotope geochemistry of fluids. *Physics and Chemistry of the Earth*, 13, 419-445.
- Sheppard, S. M. F., Brown, P. E., Chambers, A. D. (1977). The Lilloise intrusion, East Greenland: Hydrogen isotope evidence for the efflux of magmatic water into the contact metamorphic aureole. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 63(2), 129-147.
- Somay, M. A., ve Gemici, U. (2012). Groundwater quality degradation in the Buyuk Menderes River coastal wetland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(1), 15-27.
- Sponza, D., ve Karaoğlu, N. (2002). Environmental geochemistry and pollution studies of Aliğa metal industry district. *Environment International*, 27(7), 541-553.

Sümer, Ö. (2013). *Pliyo-kuvaterner söke-milet havzasının oluşumu*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Sümer, Ö., İnci, U., ve Sözbilir, H. (2013). Tectonic evolution of the Söke Basin: Extension-dominated transtensional basin formation in western part of the Büyük Menderes Graben, Western Anatolia, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 148-175.

Şimşek, Ş. (2003). Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Buyuk Menderes graben, Turkey. *Geothermics*, 32(4-6), 669-678.

Şimşek, Ş. (2010). *Büyük Menderes Grabeni Batı Kesiminde Yer Alan Jeotermal Sistemlerin Hidrodinamik Yapılarının Jeokimyasal Teknikler ve Asal Gaz İzotopları Yardımıyla İncelenmesi*. TÜBİTAK Projesi, No: 107Y188.

Tarcan, G. (2002). *Jeotermal su kimyası, jeotermalde yer bilimsel uygulamalar yaz okulu ders kitabı*, JENERUM. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın, (306), 198-245.

Tarcan, G. (2013). *Egamar su ürünleri yavru balık üretim tesisleri kuyu sularının hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Tarcan, G., Gemici, Ü., Savaşçın, M.Y. (2007). *Bafa Gölü tuzluluğunun jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal değerlendirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi-DEVAK Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Bilimsel Raporlar Serisi.

Tarcan, G., Özen, T., Gemici, Ü., Çolak, M., Karamanderesi, İ.H., (2013). *Büyük Menderes Grabeni'ndeki Jeotermal Alanlarda Kabuklaşma Problemleri Üzerine Hidrojeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelemeler*. TÜBİTAK projesi, No: 109Y315 (Proje bitimi, 1 Kasım 2012).

Tarcan, G., ve Gemici, Ü. (2001). Hydrogeochemistry of the Gumuskoy and Sazlikoy geothermal fields, Aydin, Turkey. *Proceedings of the water-rock interaction*, 2, 931-934.

Tarcan, G., ve Gemici, Ü. (2014). *Egamar Balık Üretim Tesisi Hidrojeolojik Değerlendirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Taylor, H. P. (1974). The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic geology*, 69(6), 843-883.

Theis, C. V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 16(2), 519-524.

Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.

Tonani, F. B. (1980). Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Advances in European Geothermal Research*, 428-443.

Truesdell, A. H. (1976). Summary of section III-geochemical techniques in exploration. *Proc. 2nd UN Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources*.

Türk Standartları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, (2005, 17 Şubat). *Resmi Gazete*. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm>

Türk Standartları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, (1997, 18 Mart). *Resmi Gazete*.

Türk Standartları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, (2013, 7 Mart).
Resmi Gazete. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130307-7.htm>

United States Environmental Protection Agency. (2018). *Guidelines for drinking-water*. Office of water U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 1-12.

Ünay, E., ve Göktaş, F., (1999). Söke çevresi (Aydın) Geç Erken Miyosen ve Kuvaterner Yaşlı Küçük Memelileri: Ön Sonuçlar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 42(2), 99-113.

Varol S. ve Davraz A. (2014). Assessment of geochemistry and hydrogeochemical processes in groundwater of the Tefenni plain. *Environmental Earth Science* 71(11), 4657-4673.

Varol S. ve Davraz A. (2015). Evaluation of the groundwater quality with WQI Water Quality Index and multivariate analysis a case study of the Tefenni plain Burdur Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1725-1744.

Vengosh, A., Helvacı, C., Karamanderesi, I. H. (2002). Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17(3), 163-183.

Verma, M. P. (2000). Revised quartz solubility temperature dependence equation along the water–vapor saturation curve. *World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan*. 1927-1932.

Whitehead, A. N. (1925). The origins of modern science. *Science and the quest for reality*. 53-69. Palgrave Macmillan, London.

Wilcox, L. (1955). *Classification and use of irrigation waters*. Washington, D.C., United States Department of agriculture. 1-21.

World Health Organization. (2004). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, Schweiz.

World Health Organization. (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva, Schweiz. 1-515.

World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, Schweiz. 1-541.

World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, Schweiz. 1-542.

Yılmaz, E., ve Koç, C. (2016). Organic pollution of the Büyük Menderes River, Turkey and effects on aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(12), 11493-11506.