T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALÇOVA JEOTERMAL SİSTEMİNİN HİDROJEOLOJİK MODELLEMESİ

Mine ALACALI

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

DOKTORA TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2012

TEZ ONAYI

Mine ALACALI tarafından hazırlanan **"Balçova Jeotermal Sisteminin Hidrojeolojik Modellemesi"** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR
Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :
Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU
Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Güleren ALSANCAK
Süleyman Demirel Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı

Prof. Dr. Muhittin GÖRMÜŞ
Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Çoşkun SARI
İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER……	i
ÖZET…….	iv
ABSTRACT…….....	vi
TEŞEKKÜR……..	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ……..	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ…….	xi
1. GİRİŞ……	1
1.1. Çalışmanın Amacı……..	2
1.2. İnceleme Alanının Tektonik Konumu……	3
1.3. Jeotermal Enerji…….……	8
1.3.1. Türkiye'de Jeotermal Enerji……	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ…….	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM……	30
3.1. Materyal…….....	30
3.1.1. Çalışma Alanının Yeri…….	30
3.1.2. Jeomorfoloji……	30
3.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü……..	31
3.1.4. Ekonomik Durum…….….....	32
3.2. Yöntemler…….....	32
3.2.1. Stratigrafi…….	33
3.2.2. Hidroloji…….....	33
3.2.3. Hidrojeoloji ve Hidrojeokimya……...	33
3.2.4. Örnek Alımı ve In-situ Analiz Yöntemleri…….....	34
3.2.5. Hidrojeokimyasal Analiz Yöntemleri…….	35
3.2.5.1. Hidrojeokimyasal Çalışmalarda Anyon ve Katyon Değerlerinin Önemi……	37
3.2.6. Hidrojeokimyasal Jeotermometreler……...	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI…….....	47
4.1. Bölgesel Jeoloji…….....	47
4.2. Stratigrafi……	51
4.2.1. Üst Kretase Yaşlı İzmir Filişi (Krif)……...	55
4.2.2. Miyosen Yaşlı Yeniköy Formasyonu (Ty)…….	57
4.2.3. Pliyosen Yaşlı Cumaovası Volkanikleri…….....	58
4.2.4. Kuvaterner Yaşlı Birimler……...	58
4.2.4.1. Yamaç molozu (Qym)……..	58
4.2.4.2. Alüvyon (Qal) ve Alüvyon Yelpazesi (Qay)…….....	58
4.3. Hidrotermal Alterasyon……..	59
4.3.1. Daha önceki çalışmalarda elde edilen alterasyon verileri ile bu çalışmada elde edilen verilerin karşılaştırılması…….	76
4.4. Hidroloji……	85
4.4.1. Yağış……..	86
4.4.2. Buharlaşma…….	87

Sayfa
4.5. Hidrojeoloji ve Hidrojeokimya…….. 90
4.5.1. Hidrojeoloji……..... 90
4.5.2. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri……..... 93
4.5.2.1. Kretase yaşlı İzmir Filişi…….. 93
4.5.2.2. Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu……... 94
4.5.2.3. Pliyosen yaşlı Cumaovası Volkanikleri……... 95
4.5.2.4. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve alüvyon yelpazesi……. 95
4.5.3. Hidrojeokimya……..... 95
4.5.3.1. Jeotermal Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri…….. 95
4.5.3.2. Klorürlü Sular……... 95
4.5.3.3. Asit-sülfatlı Sular……..... 96
4.5.3.4. Bikarbonatlı Sular…… 96
4.5.3.5. Çalışma alanından alınan örneklerin fiziksel özellikleri…….. 97
4.5.3.5. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Piper Diyagramına göre değerlendirilmesi……..... 100
4.5.3.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Scholler Diyagramına göre değerlendirilmesi……..... 105
4.5.3.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Pie Diyagramlarına göre değerlendirilmesi…… 108
4.5.4. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların sertlik açısından değerlendirilmesi…….. 125
4.5.5. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Na içeriğinin değerlendirilmesi……..... 126
4.5.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk sularda bulunan ağır metaller ve toksik elementler……... 131
4.5.7. İzotop Jeokimyası…….…… 140
4.5.8. Jeotermometre Uygulamaları…….…….. 144
4.5.9. Doygunluk İndeksi…….. 146
4.6. Jeotermal Sistemin Isı Kaynağı……. 149
4.7. Balçova Jeotermal Sahasının Hidrojeolojik Modeli…….. 150
5.TARTIŞMA VE SONUÇLAR…….. 152
6. KAYNAKLAR…… 160
7. EKLER…….. 176
ÖZGEÇMİŞ…….. 202

ÖZET

Doktora Tezi

BALÇOVA JEOTERMAL SİSTEMİNİN HİDROJEOLOJİK MODELLEMESİ

MİNE ALACALI

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Balçova Jeotermal Sisteminde bulunan jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal özellikleri incelenmiş, sıcak sulara bağlı gelişen alterasyon zonları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek sahanın hidrojeolojik modellemesi yapılmıştır.

Çalışma alanı, Batı Anadolu Neotektoniği'nin etkisinde, K-G yönlü çekme kuvvetleri sonucu oluşan horst-graben yapılarının gözlendiği İzmir ili sınırları içerisindedir. Bölgede stratigrafik olarak Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi, Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Cumaovası Volkanikleri ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve alüvyon yelpazesinden oluşan çökeller bulunmaktadır. Tüm bu birimlerin temelinde Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının bulunduğu varsayılmaktadır. Birimler arasındaki geçişler uyumsuzdur. Çalışma alanına ait yapılan hidrojeolojik modellemede de görüleceği gibi, bölgede gerilme tektonizmasının bir sonucu olarak gelişen Agamemnon-1, Agamemnon-2 ve Agamemnon-3 Fayları ile birkaç muhtemel fay bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki sular Na-HCO_3-Cl tipinde, sertlik açısından genellikle çok yumuşak (Fr^0), yüksek sodyum içerikli tuzlu sular (C_3-S_4) sınıfındadır. İyon değişimine dayalı jeotermometre bağıntıları kullanılarak yapılan jeotermometre hesaplamalarına göre çalışma alanı için maksimum rezervuar sıcaklığı 272.6^0C olarak hesaplanmıştır. Belirlenen üç alterasyon zonu içerisinde en yaygın gözlenen alterasyon mineralleri kuvars, illit, siderit, ankerit, klinoklor ve albit şeklindedir.

İzotop jeokimyasal parametreler ise $\delta^{18}O$ ve δD oranlarının kıtasal meteorik su çizgisi ile çakışmasından dolayı, çalışma alanındaki suların meteorik kökenli oldukları şeklinde yorumlanabilir. ^3H değerleri 0.00-5.60 TU arasında değişim göstermektedir. Bu değerler çalışma alanında dolanımda olan sıcak suların genç sular olduğunu göstermektedir.

Toksik elementler ve ağır metaller açısından sıcak su örneklerinde en yüksek arsenik değeri 0.19 mg/l (BD-11), en yüksek bor değeri ise 12.54 mg/l (BD-14) olarak ölçülmüştür.

Doygunluk indeksi hesaplamalarına göre, çalışma alanından alınan örnekler genellikle kalsit, dolomit ve kuvars minerallerince doygun olduklarından, bu mineralleri çökeltici özelliktedirler. Bu da çalışma alanındaki jeotermal suların kabuklaşma sorunu yaratacağını işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balçova, hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal, alterasyon, modelleme

2012, 202 sayfa

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

HYDROGEOLOGICAL MODELING OF BALÇOVA GEOTHERMAL SYSTEM

MİNE ALACALI

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

The thermal waters of Balçova were investigated hydrogeologically, hydrogeochemically and isotope geochemically. In connection with these geothermal waters, the hydrothermal alteration zones were studied comprehensively. By the evaluation of the obtained data, the geothermal water system of Balçova has been modelled hydrogeologically.

The study area is located within the boundary of İzmir city, where generally shows a horst-graben structure resulting from the N-S extensional forces due to the effect of West Anatolian Neotectonic. Stratigraphically, the study area consists of Upper Cretaceous İzmir Flysch, Yeniköy Formation in Miocene age, Cumaovası Volcanics in Pliocene age and Quaternary alluvium, alluvial fan and debris flows. It is assumed that the basement of all these is the metamorphics of Menderes Massif. There is unconformity between boundaries of these units. As determined, several faults in the study area have been formed as a result of the extension tectonics such as Agamemnon-1, Agamemnon-2 and Agamemnon-3 with some possible faults.

Water type of the thermal field of Balçova can be considered as Na-HCO_3-Cl type exchange waters, being very soft in hardness of (Fr^0) and classified as C_3-S_4 type with high sodium containing saline water. By applying the geochemical thermometers to the samples, maximum reservoir temperature of 272.6 ^{0}C has been calculated. Most general alteration minerals determined regarding the 3 alteration zones are quartz, illite, siderite, ankerite, chlinochlor and albite.

Isotopic parameters, $\delta^{18}O$ ve δD ratios, show that the origin of the fluid in the field is meteoric, since all has been plotted on the continental meteoric water line. ^3H values of the samples range in between 0.00-5.60 TU. This indicates the waters circulating are young in age.

By the means of toxic and heavy metal contents of the thermal waters, high As^{+3} and B^{+3} consentrations were measured as 0.19 mg/l (BD-11) and 12.54 mg/l (BD-14) respectively.

Saturation index of minerals shows that the water samples originated from the geothermal field are oversaturated of calcite, dolomite and quartz minerals, thus these minerals have ability to precipitate which indicates the geothermal waters of the field have tendency to cause a scaling problem.

Key words: Balçova, hydrogeology, hydrogeochemistry, geothermal, alteration, modeling

2012, 202 pages

TEŞEKKÜR

Bu doktora tezi Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 1863-D-09 nolu araştırma projesi kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

Doktora öğrencisi olarak, tezin ilk aşamalarından itibaren çalışmalarımı yönlendiren, arazi ve laboratuar çalışmalarında değerli bilimsel katkılarını sunan, tez süresince gösterdiği anlayışla bu programı bitirmeme olanak sağlayan Prof. Dr. Nevzat Özgür'e (Süleyman Demirel Üniversitesi) teşekkür ederim.

Doktora ders aşamasındaki bilimsel katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Fuzuli Yağmurlu'ya (Süleyman Demirel Üniversitesi), Sayın Pof. Dr. Mustafa Kuşçu'ya (Süleyman Demirel Üniversitesi), tez yazım aşamasındaki olumlu katkılarından ve yönlendirmelerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Coşkun SARI'ya (Dokuz Eylül Üniversitesi), Doç Dr. Alper BABA'ya (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü) ve Sayın Yar. Doç. Dr. Selman Aydoğan'a (Balıkesir Üniversitesi) teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuar araştırmalarında katkı ve desteklerini esirgemeyen Sayın Jeo. Yük. Müh. Tuğba Arife Çalışkan'a, Sayın Jeo. Yük. Müh. Ümit Memiş'e ve Sayın Jeo. Yük. Müh. Dr. Selma Demer'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sahasının işletmesinden sorumlu kurum olan İzmir Jeotermal A.Ş. Müdürü Sayın Maden Mühendisi Sinan Arslan'a (İZJAŞ) ve şirket çalışanlarına, saha ile ilgili verilere erişim konusunda gösterdikleri kolaylıktan ve anlayıştan dolayı çok teşekkür ederim.

Tez programına başvurduğum andan itibaren bana büyük destek veren iş arkadaşlarıma, Sayın Jeo. Yük. Müh. Dr. Noyan Yıldırım'a (MTA), Sayın Jeo. Müh. Kubilay OFLOZER'e, yakın dostlarıma teşekkür ederim.

Yol arkadaşım Sayın Kemal SAĞLAM'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca olduğu gibi, bu çalışma süresince de beni yüreklendiren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, yanımda oldukları, sabırları ve anlayışları için en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Mine Alacalı

İzmir, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye ve yakın çevresini etkileyen aktif tektonik yapılar…… 3

Şekil 1.2. Anadolu ve Yunanistan'ın Afrika Levhası üzerinde göreceli geri kaymalarını gösteren şematik kesit…….. 5

Şekil 1.3. Dünyanın merkezi referans alınarak hazırlanmış güncel levha hareketlerinin GPS hız vektörleri hipotezi……. 5

Şekil 1.4. İzmir ve yakın çevresindeki tarihsel dönem depremlerinin diri fay haritası üzerindeki dağılımı…….. 7

Şekil 1.5. Litosferi oluşturan levhalar…… 9

Şekil 1.6. Türkiye'deki ana tektonik hatlar ve sıcak suların dağılımı…… 11

Şekil 1.7. İzmir ili jeotermal alanları…… 16

Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası…… 31

Şekil 3.2. Kuvarsın sudaki çözünürlüğü…… 42

Şekil 4.1. Batı Anadolu'nun paleotektonik dönem birlikleri……... 48

Şekil 4.2. Türkiye ve yakın çevresini etkileyen aktif tektonik yapılar…….. 50

Şekil 4.3. İzmir Körfezi ve çevresini gösteren basitleştirilmiş jeoloji haritası…… 50

Şekil 4.4. Balçova ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafi kolon kesiti……. 53

Şekil 4.5. Balçova ve yakın çevresinin güncellenmiş jeoloji haritası…….. 54

Şekil 4.6. Çalışma alanından alınan A-A' ve B-B' kesitleri…… 55

Şekil 4.7. İzmir Filişi içerisindeki kumtaşlarında kalsit dolguları ve piritler… 56

Şekil 4.8. İzmir Filişi içerisindeki oksitlenmiş seviyeler…… 57

Şekil 4.9. Baraj yolu üzerinde İzmir Filişi içerisindeki alterasyonlu seviyeler 60

Şekil 4.10. Baraj yolu üzerinde gözlenen hekzahidrit minerali…… 60

Şekil 4.11. Hidrotermal alterasyon zonları ve karakteristik mineral parajenezleri……..... 67

Şekil 4.12. Çalışma alanında bulunan BD-6 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…… 71

Şekil 4.13. BD-8 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…….. 73

Şekil 4.14. BD-9 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…….. 74

Şekil 4.15. BD-10 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 75

Şekil 4.16. BD-11 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve 77

sıcaklık ilişkileri…..……

Şekil 4.17. BD-12 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 78

Şekil 4.18. BD-13 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 79

Şekil 4.19. BD-14 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 80

Şekil 4.20. BD-15 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 80

Şekil 4.21. G-1 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 81

Şekil 4.22. G-2 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 82

Şekil 4.23. G-3 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 82

Şekil 4.24. G-4 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 83

Şekil 4.25. BT-5 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri…..…… 83

Şekil 4.26. Çalışma alanının Thorhtwaite yöntemi ile ortalama yağış-potansiyel buharlaşma aylık değişim grafiği……... 88

Şekil 4.27. Balçova Cengiz Saran Barajı…… 91

Şekil 4.28. BD-15 kodlu sıcak su kuyusunda yapılan yerinde ölçümler…….. 98

Şekil 4.29. B-10 kodlu sıcak su kuyusunda yapılan yerinde ölçümler……. 98

Şekil 4.30. Örneklere ait pH değişimini gösteren diyagram…… 99

Şekil 4.31. Örneklere ait sıcaklık (T) değişimini gösteren diyagram…… 99

Şekil 4.32. Örneklere ait EC değişimini gösteren diyagram…… 100

Şekil 4.33. Çalışma alanı dışından alınan soğuk su örneklerinin şematik görünümü……... 102

Şekil 4.34. Çalışma alanından alınan soğuk ve sıcak su örneklerine ait Piper Diyagramı……..... 103

Şekil 4.35. Çalışma alanından alınan örneklere ait Schoeller Diyagramı…… 105

Şekil 4.36. Karşılaştırmalı Piper ve Schoeller Diyagramları…… 106

Sayfa

Şekil 4.37. Aralık 2009 dönemine ait alınan 7 sıcak su kuyusuna ait Pie Diyagramı…… 123

Şekil 4.38. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait ABD Tuzluluk Diyagramı……..... 127

Şekil 4.39. Bu çalışma kapsamında alınan örneklere ait Ca-SO_4 ilişkisini gösteren diyagram…… 130

Şekil 4.40. Yağışlı ve kurak mevsim sonu Li (mg/l) değerleri……. 133

Şekil 4.41. Yağışlı ve kurak mevsim sonu Cu (mg/l) değerleri…… 134

Şekil 4.42. Kurak mevsim sonuna ait Mn (mg/l) değerleri……... 135

Şekil 4.43. Yağışlı ve kurak mevsim sonu Sr (mg/l) değerleri...……. 135

Şekil 4.44. Yağışlı ve kurak mevsim sonu As (mg/l) değerleri…… 136

Şekil 4.45. Yağışlı ve kurak mevsim sonu B (mg/l) değerleri……. 137

Şekil 4.46. Yağışlı ve kurak mevsim sonu F (mg/l) değerleri…….. 138

Şekil 4.47. B-1, B-4, B-5 ve B-6 kuyularına ait 1989 yılı B, Li ve F analizi sonuçları…….. 139

Şekil 4.48. B-10 ve BD-4 kuyularına ait B, Li, F ve As değerlerinin karşılaştırılması…… 140

Şekil 4.49. Çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan sıcak ve soğuk suların δD ve $\delta^{18}O$ değişim grafiği…… 143

Şekil 4.50. Çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}O$ Grafiği…… 144

Şekil 4.51. Çalışma alanından alınan örneklere ait Jeotermometre Diyagramı 146

Şekil 5.1. Balçova Jeotermal Sahası'nın Hidrojeolojik Modeli……..... 158

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dünyada jeotermal enerjiden elektrik üreten ilk 5 sıradaki ülkeler 9

Çizelge 1.2. Ülkemizdeki jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı…….. 12

Çizelge 1.3. Balçova Jeotermal Sahası'nın etkin kullanımı…….. 17

Çizelge 1.4. Jeotermal sahalar ve ruhsat bilgileri…….. 19

Çizelge 3.1. Çalışma alanında kullanılan in-situ ölçüm cihazları ve özellikleri... 35

Çizelge 3.2. Hidrojeokimyasal analizlerde kullanılan cihazlar ve özellikleri….. 35

Çizelge 3.3. Sayısal değerlendirmede bazı kimyasal jeotermometre bağıntıları 46

Çizelge 4.1. Sık rastlanan Hidrotermal alterasyon mineralleri…… 61

Çizelge 4.2. Bazı ilksel minerallerin alterasyona karşı göreceli duraylılıkları……. 65

Çizelge 4.3. Majör oksit elementlerin hidrotermal alterasyon sırasında olağan davranışları…… 65

Çizelge 4.4. Akışkan türüne göre oluşan hidrotermal alterasyon tipleri ve önemli hidrotermal alterasyon mineralleri…… 68

Çizelge 4.5. X-Ray difraktometre yöntemi ile analizi yapılan sondaj kırıntılarına ait bilgiler…….. 69

Çizelge 4.6. Difraktometre sonuçlarına göre belirlenen alterasyon mineralleri… 70

Çizelge 4.7. Çalışma alanından alınan sondaj kırıntılarına ait XRD analizi sonuçları……..... 84

Çizelge 4.8. Balçova Cengiz Saran Barajı öncesi Balçova'ya ait su temini çizelgesi……. 86

Çizelge 4.9. Thornthwaite yöntemine göre hazırlanan buharlaşma-terleme bilançosu…… 89

Çizelge 4.10. Balçova Cengiz Saran Barajı'na ait teknik bilgiler……. 90

Çizelge 4.11. Balçova Jeotermal Alanı'nda bulunan sıcak su kuyularının özellikleri……..... 92

Çizelge 4.12. Çalışma alanından alınan örneklerin Piper Diyagramına göre belirlenen su tipleri…….. 104

Sayfa

Çizelge 4.13. ÖZ-2 örneğinin deniz suyu ile karşılaştırılması……. 106
Çizelge 4.14. BD-4 Su kimyası bilgi formu…….. 109
Çizelge 4.15. BD-6 Su kimyası bilgi formu…….. 110
Çizelge 4.16. BD-8 Su kimyası bilgi formu…….. 111
Çizelge 4.17. BD-9 Su kimyası bilgi formu…….. 112
Çizelge 4.18. B-10 Su kimyası bilgi formu……... 113
Çizelge 4.19. BD-11 Su kimyası bilgi formu…… 114
Çizelge 4.20. BD-14 Su kimyası bilgi formu…… 115
Çizelge 4.21. BD-15 Su kimyası bilgi formu…… 116
Çizelge 4.22. BD-2 Su kimyası bilgi formu…….. 117
Çizelge 4.23. BD-8 Su kimyası bilgi formu……. 118
Çizelge 4.24. B-10 Su kimyası bilgi formu……... 119
Çizelge 4.25. BD-15 Su kimyası bilgi formu…… 120
Çizelge 4.26. BD-12 Su kimyası bilgi formu…… 121
Çizelge 4.27. ÖZ-2 Su kimyası bilgi formu…….. 122
Çizelge 4.28. Aralık 2009 döneminde yapılan 7 sıcak su kuyusuna ait kaynak başı analiz sonuçları (İZJAŞ)……. 123
Çizelge 4.29. Suların sertliklerine göre sınıflandırılmaları …….. 125
Çizelge 4.30. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait SAR değerleri ve sertlikleri (Fr)……. 126
Çizelge 4.31. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri……. 128
Çizelge 4.32. Çalışma alanından alınan örneklerin SAR'a göre sınıflandırılması 128
Çizelge 4.33. Na/K oranları……... 131
Çizelge 4.34. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları…….. 132
Çizelge 4.35. Bazı tortul kayalarda bor miktarı…… 137
Çizelge 4.36. Çalışma alanı ve çevresinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynaklarından alınan sulara ait izotop analiz sonuçları ($\delta\ ^{18}O$, δD ve ^{3}H)……. 142

Sayfa

Çizelge 4.37. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait doygunluk indeksleri. 148

ÖZET

Doktora Tezi

BALÇOVA JEOTERMAL SİSTEMİNİN HİDROJEOLOJİK MODELLEMESİ

MİNE ALACALI

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Balçova Jeotermal Sisteminde bulunan jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal özellikleri incelenmiş, sıcak sulara bağlı gelişen alterasyon zonları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek sahanın hidrojeolojik modellemesi yapılmıştır.

Çalışma alanı, Batı Anadolu Neotektoniği'nin etkisinde, K-G yönlü çekme kuvvetleri sonucu oluşan horst-graben yapılarının gözlendiği İzmir ili sınırları içerisindedir. Bölgede stratigrafik olarak Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi, Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Cumaovası Volkanikleri ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve alüvyon yelpazesinden oluşan çökeller bulunmaktadır. Tüm bu birimlerin temelinde Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının bulunduğu varsayılmaktadır. Birimler arasındaki geçişler uyumsuzdur. Çalışma alanına ait yapılan hidrojeolojik modellemede de görüleceği gibi, bölgede gerilme tektonizmasının bir sonucu olarak gelişen Agamemnon-1, Agamemnon-2 ve Agamemnon-3 Fayları ile birkaç muhtemel fay bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki sular Na-HCO_3-Cl tipinde, sertlik açısından genellikle çok yumuşak (Fr^0), yüksek sodyum içerikli tuzlu sular (C_3-S_4) sınıfındadır. İyon değişimine dayalı jeotermometre bağıntıları kullanılarak yapılan jeotermometre hesaplamalarına göre çalışma alanı için maksimum rezervuar sıcaklığı 272.6^0C olarak hesaplanmıştır. Belirlenen üç alterasyon zonu içerisinde en yaygın gözlenen alterasyon mineralleri kuvars, illit, siderit, ankerit, klinoklor ve albit şeklindedir.

İzotop jeokimyasal parametreler ise $\delta^{18}O$ ve δD oranlarının kıtasal meteorik su çizgisi ile çakışmasından dolayı, çalışma alanındaki suların meteorik kökenli oldukları şeklinde yorumlanabilir. ^3H değerleri 0.00-5.60 TU arasında değişim göstermektedir. Bu değerler çalışma alanında dolanımda olan sıcak suların genç sular olduğunu göstermektedir.

Toksik elementler ve ağır metaller açısından sıcak su örneklerinde en yüksek arsenik değeri 0.19 mg/l (BD-11), en yüksek bor değeri ise 12.54 mg/l (BD-14) olarak ölçülmüştür.

Doygunluk indeksi hesaplamalarına göre, çalışma alanından alınan örnekler genellikle kalsit, dolomit ve kuvars minerallerince doygun olduklarından, bu mineralleri çökeltici özelliktedirler. Bu da çalışma alanındaki jeotermal suların kabuklaşma sorunu yaratacağını işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balçova, hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal, alterasyon, modelleme

2012, 202 sayfa

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

HYDROGEOLOGICAL MODELING OF BALÇOVA GEOTHERMAL SYSTEM

MİNE ALACALI

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

The thermal waters of Balçova were investigated hydrogeologically, hydrogeochemically and isotope geochemically. In connection with these geothermal waters, the hydrothermal alteration zones were studied comprehensively. By the evaluation of the obtained data, the geothermal water system of Balçova has been modelled hydrogeologically.

The study area is located within the boundary of İzmir city, where generally shows a horst-graben structure resulting from the N-S extensional forces due to the effect of West Anatolian Neotectonic. Stratigraphically, the study area is consists of Upper Cretaceous İzmir Flysch, Yeniköy Formation in Miocene age, Cumaovası Volcanics in Pliocene age and Quaternary alluvium, alluvial fan and debris flows. It is assumed that the basement of all these is the metamorphics of Menderes Massif. There is unconformity between boundaries of these units. As determined, several faults in the study area have been formed as a result of the extension tectonics such as Agamemnon-1, Agamemnon-2 and Agamemnon-3 with some possible faults.

Water type of the thermal field of Balçova can be considered as Na-HCO_3-Cl type exchange waters, being very soft in hardness of (Fr^0) and classified as C_3-S_4 type with high sodium containing saline water. By applying the geochemical thermometers to the samples, maximum reservoir temperature of 272.6 ^{0}C has been calculated. Most general alteration minerals determined regarding the 3 alteration zones are quartz, illite, siderite, ankerite, chlinochlor and albite.

Isotopic parameters, $\delta^{18}O$ ve δD ratios, show that the origin of the fluid in the field is meteoric, since all has been plotted on the continental meteoric water line. ^3H values of the samples range in between 0.00-5.60 TU. This indicates the waters circulating are young in age.

By the means of toxic and heavy metal contents of the thermal waters, high As^{+3} and B^{+3} consentrations were measured as 0.19 mg/l (BD-11) and 12.54 mg/l (BD-14) respectively.

Saturation index of minerals shows that the water samples originated from the geothermal field are oversaturated of calcite, dolomite and quartz minerals, thus these minerals have ability to precipitate which indicates the geothermal waters of the field have tendency to cause a scaling problem.

Key words: Balçova, hydrogeology, hydrogeochemistry, geothermal, alteration, modeling

2012, 202 pages

TEŞEKKÜR

Bu doktora tezi Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 1863-D-09 nolu araştırma projesi kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

Doktora öğrencisi olarak, tezin ilk aşamalarından itibaren çalışmalarımı yönlendiren, arazi ve laboratuar çalışmalarında değerli bilimsel katkılarını sunan, tez süresince gösterdiği anlayışla bu programı bitirmeme olanak sağlayan Prof. Dr. Nevzat Özgür'e (Süleyman Demirel Üniversitesi) teşekkür ederim.

Doktora ders aşamasındaki bilimsel katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Fuzuli Yağmurlu'ya (Süleyman Demirel Üniversitesi), Sayın Pof. Dr. Mustafa Kuşçu'ya (Süleyman Demirel Üniversitesi), tez yazım aşamasındaki olumlu katkılarından ve yönlendirmelerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Coşkun SARI'ya (Dokuz Eylül Üniversitesi), Doç Dr. Alper BABA'ya (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü) ve Sayın Yar. Doç. Dr. Selman Aydoğan'a (Balıkesir Üniversitesi) teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuar araştırmalarında katkı ve desteklerini esirgemeyen Sayın Jeo. Yük. Mühendisi Tuğba Arife Çalışkan'a, Sayın Jeo. Yük. Müh. Ümit Memiş'e ve Sayın Dr. Selma Demer'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sahasının işletmesinden sorumlu kurum olan İzmir Jeotermal A.Ş. Müdürü Sayın Maden Mühendisi Sinan Arslan'a (İZJAŞ) ve şirket çalışanlarına, saha ile ilgili verilere erişim konusunda gösterdikleri kolaylıktan ve anlayıştan dolayı çok teşekkür ederim.

Tez programına başvurduğum andan itibaren bana büyük destek veren iş arkadaşlarıma, Sayın Dr. Noyan Yıldırım'a (MTA), Sayın Jeo. Müh. Kubilay OFLOZER'e, yakın dostlarıma teşekkür ederim.

Yol arkadaşım Sayın Kemal SAĞLAM'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca olduğu gibi, bu çalışma süresince de beni yüreklendiren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, yanımda oldukları, sabırları ve anlayışları için en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Mine Alacalı

İzmir, 2012

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerjiden tarihin ilk çağlarından beri değişik şekillerde faydalanılmaktadır. Türkiye, jeotermal enerji kaynakları açısından oldukça zengin olmakla birlikte, enerji potansiyeli açısından dünya ülkeleri arasında 7., doğrudan kullanım açısından ise 5. sırada, Avrupa ülkeleri arasında ise birinci sırada yer almaktadır (Mertoğlu vd, 2010).

Kullanılan fosil kökenli enerji kaynakları, tükenebilir olmalarının yanı sıra; çevre kirliliğine neden olmaktadır. Dünya nüfusunun 7 milyarı geçtiği günümüzde, hem doğal kaynakların hem de enerjinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu iki olgunun birleşimi olan jeotermal enerji bu tür olumsuzlukları içermeyen enerjilerden biri olmasının yanı sıra, bilinçli kullanıldığı takdirde, kendini yenileyebilen, ihmal edilebilir düzeyde çevre kirliliği yaratan, yabancı ekonomiden bağımsız, ekonomik olan ve elde edilen akışkanın sıcaklığına göre çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan bir enerji türü olması nedeni ile ayrı bir önem taşımaktadır. Konu bu açıdan ele alındığında, yeni jeotermal sahaların araştırılması, incelenmesi ve mevcut jeotermal sahaların potansiyellerinin korunması, maksimum verimle uzun dönem işletilmeleri için jeotermal sistemin tanımının iyi yapılması, sahadaki değişkenlerin ve birbirleri ile etkileşimlerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Jeotermal enerjinin bulunduğu rezervuarın beslenme zonu, yeryüzüne ulaştığı noktaları ve yeraltındaki durumu olarak tanımlayabileceğimiz jeotermal sistemlerde, akışkan-yan kayaç ilişkisi, jeotermal sularda, normal sulara oranla, yüksek miktarda bulunan çözünmüş madde miktarı bakımından, jeotermal rezervuarın doğası ile ilgili oldukça önemli veriler sunmaktadır. Akışkan-yan kayaç arasındaki reaksiyonlar birtakım ikincil minerallerin oluşumuna neden olmaktadır. Çözünmüş madde içeriği yüksek olan jeotermal suların bileşimlerinde yer alan anyonlara (Cl^-, SO_4^-, HCO_3^-) göre klorürlü sular, asit sülfatlı sular ve bikarbonatlı sular olarak sınıflandırılmaktadır (Şahinci, 1991a; Simmons, 2002). Sıcak sular içerisinde dolanımda bulundukları kayaçlar ile etkileşime girmektedir ve bu kayaçları oluşturan mineral yığışımlarında bir takım değişikliklere neden olmaktadır. Alterasyon kayacın mineralojik yapısında

meydana gelen değişimdir. Alterasyonun oluşum türleri doğrudan çökelme, ornatım (yer değiştirme), kimyasal çözündürme ve püskürmeler olarak sayılmaktadır (Browne, 2002). Alterasyon, ayrıca kayacın kimyası kadar yoğunluk, gözeneklilik, geçirgenlik ve mıknatıs özelliği gibi fiziksel özelliklerini de etkilemektedir. Jeotermal sistemlerin oluşumlarının irdelenmesinde su kimyası, uygulanabilirliği ve ekonomikliği açısından önemli bir yer tutar. Jeotermal akışkanın içerdiği (majör ve minör) anyon ve katyonların miktarları, birbirlerine olan oranları ve izotopik çalışmalar jeotermal sistemlerin modellemesinde yardımcı olan unsurlardır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Balçova Jeotermal Sistemi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün 1962 yılında başlattığı araştırmaları izleyen süreç içerisinde pek çok araştırıcı ve kurum tarafından değişik boyutları ile çalışılmış (MTA, 2005; Serruya, 1962; Tezcan, 1962; Şamilgil, 1964; Yılmazer vd, 1977; 1981; 1989; Aksoy, 2001; Satman vd, 2002; Serpen, 2003; Aksoy ve Serpen, 2005; Alacalı, 2006; Çakın, 2003; Serpen vd, 2009; Aksoy vd, 2009) bir bölgedir.

Balçova Jeotermal Sistemi İzmir ili Balçova ilçesi sınırları içerisinde bulunan, aktif olarak kapalı alan ısıtmasında, seracılıkta ve balneolojik amaçlar ile kullanılmaktadır.

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, (i) Balçova jeotermal sahasının kaplıcaları ve çevresinin jeolojik haritasını güncellemek, (ii) jeotermal suların hidrolojik açıdan ve hidrojeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek, (iii) yapılan hidrojeokimyasal analiz sonuçları ışığında alterasyon, izotop jeokimyası verileri ve jeotermometreler yardımı ile çalışma alanındaki jeotermal rezervuar sıcaklıklarını belirlemeye yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile Balçova Jeotermal Sistemi'nin hidrojeolojik modellemesinin yapılması amaçlanmıştır.

1.2. İnceleme Alanının Tektonik Konumu

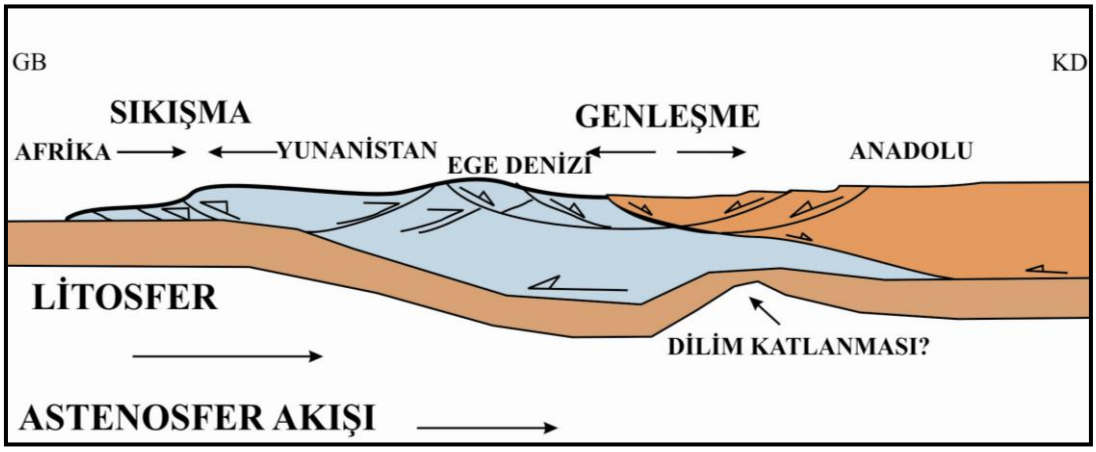
Çalışma alanı tektonik yapı açısından Batı Anadolu tektoniği içerisinde kalmaktadır. Batı Anadolu'da egemen olan neotektonik dönem genleşmenin etkisi ile Ege Bölgesinde görülen horst-graben yapısı burada da gözlenmektedir. Bu yapının oluşumu ile ilgili önerilen iki ayrı model bulunmaktadır. Bunlar Şengör ve Dewey (1979) ile Doglioni vd. (2002)'nin önerdiği modellerdir.

Şengör ve Dewey'e göre; Doğu Anadolu Arap Plakası tarafından sıkıştırılmaktadır ve bunun sonucunda Anadolu Bloku Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı'nın doğrultu atımlı hareketi nedeniyle B-GB'ya doğru itilmektedir. Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu Batı Anadolu'nun aktif tektonizması, Ege dalma batma sisteminin ve Arabistan levhasının Anadolu'yu, Bitlis sütur kuşağı boyunca, kuzey yönünde sıkıştırmasının etkisindedir (Şengör ve Dewey, 1979). Bu etkenlerden dolayı bölge güncel olarak tektonik yönden aktif bir bölgedir (Yılmaz, 2000) (Şekil 1.1.).

Şekil 1.1. Türkiye ve yakın çevresini etkileyen aktif tektonik yapılar (Şengör vd, 1984; Yılmaz, 2000'den değiştirilerek)

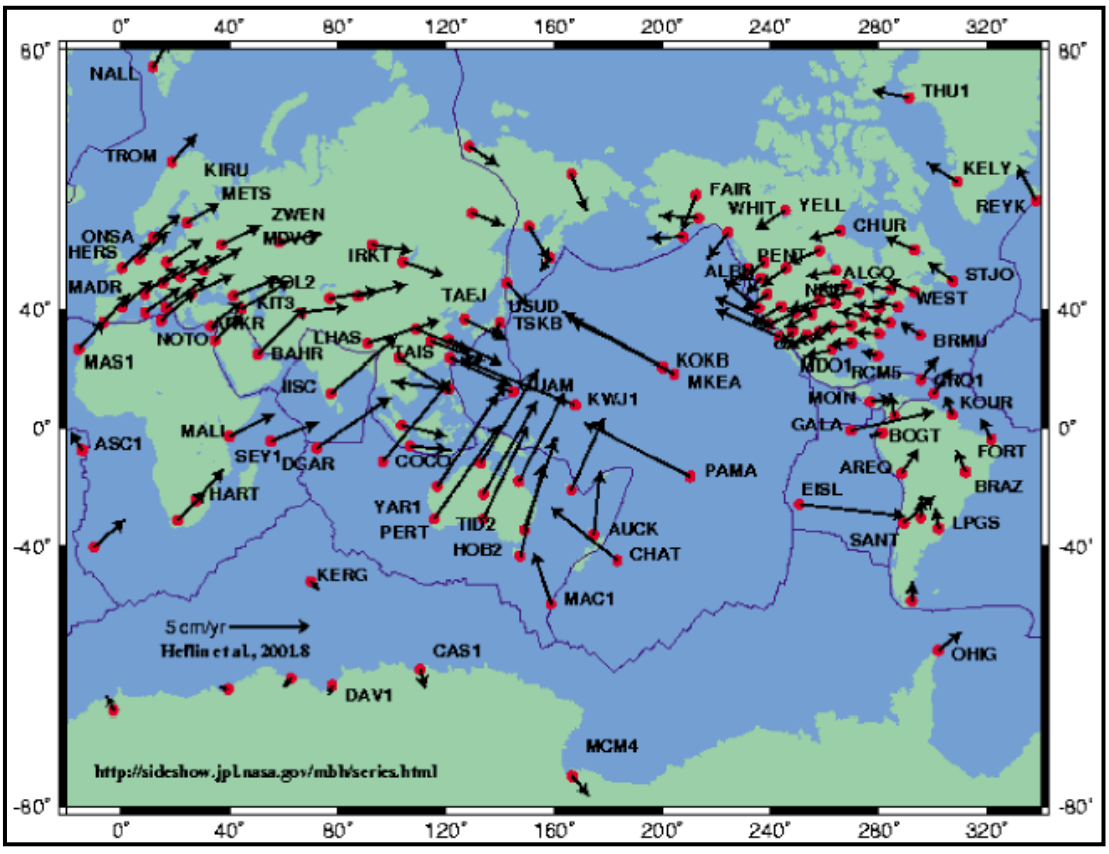
Ege ve Anadolu plakalarının altına doğru dalmaya devam etmekte olan Afrika ve Arap Plakaları, Anadolu Plakası'nı Pliyosen'den itibaren batıya doğru hareketlendirmektedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1987). Bu itici güç ile Kuzey ve Doğu Anadolu fayları gerilim yaratır ve kabukta sıcaklığın artışına neden olur. Anadolu Plakası'nın batısındaki Ege Bölgesi de çekme ve yükselme kuvvetlerinin etkisinde kalmaktadır ve bölgede hâkim olan horst-graben yapılarının gözlenmesi ile sonuçlanmaktadır.

Yaygın olarak benimsenmiş olan bu model (Şengör ve Dewey, 1979), Ege Denizi'nin büyümesi ile çelişkilidir (Doglioni vd., 2002). Ayrıca Doğu Anadolu'da bazı bölgelerde litosferik mantonun yitmiş olması (Keskin, 2003) ve astenosferin doğrudan kabuğun altında yer alması nedeniyle, Doğu Anadolu'da halen mevcut bir yitim zonundan ve bu zonun Anadolu Plakasını KG yönlü sıkıştırmasından bahsedilemez. Yapısal jeoloji ile beraber jeotermalin ve volkanizmanın konumuna daha uyumlu bir model, Doglioni vd. (2002) tarafından önerilmiştir. Doglioni ve diğ. göre; Afrika kıtasının Anadolu plakası altına dalması ile başlayan orojenik olaylar sonucu gözlenen kıtasal çarpışma ürünü plütonik kayaçlar (granit, granodiyorit) ve bunların yüzey kayaçlarının (andezit, trakiandezit, dasit) yaklaşık eş zamanlı olarak Batı Anadolu'yu biçimlendirmektedir. Afrika Levhası ile Anadolu arasında aldıkları KD-GB yönlü, Ege Denizi'ni kat eden kesite göre şematik bir çizim aşağıda bulunmaktadır (Şekil 1.2.). Araştırmacılar özellikle batıya kaçışı ''No Thanks'' sözleri ile geri çevirerek, Ege Denizi'nin güncel grabenleşmesini işaret etmişlerdir. Araştırmacılar, aynı anda hem Ege Denizi'nin genleşmesi hem de Anadolu'nun bu genleşme havzasına doğru tektonik kaçışını imkânsız bir çelişki olarak yorumlamaktadırlar. Ayrıca GPS verilerine dayanarak ortaya konulan hipotezde Batı Anadolu'da gözlenen güneybatıya yönelik göreceli hareket vektörlerinin Doğu Anadolu'ya göre daha hızlı olduğunu belirtmişler, bu hareket vektörlerinin Doğu Anadolu'ya göre daha hızlı olmasının Arap levhasının Anadolu levhası altına dalması ile ilişkili olamayacağını savunmuşlardır. Şekil 1.3.'de dünyanın merkezi referans alınarak elde edilmiş GPS değerlerine göre güncel tektonik hareket yönleri verilmektedir (Doglioni vd., 2002) .



Şekil 1.2. Anadolu ve Yunanistan'ın Afrika Levhası üzerinde göreceli geri kaymalarını gösteren şematik kesit (Doglioni vd., 2002)

Bu durumda Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi, Avrasya veya Anadolu'ya göre göreceli ve dünyanın merkezine doğru mutlak hareketleri yansıtmaktadır.



Şekil 1.3. Dünyanın merkezi referans alınarak hazırlanmış güncel levha hareketlerinin GPS hız vektörleri hipotezi (Doglioni vd., 2002)

Bu iki model karşılaştırıldığında; Şengör ve Dewey (1979)'in savunduğu model Anadolu'nun Yunan Plakası'na çarptığı yerde özel bir deprem kuşağının olmaması ve Ege Denizi'ndeki genleşmenin Anadolu'nun GB'ya kayması ile çelişkisi açısından sorunludur.

Doglioni vd. (2002)'nin çalışmalarında ise GB'ya hareket, kıtaları KD'ya doğru iten Afrika Plakası diliminin üzerinde, göreceli bir geriye kayma olayıdır ve Yunanistan Anadolu'dan daha hızlı geri kaymaktadır.

Mutlak hareket kuzeydoğuya doğru olduğuna göre (dalan Afrika Plakası'nın itici gücü) esas genleşme buna dik yani kuzeybatı yönlü olacaktır. Bu açılım yaklaşık DB ve KG yönlü yırtılmalarla (transtensiyon) dengelenir (Doglioni vd., 2002).

Çalışma alanında en yaygın birim olan İzmir Filişinin tabaka doğrultu ve eğimleri, birimin iç yapısındaki düzensizliklerin ve tektonik olayların bir sonucu olarak değişkenlik sunmaktadır ve oldukça kıvrımlı ve kırıklı bir yapıdadır. İzmir flişi biriminin kendi içerisinde bile çok fazla kıvrım ve kıvrımcıklar gözlenmektedir. Bu da havzaya çökelim esnasında ortamın enerjisine, ortamda bulunan yoğunlukları birbirinden farklılık arz eden çökellere ve tektonizmaya bağlı olabilir.

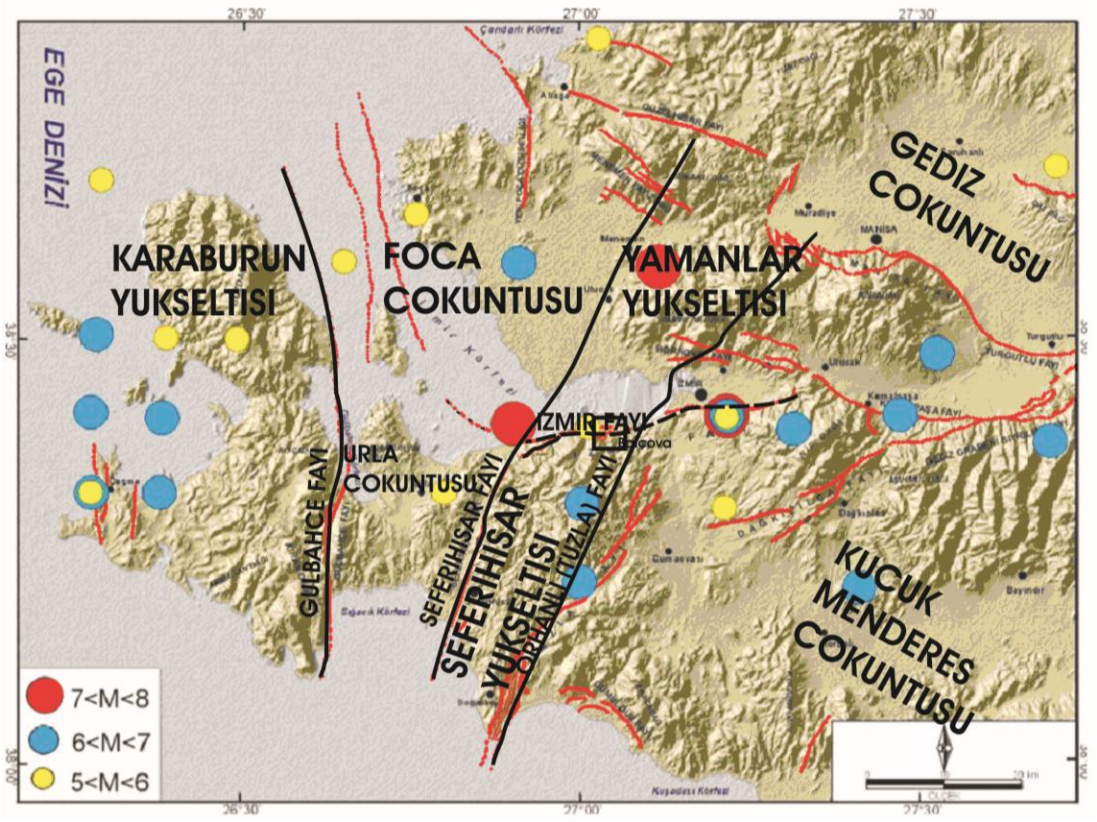
Jeotermal sistemlerin yükselerek yüzlek vermesi, aktif faylar (neotektonik) ile ilişkili bir olay olduğundan, bu tür sıcak sular genellikle deprem bölgelerinde yer alırlar.

Batı Anadolu'nun en ucunda bulunan İzmir ili ve çevresinde, genişlemeye bağlı olarak gelişen horst ve graben yapılarını ve bu grabenleri sınırlayan K-KD-GB ve D-B doğrultulu faylar tektonik yapının oluşmasında etkin yapısal unsurlardır (Kaya, 1979; Emre, 1996; Yılmaz vd., 2000; Emre vd., 2005; Akyol vd., 2006; Sözbilir vd., 2008).

Agamemnon-I Fayı, önceki araştırmacıların da belirttiği gibi, bu etkilerin bir sonucudur ve jeotermal enerjinin yeryüzüne ulaşmasında etkendir. Çalışma alanında gözlenen diğer faylar Agamemnon-II ve Agamemnon-III faylarıdır. Agamemnon-I

Fayı üzerinde yapılan sondajların korelâsyonu ile bu faya paralel kuzeye doğru gelişen basamak fayların (olası faylar) da varlığı söz konusudur. Bu hareketlenmeye bağlı olarak da bölge 1. derece deprem riski taşıyan kuşak üzerinde yer almaktadır.

Ege Bölgesi'nin tektonik yapısından dolayı burada oluşan depremlerin büyük bir çoğunluğunun merkez üssü Ege Denizi içerisindedir (Şekil 1.4. ve 1.5.). Özellikle İzmir Körfezi güneyindeki İzmir Fayı, Cumaovası-Doğanbey Burnu arasındaki Tuzla Fayı ve Karaburun Yarımadası'ndaki Gülbahçe-Karaburun Fayı Ege Bölgesi'nin aktif faylarıdır (Barka vd., 2000).



Şekil 1.4. İzmir ve yakın çevresindeki tarihsel dönem depremlerinin diri fay haritası üzerindeki dağılımı (Deprem lokasyonları ve büyüklükleri İDSDMP (2002)'den alınmıştır; Kaya, 1979'dan yararlanılarak)

1.3. Jeotermal Enerji

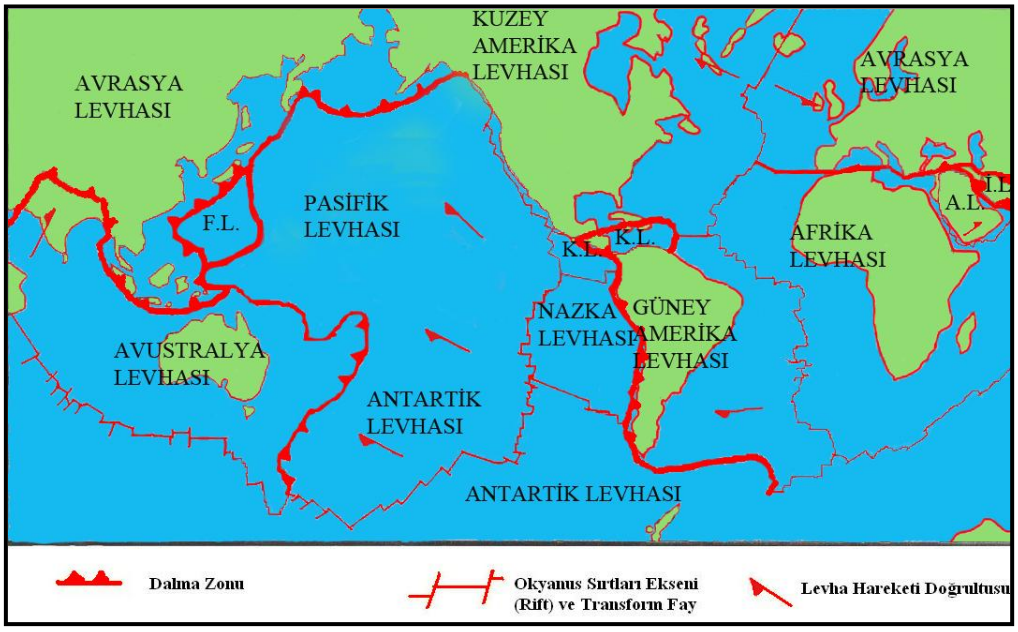
Önemli bir enerji türü olan, Latince geo-yer ve thermal-ısı kelimelerinden oluşan jeotermal enerjinin oluşumunda ise yer ısı kaynaklarının etkisi büyüktür. Yer ısı kaynakları magma enerjisi, ekzotermik tepkimeler, radyoaktif bozunmalar ve güneş ışınlarıdır. Yerkabuğunun derinliklerine doğru sıcaklık artar. Bu artışa ilişkin belirlenen ortalama değer 30°C/km'dir ancak jeotermal gradyan her tarafta aynı değildir, bazen bu değerin 10 katı kadar jeotermal gradyana sahip bölgeler de tespit edilmiştir (Yılmazer vd, 1989; Yılmazer, 1989; Koçak vd, 2004). Jeotermal gradyanın yüksek seyrettiği yerler, yer kabuğunun inceldiği zayıflık zonlarıdır ve bu zonlara magmatik sokulmalar olabilmektedir. Okyanus tabanları, okyanus ortası sırtlar, ada yayları, dalma batma zonları ısı akısının çok olduğu, ısının kondüksiyon ve konveksiyon yaptığı yerlerdir. Isı kaynağının bu şekilde oluştuğu jeotermal enerji yerin merkezinden yer kabuğuna doğru yükselir ve yükselen ısı yer kabuğunun üst zonlarında yeraltı sularını ısıtarak jeotermal kaynakları oluşturur.

Hızla gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte enerji açığının giderek büyümesi, gelişmişlik düzeyinin enerji kullanımı ile eş tutulduğu global sektör açısından, yeni enerji kaynaklarının aranması, bulunması ve işletilme yöntemlerinin geliştirilmesinde bilimsel verilerin ağırlık kazanması ile birlikte girişimciler açısından enerjiye ulaşma ve işletme evresinde birtakım yasal sıkıntılar ortaya çıkmıştır. Bu açıdan ülkemizde 03.06.2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nun ve ardından 11.12.2007 tarihinde ilgili uygulama yönetmeliğinin çıkarılması, jeotermal enerjinin hem doğrudan kullanım miktarını arttırmış hem de enerji sektöründeki yatırımcıların yasal boşluklardan ve uygulamadaki denetimsizliklerden dolayı duydukları tedirginliği ortadan kaldırmıştır. Dünyada 20. yüzyılın başlarından itibaren jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapılmaya başlanmıştır. Amerika Kaliforniya'da "The Geyser" 1860 yılında, İtalya Larderello'da 1904 yılında, Yeni Zelanda Wairaki'de 1958 yılından itibaren aktif hale gelen sahalardır. Günümüzde jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülkeyi Amerika, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya oluşturmaktadır (Çizelge 1.1.).

Çizelge 1.1. Jeotermal enerjiden elektrik üreten dünyadaki ilk 5 sıradaki ülke (Bertani, 2010)

Ülke	Kurulu kapasite (MWe)	Yıllık üretim (GWh)
Amerika	3048	16603
Filipinler	1902.32	10311
Endonezya	1196	8175
Meksika	983	7047
İtalya	842.5	5569

Jeotermal enerjinin açığa çıktığı alanlar genellikle levha sınırları ve volkanik bölgelerdir (Şekil 1.5). Levha sınırlarında, levhaların birbirlerine göre göreceli hareketleriyle meydana gelen tektonik hareketlilik sonucu oluşan fay hatları ve süreksizlikler gibi jeolojik yapılar; yer içindeki ısının yeryüzüne iletilebileceği uygun yollara dönüşmektedirler.



Şekil 1.5. Litosferi oluşturan levhalar (Rybach ve Muffler, 1981).

And Volkanik Kuşağı üzerinde çok sayıda aktif volkanizmanın varlığı nedeniyle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemler bulunmaktadır. Güney Amerika'nın batı kıyısında bulunan bu kuşakta Venezüella, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin bulunmaktadır.

Alp Himalaya Kuşağı; 150 km. genişliğinde ve 3000 km. uzunluğunda olan çok büyük bir jeotermal kuşaktır. Bu kuşak Hindistan plakası ile Avrasya plakasının çarpışması sonucu oluşmuştur. Alp Himalaya kuşağında yer alan ülkeler; İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Macaristan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet ve Çin'dir.

Tektonik ve volkanik yönden aktif olan **Doğu Afrika Rift Sistemi** üzerinde Zambiya, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etopya gibi ülkeler bulunur.

Karayip Adaları civarında da aktif volkanların bulunması nedeniyle önemli jeotermal alanlar vardır.

Orta Amerika Volkanik Kuşağı; üzerinde Guatemala, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama bulunur. Belirtilen bu büyük kuşaklar dışında Japonya, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İrlanda, Meksika gibi oldukça zengin jeotermal kaynakları olan ülkeler bulunmaktadır.

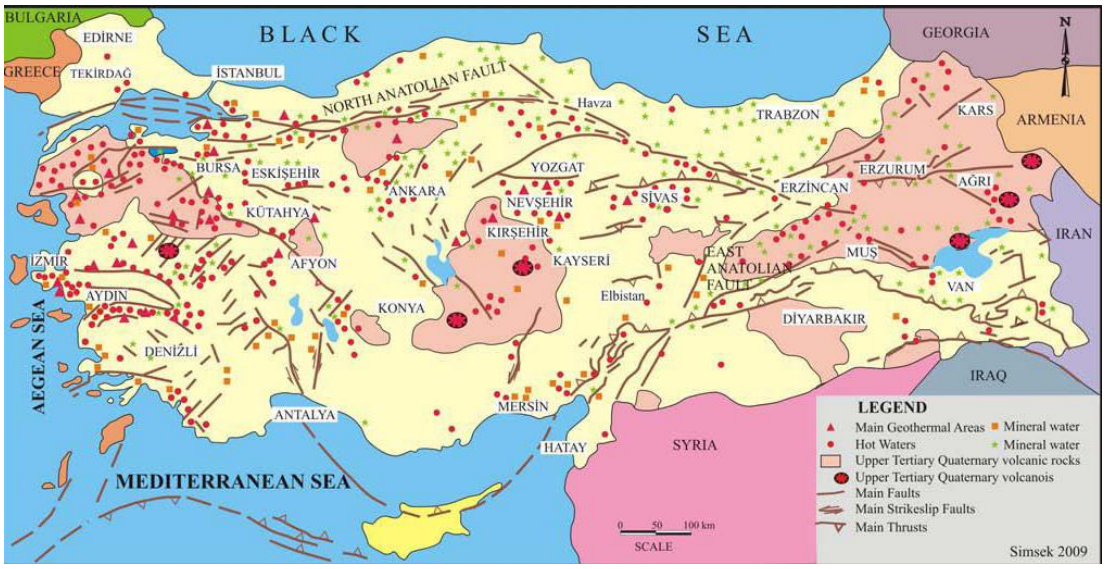
En yaygın kullanım şekilleri olan ısınma, elektrik üretimi ve balneolojik kullanımlarının yanı sıra; jeotermal suların diğer bir doğrudan kullanımı da endirekt olarak sıcak sularda yaşayan varlıklar yoluyla gerçekleşmektedir. Sıcak sularda yaşayan bir cins mikroorganizmanın dünyada yaşayan ilk organizmalara yapısal olarak çok yakın oldukları düşünülmekte ve yüksek asit, aşırı sıcaklık gibi çok uç koşullara uyumlarından dolayı "extremophile"ler olarak adlandırılmaktadırlar. NASA'da çalışan araştırmacılar tarafından diğer gezegenlerde de hayat olup olmadığı konusunda bu mikroorganizmalardan faydalanılmaktadır. Ayrıca kimyasal temizleyiciler, ilaç, gıda ürünleri, kıymetli metal aramalarında kullanılmanın yanında

bu mikroorganizmalar ham petrolü türevlerine ayırma gibi işlemlerde de katalizör olarak kullanılmaktadırlar (www.waikatoregion.govt.nz, Akkay ve Kıvanç, 2009).

1.3.1. Türkiye'de Jeotermal Enerji

Anadolu plakasının aktif bir jeolojik yapıya sahip olması, Türkiye'de jeotermal potansiyelin zenginliğini arttıran bir unsurdur (Şekil 1.6.). Anadolu'daki neotektonik kuşaklar boyunca gözlenen zengin jeotermal etkinlik, Ege bölgesinde de oldukça yüksektir. Ülkemizde bulunan jeotermal sistemler sıvının etken olduğu jeotermal sistemlerdir. Türkiye'de jeotermal araştırmaları Türkiye'de Maden Tetkik ve Araştırma Enstitüsü tarafından 1960'lı yıllarda başlatılmış ve altı ayrı jeotermik enerji provensi belirlenmiştir. Bunlar Ege Provensi, Ankara Provensi, Kayseri Provensi, Amanoslar Provensi, Erzurum ve Diyarbakır Provensleri olarak raporlanmıştır (Erentöz vd., 1968).

Batı Anadolu'da jeotermal alanlar D-B doğrultusunda bulunan grabenler içerisinde bulunmaktadırlar ve grabenlerde jeotermik gradyan değerleri yüksektir (Erentöz vd., 1969; Bingöl, 1975). İlerleyen yıllarda gelişen teknolojik ve bilimsel araştırma yöntemleri ile detaylandırılan jeotermal sahaların kullanım türleri de çeşitlenmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye'deki ana tektonik hatlar ve sıcak suların dağılımı (Mertoğlu vd., 2010)

İnceleme alanı olan İzmir-Balçova Jeotermal Sahası da Batı Anadolu'nun önemli jeotermal alanlarından biridir. Bölgede 1960 yılından beri MTA tarafından yapılan jeoloji, jeokimya, jeofizik ve derin sondaj çalışmalarıyla tanımlanmaya çalışılmıştır ve bu çalışmalar sonucunda da birçok önemli veri ve bulgu elde edilmiştir. Çizelge 1.2.'de 31 Aralık 2009 yılı itibariyle jeotermal enerjinin ülkemizdeki doğrudan kullanımına ilişkin veriler yer almaktadır.

Çizelge 1.2. Ülkemizdeki jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (Mertoğlu vd, 2010)

Yer	Kullanım Türü	Debi(kg/s)	Sıcaklık (^{0}C)	Kapasite (MWt)
Afyon-Ömer-Gecek	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	620	99	45
Afyon -Sandıklı	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	496	70	50
Ağrı-Diyadin	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	560	72	15
Ankara-Haymana	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	58	44	0,5
Ankara-Kızılcahamam	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	94	86	25
Ankara-Çubuk-Melikşah	Balık çiftliği Seracılık	30	32-61	2
Aydın-Germencik	Seracılık Zemin ısıtması		100	0,1
Aydın -Salavatlı	Balneolojik kullanım	94	155	4
Balıkesir-Gönen	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	131	80	32
Balıkesir-Sındırgı	Seracılık Zemin Isıtması	176	98	0,4
Balıkesir-Bigadiç	Konut Isıtması Balneolojik kullanım	103	96	25
Balıkesir-Pamukçu	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	35	58	2
Balıkesir-Kepekler	Balneolojik kullanım	15	60	0,2
Balıkesir- Edremit	Seracılık Zemin ısıtması	220	65	25
Balıkesir-Güre	Konut ısıtması	21	55	0,01
Bolu-Karacasu	Konut Isıtması Balneolojik kullanım	85	44	4
Çanakkale-Kestenbol	Balneolojik kullanım Seracılık Zemin Isıtması	25	75	0,7

Çizelge 1.2. (devam)

Yer	Kullanım Türü	Debi(kg/s)	Sıcaklık (^{0}C)	Kapasite (MWt)
Denizli-Kızıldere	Seracılık Zemin Isıtması Diğer	270	100	11,2
Denizli-Tekke Hamamı	Balneolojik kullanım Seracılık, Zemin Is.	26	168	1,8
Denizli-Gölemezli	Balneolojik kullanım Seracılık Zemin Isıtması	340	75	0,28
Eskişehir-Sakarılıca	Balneolojik kullanım	29	55,5	0,05
İzmir-Balçova	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	200	145	240
İzmir-Seferihisar	Seracılık	50	153	1,06
İzmir-Dikili+Bergama	Seracılık	115	165	200
İzmir-Çeşme	Balneolojik kullanım	350	57	3
Kırşehir-Terme	Konut Isıtması Balneolojik kullanım	388	55	19
Kütahya-Simav	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	476	162	39
Kütahya-Gediz	Konut Isıtması	112	97	1,5
Kütahya Şehir Merkezi	Konut ısıtması	14	53	3
Manisa-Urganlı	Seracılık Zemin ısıtması	120	62	54
Manisa-Salihli	Konut ısıtması Balneolojik kullanım Seracılık Zemin ısıtması	237	100	40
Nevşehir-Kozaklı	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	250	93	20
Rize-Ayder	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	42	55	0,29
Sakarya-Akyazı	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	293	84	2
Sakarya-Kuzuluk	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	271	84	30
Samsun-Havza	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	143	56	0,1
Sivas-Sıcak Çermik	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	832	49	1
Tokat-Niksar	Seracılık		32	0,14
Yalova- Termal	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	20	49	0,5
Yalova-Armutlu	Konut ısıtması Balneolojik kullanım		75	30
Yozgat-Sorgun	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	150	72	23

Çizelge 1.2. (devam)

Yer	Kullanım Türü	Debi(kg/s)	Sıcaklık (^{0}C)	Kapasite (MWt)
Yozgat-Sarıkaya	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	168	60	24
Yozgat-Yerköy	Konut ısıtması Balneolojik kullanım	60	60	31,5
TOPLAM				1007,33MWt

Batı Anadolu'da bulunan sıcaklıkları 80-120^{0}C'nin üzerinde olan jeotermal alanlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Aydın-Ömerbeyli-Germencik Jeotermal Alanı**: 1982 yılından itibaren çalışılmaya başlanılan saha, Büyük Menderes Grabeni'nin batısında bulunmaktadır. 203^{0}C- 232^{0}C arasında sıcaklığa sahip, toplam 9 adet kuyunun bulunduğu sahada 47.4 MWe kurulu güce sahip bir elektrik santrali (Gürmat Elektrik Üretim A.Ş.) özel bir şirket tarafından işletilmektedir. Kuyuların derinliği 285 m ile 2398 m arasında değişmektedir.

- **Aydın-Salavatlı Jeotermal Alanı:** Aydın ili sınırları içerisindeki Salavatlı Jeotermal Sahası'nda derinlikleri 1550 m ile 962 m arasında değişen, sıcaklıkları 168^{0}C'den 172^{0}C kadar yükselen toplam sekiz adet üretim ve üç adet re-enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Jeotermal sahada Menderes Geothermal Enerji Üretim A.Ş. tarafından 7.951 MWe kurulu güce sahip santral işletilmektedir.

- **Çanakkale-Tuzla Jeotermal Alanı:** Çanakkale'nin 80 km güneyinde bulunan sahada 814 m derinliğinde 173^{0}C sıcaklık elde edilmiştir. Bu sahada 7.5 MWe kurulu güce sahip bir elektrik santrali (ENDA Enerji Holding A.Ş. bünyesindeki Tuzla Üretim A.Ş.) özel bir şirket tarafından işletilmektedir.

- **Balıkesir-Gönen Jeotermal Alanı:** MTA'nın 1960'lı yıllarda başlayan jeotermal enerji arama çalışmalar ile Türkiye'nin en eski jeotermal sahalarından biridir. Gönen Park Oteli'nin 1964 yılında jeotermal enerji ile ısıtma uygulaması yapılmaya başlanan bu sahada Türkiye'de 1987 yılında ilk jeotermal ısı merkezi

açılmıştır ve halen ısıtma yapılmaktadır. Jeotermal sahada derinliği 133m-800m arasında değişen sıcak su kuyularının sıcaklığı 71^0C ile 84^0C aralığında bulunmaktadır.

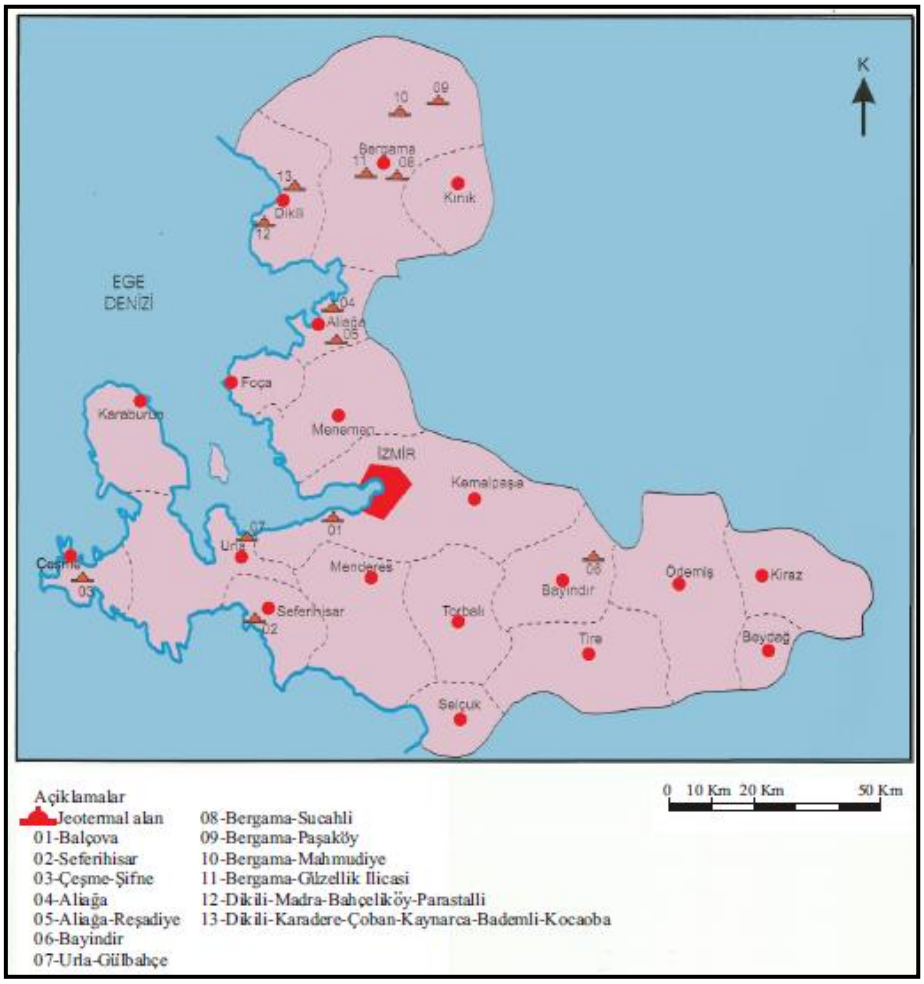
- **Denizli-Kızıldere Jeotermal Alanı:** Denizli ile Aydın illeri arasında Büyük Menderes Grabeni'nin batısında yer alan bu jeotermal sahada çalışmalar 1968 yılında başlamıştır. 1984 yılında devreye giren elektrik santrali Türkiye'nin ilk jeotermal elektrik santrali özelliğinde olup, 15 MW jeneratör kapasitesi ile elektrik üretilmektedir. Sahada bulunan kuyuların derinlikleri 550 m ile 2260 m arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklığın 242^0C olduğu sahada 120.000 ton CO_2 üretimi yapılmaktadır ve saha Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş. adına lisanslanmıştır.

- **Kütahya Simav Jeotermal Alanı:** MTA tarafından 1962 yılında başlayan jeotermal enerjiye yönelik çalışmalar, 1968 yılından itibaren hızlanarak devam etmiştir. Batı Anadolu'da Kütahya'nın Simav Graben Sistemi içerisinde olduğu kabul edilen jeotermal sistem Eynal, Çitgöl ve Naşa Kaplıcalarını içerisinde barındırmaktadır. Derinlikleri 65.8 m ile 958 m arasında değişen sıcak su kuyularının bulunduğu sahada ortalama jeotermal akışkan sıcaklığı 162^0C civarında bulunmaktadır.

- **Manisa-Alaşehir Jeotermal Alanı:** Temelde Paleozoik yaşlı şistler ve mermerlerin bulunduğu alanda, genel kırık doğrultuları B-D ve KB-GD'dur (Akkuş vd., 2005). Özellikle Alaşehir-Kavaklıdere'de yapılan son sondajlarda 287.5^0C sıcaklık elde edilmiştir. Özel bir firma tarafından gerçekleştirilen Alkan Köyü Muratlar Mevkii'ndeki son sondaj çalışmalıarından sonra, Piyadeler-1 ve Piyadeler-2 kodlu sondaj noktalarında bir takım sorunlar yaşanmaktadır.

İzmir ili de sıcak su kaynakları açısından oldukça zengindir (Şekil 1.7.). Batı Anadolu'daki hakim horst-graben tektoniğinin etkisi ile sıcak su noktaları tektonik hatlar boyunca gözlenmektedir. Önemli jeotermal alanlardan birkaçı şöyledir:

- **Seferihisar Jeotermal Alanı**: MTA tarafından açılmış olan 8 adet kuyu bulunan sahada sıcaklık 72^0C - 153^0C arasında değişmektedir. Jeotermal sistemin



Şekil 1.7. İzmir ili jeotermal alanları (Akkuş vd., 2005)

denize yakın oluşu deniz suyu girişimini sonuçlamakta ve suyun tuzluluk oranını arttırmaktadır. Bu bölgenin sıcak suları yer yer aşırı Cl içermekte, yer yer kabuklaşma ve korozyon özelliği taşımaktadır. İzmir Jeotermal A.Ş. 2007 yılında sahayı İzmir İl Özel İdaresi'nden devir almıştır.

- **Balçova-Narlıdere Jeotermal Alanı**: Türkiye'de Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü tarafından jeotermal enerji arama çalışmalarına 1963 yılında bu sahada başlanmıştır. Toplam 15 adet derin sıcak su kuyusu bulunan sahada ölçülen en yüksek sıcaklık 140^0C'dir. 1983 yılında Türkiye'de ilk kuyu içi eşanjörlü ısıtmanın yapıldığı sahada, ayrıca ilk kez 1996'da da frekans konventörlü (atmosferik hava sıcaklığına bağlı olarak jeotermal ve şebeke suyun debisini ayarlayıcı sistem)

jeotermal sistem uygulaması yapılmıştır. Sahanın işletmesi, İzmir Valiliği İl Özel İdaresi ve İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin %50 ortaklığı ile çalışmaları sürdüren İzmir Jeotermal A.Ş. tarafından yapılmaktadır. Kurulu gücü 150 MWt olan İzmir Jeotermal A.Ş.'nin 2011 ekim ayı sonu itibari ile ısıttığı konut sayısı 26.230'dur.

Balçova Jeotermal Sahası; ısıtma amaçlı kullanımda ülkemizde bir ilktir ve bu nedenle Türkiye'de jeotermal enerji ile ısıtmada önemli bir görevi bulunmaktadır (Çizelge 1.3.).

Çizelge 1.3. Balçova Jeotermal Sahası'nın etkin kullanımı

Saha	Kurulu güç (Mwt)	Isıtılan m^2	Abone sayısı	Konut sayısı	Kuruluş Yılı
Balçova-Narlıdere	150	2.623.000	16.269	26.230	29.10.1996

- **Çeşme-Şifne Jeotermal Alanı:** İzmir'in yaklaşık olarak 70 km batısında bulunan Çeşme-Şifne Jeotermal Alanı'nda Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü tarafından sondaj çalışmaları 1975 yılında Ilıca-(I-1) ile başlamıştır (Akkuş vd., 2005). Sıcaklıkları 57^0C-42^0C arasında değişen sıcak su noktaları halen kaplıca ve termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır.

- **Dikili-Bergama Jeotermal Alanı:** Bakırçay Havzası içerisinde yer alan Dikili ve Bergama ilçeleri İzmir'in yaklaşık 100 km kuzeyinde bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün 1977 yılında başlattığı jeotermal enerji araştırmaları sonucunda, Dikili civarındaki jeotermal alanlar; Nebiler, Kocaoba, Kaynarca, Bademli ve Çamur, Bergama ve civarı ise, Güzellik Kaplıcası, Allinaoi olarak da bilinen Paşa Ilıcası ve Dübek Mevkii olarak sayılabilir. Yunt Dağı volkaniklerinin hazne kayacı oluşturduğu bölgede sıcaklıkları 31^0C-130^0C arasında değişen termal kaynakların bulunduğu, 38 MWt kurulu güce sahip jeotermal saha, konut ısıtmasında, seracılık, kaplıca işletmeciliği ve balneolojik olarak kullanılmaktadır.

Anılan sahalarda sıcaklıklar elektrik üretimine uygun durumdadır. Dünya Jeotermal Kongresi 2010'da yapılan açıklamalara göre, dünyada elektrik üretimi için toplam kurulu gücün 8274 MWe olduğu bilinmekte ve ülkemizde de 81.61 MWe elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Kongrede öne sürülen 2020 yılı için hedeflenen jeotermal enerjiden elektrik üretimi 1000 MWe'tir. 765 MWe jeotermal enerji kapasitesinin 20,4'ünü elektrik enerjisine çevirebildiğimiz düşünülür ise; % 2.67'lik bir gerçek kullanım söz konusu olmaktadır.

Aşağıdaki çizelgede T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun resmi internet sitesinden 14.08.2011 tarihinde alınmış olan, işletilmekte olan ruhsatlı jeotermal sahalara ait bazı bilgiler verilmektedir (Çizelge 1.4.). Bu verilere göre ülkemizde bugün itibari ile jeotermal enerjiden elde edilen elektrik 94.2 MWe'tir.

Çizelge 1.4. TC Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na kayıtlı yürürlükte bulunan jeotermal saha ruhsatları

Şirket adı	Lisans Türü	Tesis yeri	Tesis türü	Kurulu güç (MWm)	Kurulu güç (MWe)	Lisans tarihi	Lisans no	Lisans süresi (yıl)	İnşa halindeki kapasite (MWe)	İşletmedeki kapasite (MWe)
Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş.	Üretim	Denizli ili Sarayköy ilçesi, Kızıldere Mevkii	JES	75	75	21.08.2008	EÜ/1723-44/1249	29 YIL 3 AY 17 GÜN	60	15
Tuzla Jeotermal Enerji A.Ş.	Üretim	Çanakkale ili Ayvacık-Gülpınar	JES	7.5	7.5	11.05.2004	EÜ/318-12/451	40		7.5
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Sultanhisar ve Köşk ilçeleri, Salavatlı Köyü	JES	9.5	9.5	27.12.2007	EÜ/1435-4/1040	40	0	9.5
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Salavatlı-Sultanhisar	JES	7.95	7.95	04.04.2003	EÜ/126-6/043	45		7.95
Gürmat elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Germencik	JES	47.4	47.4	23.03.2004	EÜ/308-2/423	45		47.4
Bereket Jeotermal Enerji Üretim A.Ş.	Üretim	Denizli ili Sarayköy-Kızıldere	JES	7.06	6.85	17.07.2003	EÜ/163-3/311	20		6.85

Çizelge 1.4. (devam)

Maren Maraş Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	Üretim	Aydın ili Germencik-Hıdırbeyli	JES	9.5	9.5	30.07.2009	EÜ/2191-2/1538	11.03 2039 tarihine kadar	9.5	0
Karkey Karadeniz Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Merkez- Köşk Umurlu Mevkii	JES	5	4.85	06.09.2010	EÜ/2756-11/1704	08.04.2039 tarihine kadar	4.85	0
Santral Enerji Üretimi San. ve Tic. A.Ş.	Üretim	Manisa ili Saihli-Caferbeyli Mevkii	JES	15	15	19.08.2010	EÜ/2709-13/1681	21.05 2039 tarihine kadar	15	0
Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş.	-	Sarayköy JES	JES	75			EÜ/1723-44/1249		60	0
Alres Enerji Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Nazilli-Sultanhisar Atça Mevkii	JES	0.5	9.5	28.12.2010	EÜ/2964-5/1764	12.05.2039 tarihine kadar	9.5	0
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Sultanhisar ve Köşk- Salavatlı Mevkii/DORA 3 JES	JES	34	34	19.08.2010	EÜ/2709-12/1680	02.08.2031 tarihine kadar	34	0

Çizelge 1.4. (devam)

Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın ili Sultanhisar ve Köşk- Salavatlı Mevkii/DORA 3 JES	JES	34	34	19.08.2010	EÜ/2709-12/1680	02.08.2031 tarihine kadar	34	0
Gümüşköy Jeotermal Enerji Üretim Anonim A.Ş.	Üretim	Aydın ili, Germencik-Gümüşköy-Gümüşköy JES	JES	15	15	24.02.2011	EÜ/3094-11/1845	09.02.2040 tarihine kadar	15	0
Zorlu Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Manisa ili Alaşehir ilçesi Alaşehir JES	JES	30	30	28.07.2011	EÜ/3338-2/2023	19.01.2040 tarihine kadar	30	0
Çelikler Jeotermal Elektrik üretim A.Ş.	Üretim	Aydın-Kuyucak-Pamukören JES	JES	30	30	26.05.2011	EÜ/3230-2/1957	19.07.2040 tarihine kadar	30	0
Çelikler Jeotermal Elektrik üretim A.Ş.	Üretim	Aydın-Sultanhisar JES	JES	9.9	9.9	26.05.2011	EÜ/3230-3/1958	01.07.2040 tarihine kadar	9.9	0
Kiper Elektrik Üretim A.Ş.	Üretim	Aydın-Nazilli-Kiper JES	JES	20	20	28.07.2011	EÜ/3338-1/2022	27.12.2040 tarihine kadar	20	0

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnceleme alanı gerek ekonomik gerekse turistik anlamda ülkemizin önemli bir jeotermal sahası olduğu için, jeotermal enerjinin önemi fark edildiği ve sıcak su sondajlarının başladığı yıllardan itibaren pek çok özel ve tüzel kişilik bu alanda incelemelerde bulunmuştur. Bu araştırma ve çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Serruya (1962): sahada yaptığı hidrojeolojik etütlere dayanarak Agamemnon Ilıcasının bulunduğu yerden geçen doğu-batı uzanımlı bir fay olduğunu belirtmiştir.

Akartuna (1962): İzmir-Torbalı ve Seferihisar civarında yaptığı çalışmalarda, Paleozoik metamorfik temelin üzerinde Üst Kretase filiş biriminin bulunduğu belirtilmiştir. Miyosen yaşlı kumlu, killi, çakıllı birimlerin uyumsuz olarak geldiği ve bunların paleontolojik bulguları ile yaş saptaması yapılmıştır.

Tezcan (1962): İzmir Agamemnon Jeofizik Etüdlerinin Jeotermik Enerji Bakımından Değerlendirilmesi başlıklı raporunda kaplıca suyu ile soğuk alüvyon suyu arasında 1/7 oranında bir rezistivite kontrastını saptayarak, kaplıca suyunun içinde bulunduğu ortamın rezistivitesini düşürdüğünü belirtmektedir. Araştırıcı, rezistivite değerlerinin minimum olduğu seviyelerin kaplıca suyunun en sıcak ve henüz karışıma uğramamış olduğu bölgeler olduğunu belirtmektedir.

Şamilgil (1964): İzmir Agamemnon Kaplıcaları'nda yapılan sondajlarda görev almış ve yapmış olduğu hidrojeolojik incelemeler sonucunda, alüvyon tabanında yer alan sıcak suların şistlerden gelen sularla, yüzey sularının karışımı olduğunu ileri sürmüştür. Bu raporda S-1 kodlu sıcak su kuyusundan 40 m derinlikte kuyu tabanında 124^0C sıcaklık elde edildiği belirtilmektedir.

Öngür (1972): İzmir-Urla çevresinde yaptığı incelemelerde gözlenen birime İzmir Filişi adını vermiş ve bu birimin üyelerini alttan üste doğru; Karabelen gnays üyesi,

Kavacık kuvarsit üyesi, Efemçukuru üyesi, Gödence kaba filiş üyesi, Kaya arkoz üyesi olarak ayırtlamıştır.

Eşder ve Şimşek (1975): İzmir filişini sınırlarının kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı faylarla sınırlandırarak, İzmir-Seferihisar-Cumaovası civarındaki birimleri Paleozoik yaşlı kristalin şist ve mermerler, metamorfiklerin üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi ve tabanda yeşil şist fasiyesi, Yeniköy formasyonu ve bu formasyonu uyumsuz olarak üstleyen Cumaovası volkanitleri şeklinde ayırtlamışlardır.

Yılmazer vd. (1977): İzmir Agamemnon jeotermal sahasında yaptıkları araştırmalarda, sıcak suyun kimyasal analizlerine uyguladıkları jeotermometrelerden 108^0C ile 150^0C arasında değişen değerlere ulaşmışlar ve bu sıcaklıkların düşük değerler olmasını sahada sıcak sulara yüzeysel su karışımının olduğu şeklinde yorumlamışlardır. İlk kez bu çalışmada bölgede bulunan fayların adı Agamemnon Fayı-I ve Agamemnon Fayı-II olarak anılmıştır.

Özgenç (1978): Çalışma alanındaki stratigrafide yer alan Cumaovası volkaniklerine ait yaptığı "Cumaovası (İzmir) Asit Volkanitlerinde Saptanan iki Ekstrüzyon Aşaması Arasındaki Göreli Yaş İlişkisi" başlıklı çalışmasında, Cumaovası bölgesindeki volkanik domları oluşturan riyolit ve perlit türündeki kayaç serilerinde yaptığı kimyasal analizler sonucunda bölgenin biri yaşlı, diğeri genç iki farklı ektrüzyon evrimi geçirdiğini belirterek, Cumaovası asit volkanitlerinin granitik bir magmadan türediğini ve kimyasal bileşimlerindeki farklılıkların magmatik farklılaşma olduğunun altını çizmektedir.

Yılmazer (1981): Balçova jeotermal sahasının termal kapasitesi ve kullanımı hakkında çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı, 1984'de yaptığı yüksek lisans çalışmasında ise, jeotermal sahada sıcak su çıkışını sağlayan fayları Agamemnon-I ve Agamemnon-II fayı olarak adlandırmıştır. Bunlardan ilki sıcak su çıkışında birinci derecede etkili olan faydır. Fayların doğrultuları sırası ile doğu-batı ve kuzeydoğu-

güneybatıdır. Araştırıcı bölgenin sularını kimyasal açıdan da incelemiş ve bu bölgenin sıcak sularının kalsit ve dolomit çökeltme eğiliminde olduğunu belirtmiştir.

Drahor (1983): sahada uyguladığı doğal uçlaşma yöntemi ile önceki çalışmalarda tespit edilen fayların varlığı doğrulanmıştır.

Ercan vd. (1981): Balçova jeotermal sahasındaki incelemelerinde hazne kaya derinliğini 800-1000 m civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Tansuğ ve Şatır (1983): Devlet Su İşleri İzmir II. Bölge Müdürlüğü'nce Balçova-İnciraltı-Narlıdere Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu başlığı altında hazırlanan raporda, yeraltı suyu akımının güneyden kuzeye doğru olduğu, yeraltı suyu beslenmesinin yağış, yüzeysel akışın alüvyon ve alüvyon konisinden yeraltına süzülmesi ve sulama sularının süzülmesi ile olduğu, boşalımın ise kuyulardan yeraltı suyu çekimi, buharlama-terleme ve çok az yeryüzüne ulaşan doğal kaynaklar yolu ile olduğu belirtilmiştir.

Yılmazer (1989): Balçova jeotermal sahasında yapmış olduğu doktora tezinde sahanın jeokimyasal özelliklerini, alterasyon mineralojisini ve jeotermal olanaklarını irdelemiştir. Araştırmacı, o dönemde sahada bulunan 9 adet sığ üretim kuyusuna ilişkin yaptığı hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda, sahanın sularını genellikle bikarbonatlı ve beslenme yönünün de kuzeyden güneye doğru olduğunu belirtmiştir. Ayrıca jeotermometre uygulamaları sonucunda ise 200^0C'lik bir hazne kaya sıcaklığından bahsetmektedir. Sahada bulunan 4 sığ kuyuda yaptığı çalışmada, elde ettiği alterasyon minerallerinden yola çıkarak sahanın kil mineralleri fasiyes dağılımını sunmuş ve X-Ray difraktometre analiz sonuçlarına göre, kaolinit+montmorillonit, kaolinit+montmorillonit, illit+montmorillonit+vermikulit ve illit+klorit olmak üzere sahada 3 zon belirlemiştir.

Yılmazer vd. (1989): Balçova jeotermal sahasındaki hidrotermal alterasyon verilerini değerlendirmişler ve araştırmalar sonucunda jeotermal sahada 3 alterasyon zonu belirlemişlerdir.

Yılmazer ve Büyükoktar (1989): Balçova jeotermal sahasının hidrojeolojisi ve koruma alanları raporunda Balçova jeotermal alanı sıcaklığının oluşumuna ilişkin jeotermal model geliştirilmiş ve yeraltı su tablası eş yükselti eğrileri haritası hazırlanmıştır. Ayrıca jeotermal alanda 3 farklı koruma zonu belirlenmiştir.

Çetiner vd. (2000): İzmir-Güzelbahçe ve Gülbahçe civarında yaptıkları jeotermal enerji arama çalışmasında, İzmir filişinin genel olarak killi şist matriksli olduğu ve genel olarak geçirimsiz olduğundan ve filişin içerisinde yer alan fay hatlarına bağlı olarak gelişen ikincil permeabiliteden bahsedilmiştir.

Aksoy (2001): Balçova-Narlıdere Jeotermal Sistemi olarak ele alınan sahada yapılan doktora çalışmasında sistem izleyici testleri yapılarak enjekte edilen suların rezervuardaki hareket yönleri ve hızları saptanmaya çalışılmıştır. B–9 kuyusuna yapılan re-enjeksiyonun aynı oranda devam edilmesi halinde sığ akiferden ısıtma amaçlı kullanımın olanaksız hale geleceğinin belirtildiği çalışmada, BD–2 kuyusundan yapılan re-enjeksiyonun derin üretim kuyularına etkisi olmadığı da belirtilmiştir. Ayrıca BD–2 kuyusundaki koruma borularında ve çimentolama problemleri nedeniyle, özellikle yüksek debili re-enjeksiyon yapıldığı takdirde suların yüzeye kadar çıktığı ve sığ akiferde kimyasal kirlenmeye neden olduğu da tespit edilmiştir.

Satman vd. (2002): jeotermal rezervuarın ve sistemin daha verimli işletilmesine yönelik çalışmalar yapmışlar, mevcut sistemin iyileştirilmesine yönelik olarak kaynak, üstyapı, yerbilimi çalışmaları, sondaj, formasyon değerlendirmesi, rezervuar mühendisliği, sahanın geliştirilmesi ve olası bir göçme sorunu ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır.

Doglioni vd. (2002): Batı Anadolu'nun tektoniğine yeni bir yaklaşım getirerek, Anadolu'nun Afrika Plakası tarafından sıkıştırılması ile Anadolu'nun batıya kaçışının Ege Denizi'ni kapatacağını belirtmişler, ancak böyle bir durum söz konusu olmadığı için bunu farklı merkezli GPS hız yönleri ile irdeleyerek yeni bir model oluşturmuşlardır.

Serpen (2003): "Türkiye'deki Balçova Jeotermal Sisteminde Hidrojeolojik Araştırmalar" başlıklı çalışmasında birkaç fay hattından oluşan kırık sistemi ile bölgesel tektoniğin KB-K-KD yönlü geçirimli hatlar yarattığından bahsetmektedir. Araştırmacı; Balçova Jeotermal Sisteminin Agamemnon Fayına bağlı olarak 2 km'lik bir çatlak zonu boyunca, yüzeye yakın seviyelerde neredeyse kaynama sıcaklığına ulaşan sıcak suların bulunduğu bir çatlak zon sistemi olarak ifade etmektedir. Sıcak suların örtülü iki yoldan deşarj olduğunu belirten araştırmacı, bunlardan birinin yüzeyden aşağıya doğru 100 m'lik seviyedeki alüvyon tabakası, ikincisinin ise daha derindeki 400-700 m arasında değişen derinliklerde bulunan, daha geçirgen olan ve tabakaları çok da iyi tanımlanmamış olan filiş formasyonu olduğunu belirtmiştir. Sistemin doğal çıkışının 2.5 kg/s, yüzey ısı boşalımını ise 9.5 MWt olarak tahmin edildiğinden bahsetmektedir.

Çetiner (2004): İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu'nda, BD-8 araştırma kuyusunun derinliği göz önüne alındığında, ülkemiz genelinde, 13"3/8 üretim ve 9"5/8 filtreli "casing" borusuna sahip ilk ve tek araştırma ve/veya üretim kuyusu olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu raporda, sahanın jeotermal enerji olanaklarının tektonik hatlara bağlı olarak, doğu yönünde devam ettiği anlaşılmış, ileride açılması planlanan BD–9 kuyusunun olası yeri saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca daha önceki yıllarda MTA tarafından Balçova Jeotermal Sahası için hazırlanmış olan "Koruma Alanları Sınırları"nın elde edilen veriler ile tekrar gözden geçirilmesi önerilmiştir.

Karahan vd. (2004): BD-9 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu'nda, BD-9'un iyi bir üretim kuyusu olduğu belirtilmiş, önceki incelemelerde saptandığı gibi, Balçova Jeotermal Sisteminin tektonik kontrollü olduğu, üretimin Agamemnon-I fay zonu boyunca gerçekleştiği yinelenmiştir. Ayrıca bu raporda, jeotermal sistemin doğu sınırının belirlenmesi amacı ile BD–9 sondajından daha doğuda olacak şekilde gradyan ve araştırma sondajlarının yapılması önerilmiştir.

Akkuş vd. (2005): Türkiye'deki jeotermal sahaların jeolojisini, kaynak ve kuyu bilgilerini, sıcak suyun kimyasal özelliklerini ve güncel kullanımlarına ilişkin

bilgilerin bir arada toplandığı Ankara Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü bünyesinde hazırlanan Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri'nde İzmir ilinde bulunan sıcak su kaynaklarının bulunduğu bölgelere ilişkin yapısal konumları ve kaynakları hakkında bilgi verilmektedir.

Aksoy (2005): Jeotermal enerji seminer kitabında yayınlanan Balçova-Narlıdere jeotermal sahası rezervuar gözlemleri adlı makalesinde; sahada bulunan kuyuların özelliklerini ve mevcut durumlarını anlatarak, sahada yönlü sondajların planlanması gerektiğini, net üretim artışında sahada kalıcı düşümlerin meydana geldiğini, %100 re-enjeksiyonun hedeflenmesi ve çökme riski incelemesinin yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Aksoy ve Serpen (2005): "Balçova Jeotermal Sahasında re-enjeksiyon çalışmaları" başlıklı çalışmasında, re-enjeksiyon işleminin jeotermal rezervuar işletmelerinin bütünleyicisi olduğunu, daha fazla enerji üretimi için, rezervuarı ve çevreyi koruma açısından, kapsamlı bir re-enjeksiyonun gerekli olduğunu, bu re-enjeksiyon noktalarının da Balçova Jeotermal Sisteminde sahanın uçlarında yer alması gerektiğini ve bu yeni işletme stratejisinin saha üzerindeki etkilerinin iyi gözlenmesi gerektiğini belirtmektedir. Sahanın enerji üretimi ve İnciraltı kesiminde, bora bağlı olarak gözlenen zirai faaliyetlerin kötü etkilenmesi açısından, sığ noktalara yapılan re-enjeksiyonun yanlış olduğunu vurgulayan araştırmacı, daha derin kuyulara re-enjeksiyon yapılmasının akışkanın daha derin ortamlarda ısınmasını sağlayacağının, sahanın kıyılarına yakın noktalara yapılan re-enjeksiyonun daha mantıklı olduğunun ve şu ana kadar sorun yaratmadığının altını çizmektedir.

Yılmazer ve Alacalı (2005): Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminin olası jeotermal enerji potansiyelinin önceki sondaj çalışmaları verilerine dayanarak, 10 km^2'lik bir alanda 1000 m kalınlığında rezervuar kayaç için, yapılan hesaplamalar sonucunda, 539.000.000 kcal/h olduğu belirtilmiştir.

Yıldız vd. (2005): İzmir-Balçova Jeotermal Sondajı BD-10 Kuyu Bitirme Raporu'nda, Balçova jeotermal alanının doğu sınırını belirlemek için BD-9

sondajından daha doğuda gradyan ve araştırma sondajlarının yapılması önermişlerdir.

Çakın vd. (2005): "Jeotermal uygulamaların çevresel etkileri: Balçova jeotermal bölgesel ısıtma sistemi örneği" başlıklı çalışmalarında; jeotermal uygulamaların olası çevresel etkilerini belirterek, Balçova'daki çevresel etkileri incelemişlerdir. Jeotermal su ve soğuk su kuyusunda herhangi bir jeotermal kökenli kirlilik belirlenememiştir. Ayrıca; anılan bölgede bina sayısı ve nüfus artışına bağlı olarak gerçekleşen hızlı ve plansız gelişmeye ile zamanla kuyu açılacak yer bulmada sıkıntı yaşanacağı ve sondaj çalışmalarının yaratacağı gürültünün kaçınılmaz olacağı belirtilmiştir. Sistemin genişletilmesi ile şehir bölge planlama çalışmalarının birlikte yürütülmesi önerilmiştir.

Alacalı (2006): "Balçova Jeotermal Sahasının Hidrotermal Alterasyon Verilerinin Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde sahanın hidrotermal alterasyon minerallerini inceleyerek, sahada 3 adet hidrotermal alterasyon zonu olduğunu belirtmiştir. Balçova jeotermal sahasını konvektif, düşük sıcaklıklı, sıvının etkin olduğu bir sistem olarak kabul eden araştırıcı BD-6, BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu derin sıcak su kuyularının verilerine dayanarak çizdiği eş-sıcaklık (hidro-isoterm) haritasına göre; BD-9 ve BD-10 kodlu sıcak su kuyularının sahanın her iki yönde sınırlarını oluşturduğunu ifade etmektedir ancak sahanın doğusunda açılacak olan sondajlarla bu sınırların netlik kazanabileceğinin altını çizmiştir. Bu çalışmada ayrıca heksahidrit mineralinin varlığından ilk kez bahsedilmiştir.

Sözbilir vd. (2008): Çalışmada İzmir Körfezi'ni oluşturan aktif faylar ve bu fayların kinematiği araştırılmıştır ve İzmir Fayı'nın bir segmentinin Balçova'dan Narlıdere ve Güzelbahçe'ye doğru uzandığı belirtilmektedir. İzmir Fayı'nın Batı Anadolu genişleme bölgesinin batı ucunda yer alan İzmir Körfezi'ni sınırladığı, yaklaşık 40 km uzunlukta, 500 m genişlikte, baskın olarak D-B uzanımlı, oblik atım bileşeni olan normal fay olduğu ifade edilmektedir. Araştırmacılar Balçova Jeotermal Sistemi'nin bu fay zonu üzerinde yer aldığını da ifade etmektedirler.

Özen vd. (2008): Araştırıcılar Bergama ve Dikili civarında yaptıkları çalışmalarda, bölgede Dikili jeotermal alanı ve Bergama jeotermal alanı olarak iki ayrı bölgede incelemişlerdir. Dikili jeotermal alanının Nebiler, Kocaoba, Dikili-Çamur, Kaynarca ve Bademli Ilıcaları, Bergama jeotermal alanının Güzellik Kaplıcası, Paşa Ilıcası ve Dübek Mevkii olarak gruplamışlardı. Bu bölgelerdeki termal kaynaklarda yaptıkları hidrojeokimyasal çalışmalar sonucunda, alanlardaki termal kaynakların sıcaklıklarının 31^0C-100^0C, toplam debilerinin 200 l/s civarında, su tiplerinin Na-HCO_3-SO_4 ve kısmen Na-Ca-HCO_3-SO_4 tipinde olduğunu belirten araştırıcılar, Dikili-Bergama termal kaynaklarının işleyiş mekanimasını yağış sularının kırık ve çatlaklardan yeraltına süzülerek derinlerde ısınması ve tektonik hatları izleyerek sıcak su noktaları olarak yüzeye çıkması olarak ifade edilen "devirli sistem" olarak nitelemektedirler. Yunt Dağı volkaniklerinin bölgede bulunan sıcak suların hazne kayacını oluşturduğunu belirtmektedirler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde Balçova ilçesi sınırları içerisinde yer alan çalışma alanının tanıtımı, jeomorfolojik açıdan özellikleri, iklim ve bitki örtüsü, yerleşimi, ulaşımı ve ilçede yaşayan nüfusun ekonomik durumu ile ilgili bilgiler verilmiştir.

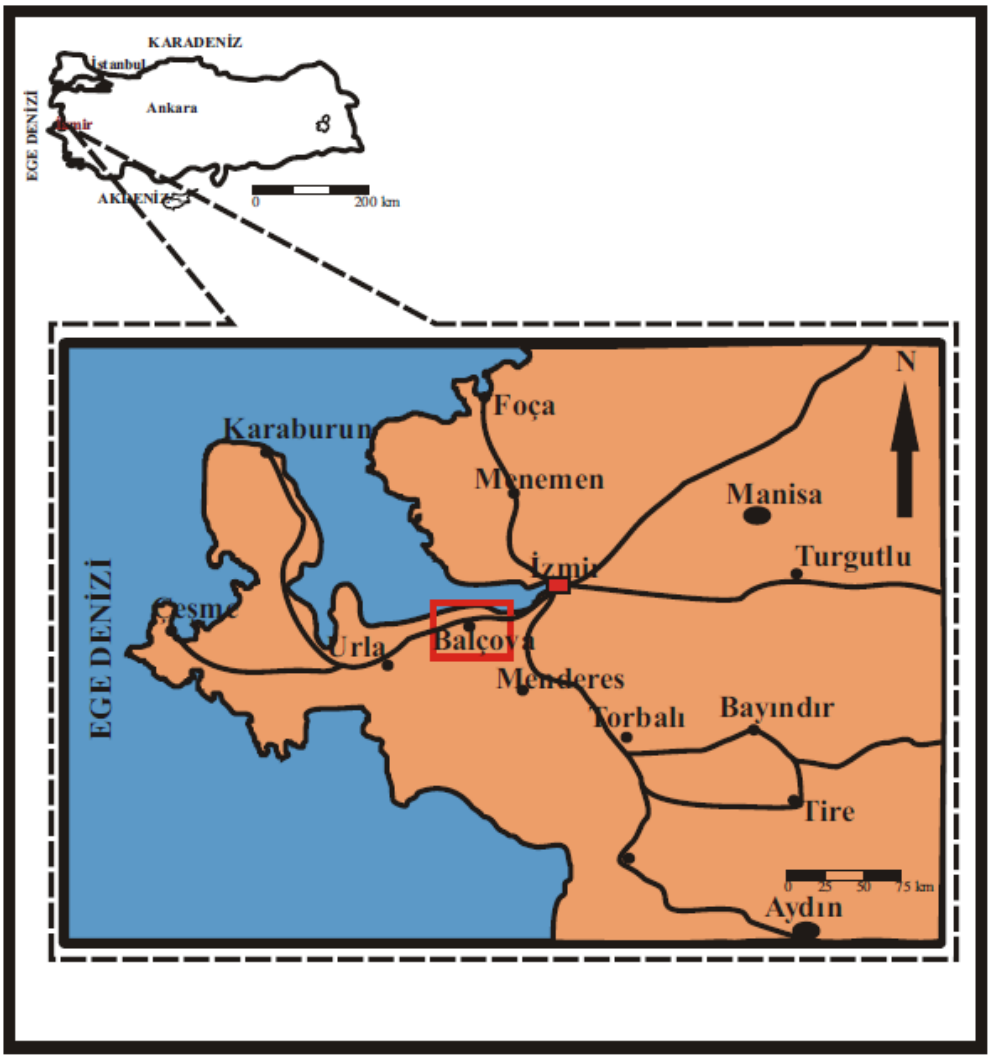
3.1.1. Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı Ege Bölgesi sınırları içerisindeki İzmir ili, İzmir- L18A1–1, L18A4–1, L17B2–1 ve L17B3–1 paftaları içerisinde yer almaktadır ve kuzeyde İzmir Körfezi, güneyde Efem Çukuru Köyü ve Karabelen Tepe, doğuda Buca, Karabağlar ve Konak ilçeleri, batıda Narlıdere ilçesi ile sınırlıdır (Şekil 3.1.).

Balçova ilçesinde yerleşim, ilçenin güneyinde bulunan Dede Dağı'nın (432 m) kuzey kesiminde, doğu-batı uzanımlı doğrultu atımlı fayın düşen bloğu üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışılan alan, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada ilçe L18A1–1, L18A4–1, L17B2–1 ve L17B3–1 paftaları içerisinde kalmaktadır. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi çalışmalarına göre, 31.12.2010 tarihi itibarı ile ilçenin nüfusu 77.767'dir. İlçeye bağlı köy bulunmamaktadır.

3.1.2. Jeomorfoloji

Yüzölçümü 2890 hektar (29 km^2) olan Balçova'da bulunan yükseltiler Karabelen Tepe (1040 m), Ardıçlı Tepe (1020 m), Çatalkaya Tepesi (888 m), Teleferik (Dede Dağı) (432 m)'dir. Ali Onbaşı Deresi, Ilıca Deresi, Hacı Ahmet Deresi, Yahya Deresi ve Sarıpınar Deresi de bölgenin akarsularını oluşturmaktadır. Bu akarsulardan ilk üçü mevsimsel akış göstermektedir. Bu derelerden Yahya Deresi ve Sarıpınar Deresi Hacı Ahmet Deresi ile birleşerek, Ali Onbaşı Deresi ve Ilıca Deresi İnciraltı'nda denize ulaşarak son bulurlar. Ilıca Deresi üzerinde, Çıtak Mevkii'nde 1979 yılında



Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

kurulmuş olan Cengiz Saran Barajı ve baraj gölü bulunmaktadır. İlçenin İnciraltı sahilinde yaklaşık 6 km'lik bir sahil şeridi bulunmaktadır.

3.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölge, Ege Bölgesi'nin tipik Akdeniz iklimi etkisi altındadır. İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nün İzmir ili, Balçova ilçesi ve çevresine ait 1938–2010 yılları arasındaki sıcaklık ve düşen yağış miktarına ilişkin verileri incelendiğinde, ilde m^2'ye düşen yağış miktarı en fazla Aralık-Ocak ve Şubat aylarında, en az miktarı ise Haziran-Temmuz ve Ağustos ayları olarak belirlenmektedir. Bölgeye hakim olan

iklim, etkisini bitki örtüsünde de göstermekte olup, genelde kıraç bir arazi gözlenmekle birlikte, dere kenarlarında yer yer makilikler de bulunmaktadır. Dede Dağı'nın özellikle kuzey yamacı ise çam ağaçları ile kaplıdır.

3.1.4. Ekonomik Durum

Ilıca Deresi üzerinde bulunan, maksimum göl hacmi 8.1 hm^3 ile 1979 yılında hizmete sunulmuş olan Balçova Cengiz Saran Barajı, yıllık ortalama 12.4 hm^3'lük su akışına sahiptir ve bölgenin önemli hidrolojik yapılarından birisidir. İzmir İçme Suyu Projesi kapsamındaki barajın arıtma tesisi 1984 yılında işletmeye alınmış olup, İzmir ili içme suyu ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Çalışma alanında güney kesiminin engebeli olmasından dolayı yerleşim merkezinin kuzeyde, Balçova Ovası'nda konumlandığı Balçova ilçesinde, büyük bir bölümü sınırları içerisinde bulunan jeotermal kaynaklar nedeniyle seracılık yaygındır. Narenciye, sebze ve meyve üretiminin yanı sıra, özellikle süs bitkisi yetiştiren seralardan yurt dışına çiçek ihracatı yapılmaktadır. Endüstriyel anlamda pek de önemli işletmeleri bulunmayan ilçenin ekonomisine bölgede bulunan otellerin ve alışveriş merkezlerinin katkısı büyüktür. Konut ısıtması, seracılık, sağlık amaçlı turizm gibi çeşitli alanlarda kullanılan jeotermal potansiyelin yanı sıra, sınırları içerisinde bulunan Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi ve Hastanesi, Dokuz Eylül Güzel Sanatlar Fakültesi ve Ekonomi Üniversite de ilçe ekonomisine canlılık kazandırmaktadır. Ayrıca Aydın-Çeşme çevre yolu sayesinde Adnan Menderes Havaalanı'na 15 dakikalık bir uzaklıkta bulunan ilçenin karayolu açısından herhangi bir sorunu bulunmamaktadır.

3.2. Yöntemler

Bu bölümde çalışma alanının jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji, yüzey ve yeraltı suyu hidrojeokimyası, izotop jeokimyası ve örnek alımı çalışmalarında yapılan arazi, laboratuvar ve masa başı çalışmaları tanıtılmıştır.

3.2.1. Stratigrafi

Çalışma alanında gözlenen stratigrafik ve yapısal özellikleri belirlemek üzere, jeoloji haritasının hazırlanması ve birimlerin ayırtlanması, önceki araştırmacıların belirlediği isimlendirmelere bağlı kalınarak, yapılmıştır. Çalışma alanına yönelik daha önceden yapılmış olan çalışmalar detaylı olarak incelenmiş ve bu veriler arazide yapılan çalışmalar ile desteklenerek birimler stratigrafik özelliklerine göre ayrılıp, genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti ve 1:25.000 ölçekli jeoloji haritası güncellenmiştir.

3.2.2. Hidroloji

Çalışma alanını da içeren ve İzmir Devlet Meteoroloji İstasyonuna ait veriler kullanılarak bölgenin yağış ve buharlaşma karakteristiği belirlenmiştir. Meteoroloji istasyonunun yağış verilerinden yararlanılarak bölgeye düşen ortalama yağış miktarı hesaplanmıştır. Yıllık gerçek buharlaşma değerinin hesaplanmasında Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. Thornthwaite yöntemine ilişkin formül ve açıklamaları aşağıda verilmektedir:

t: Aylık ortalama sıcaklık (C^0)
i: Aylık sıcaklık indisi
I: Yıllık toplam sıcaklık indisi
Etp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm)
p: Enlem düzeltme katsayısı
i: [(t/5)]1.514
I:Σi
a= 6.75x10-7xI3-7.71x10-5xI2+1.79x10-2xI+0.492
Etp=16x[(10xt)/I]axp

3.2.3. Hidrojeoloji ve Hidrojeokimya

Çalışma alanındaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelenerek, hidrojeolojik özelliklerine göre ayırtlanmıştır. Çalışma alanında bulunan sıcak su kuyularının

özellikleri, su tipleri, sahada dolanımda olan suyun kökeni belirlenmeye çalışılmış olup, olası rezervuarın sıcaklığı irdelenmiştir. Ayrıca bölgede gözlenen tektonizmanın hidrojeolojik yapıya etkileri yorumlanmaya çalışılmıştır.

3.2.4. Örnek Alımı ve In-situ Analiz Yöntemleri

Araziden alınacak olan örneğin ortamı tam anlamıyla temsil etmesi bakımından, örneğin alım şeklinde, laboratuvara naklinde ve analiz yapılana kadar korunmasında dikkat edilmesi gereken noktalar ve uyulması gereken standartlar bulunmaktadır. Bu çalışmada da örnek alımında alınan örnekler polipropilen örnek şişelerine konmuştur. Örnek alınan her lokasyonda anyon ve katyon için ayrı ayrı 100 ml'lik polipropilen şişeler kullanılmıştır. Şişeler örnek alınmadan önce en az üç kez örnek suyu ile çalkalanmış, örnek alındıktan sonra ise; içerisinde hava kabarcığı kalmamasına özen gösterilerek ağızları kapatılmıştır. Laboratuvara nakli sırasında alınan örneklerdeki katyon içeriğinin korunması amacı ile derişik HNO_3 (%0,2) eklenerek pH<2 olması sağlanmıştır. Duraylı izotop analizleri için ($\delta^{18}O$ ve δD) 1 adet 100 ml'lik, trityum (^3H) analizleri için 500 ml'lik polipropilen örnek şişeleri kullanılmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında (Ekim 2010 ve Şubat 2011) 19 lokasyondan toplam 39 adet örnek alınmıştır. Alınan örneklerin 12 adedi sıcak su, 1 adedi soğuk su, 26 adedi sondaj kırıntısından alınan örneklerdir. Alınan örneklerden 13 adet su örneğinde in-situ ve hidrojeokimyasal analizler, 3 adet örnekte izotop analizleri ve 22 adet sondaj kırıntısı örneğinde XRD analizleri yapılmıştır. Koordinatları ölçülen lokasyonlardaki yerinde yapılan ölçümlerde, alınan örneklerin sıcaklığı (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), redoks potansiyeli (Eh), elektriksel iletkenliği (EC), su içerisinde çözünmüş bulunan oksijenin miktarı (O_2) ve toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) belirlenmiştir. Laboratuvara gönderilen örneklere ait hidrojeokimyasal analizler ise bir ay içerisinde tamamlanmıştır. Tüm in-situ ve hidrojeokimyasal analizlerin yapılması aşamasında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde bulunan cihazlardan yararlanılmıştır (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Çalışma alanında kullanılan in-situ ölçüm cihazları ve özellikleri

In-situ ölçüm parametresi	Ölçüm birimi	Cihazın adı ve markası
Sıcaklık, T	^{0}C	Termometre-Testo-95-1
H konsantrasyonu, pH		pH metre-WTW 330i
Redoks potansiyeli, Eh	mV	pH metre-WTW pH95
Elektriksel iletkenlik, EC	µS/cm	Elektriksel iletkenlik ölçer-WTW cond 330i ve 340i
Çözünmüş oksijen içeriği, O_2	mg/l	Oksimetre-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinite test kiti-Merck Aquamerck 11109
Asidite	mmol/l	Asidite test kiti-Merck Aquamerck 11109

3.2.5. Hidrojeokimyasal Analiz Yöntemleri

Çalışma kapsamında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde faydalanılan cihazlar aşağıda tanıtılmıştır. Cihazlara ait özellikler ise Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Hidrojeokimyasal analizlerde kullanılan cihazlar ve özellikleri

Analiz parametresi	**Cihazın adı**	**Analiz metodu**
Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{2+}, Pb^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Al^{2+}, Si^{4+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Mn^{2+}, As^{+5}, Li^{+}, B^{+3}	Perker Elmer ICP-OES 2100 DV	Optik emisyon spektrometresi
Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, NO_2^{-}, PO_4^{2-}, F^{-}	Merck-Spectroquant Nova 60	Spektrofotometrik
HCO_3^{-}, CO_3^{2-},	Merck-Aquamerck- test kitleri	Titrimetrik
^3H	Kütle spektrometresi	Sıvı sintilasyon sayım
δ^2H ve $\delta^{18}O$	Kütle spektrometresi	Sıvı sintilasyon sayım

Spektrofotometre, monokromatik ışın üreten bir cihazdır. Kaynaktan çıkan ışın demeti monokromatör yardımıyla tek dalga boylu ışına dönüşür ve bu ışın cam bir küvetin içindeki sıvı örneği aydınlatır. Örnekten geçen ışının bir bölümü soğurulur. Soğurulan fotonların miktarları konsantrasyonla ilgilidir. Soğurulmuş ışın dedektör tarafından algılanır ve algılanan ışın elektrik enerjisine dönüştürülerek ölçüm yapılır.

ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) cihazının temel prensibi yüksek derişimde katyon ve buna eşdeğer derişimde elektron içeren, elektriksel olarak iletken bir gaz ortamı olan plazmada, atomlar ve iyonların uyarılması sonucu yaydıkları emisyonun ölçülmesidir. Plasma şeklen alev gibi görünse de, yanma olayı yoktur. ICP kaynağı iyonlaşmış bir argon gazı akışı ile genellikle 27 veya 40 MHz'lik güçlü bir radyofrekans alanının eşleştirilmesi ile elde edilir. Örnek genellikle sıvı fazda, aerosol şeklinde yüksek sıcaklıktaki plasmaya gönderilir. Bu tanecikler plasmada sırasıyla kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve oluşan atom ve iyonlar uyarılır. Analit elementin atomik ve iyonik çizgileri bir spektrometre ve uygun bir bilgisayarla değerlendirilerek analiz tamamlanmış olur.

X-Ray Difraktometre (XRD) cihazında; ışımaya tabii tutulan örneklerde, ışıma sırasında difraksiyonun olabilmesi için saçılım merkezlerinin arasındaki uzaklığın dalga boyu ile λ aynı olması gerekmektedir. Bu durum; Bragg'in $n\lambda=2dSin\theta$ formülü ile ifade edilir (Moore ve Reynolds, 1989). Minerallerdeki tipik düzlemsel aralık (spacing) birkaç Å'dur. Angström birimi (Å), mineral kristalografisinde kullanılan ve 10^{-8} cm'e karşılık gelen bir birimdir. Çok iyi öğütülmüş olan örnek bu cihazda sabit dalga boyunda X ışınlarına tabii tutulduğunda, atoma çarpan ışınlar elektronlar tarafından aynı dalga boyunda ve her yönde saçılırlar. Yansıyan ışın ve yoğunluğu goniometre ile kaydedilir. Kaydedilmiş olan yansıma açısı atomlar arası aralık hesaplamasında kullanılır. Işımanın yoğunluğu ise değişik aralıkları (d-spacing) elemek için kullanılır. Elde edilen aralıklar mineral tablosunda değerlendirilir. X ışınlarının dalga boyları 0.5 ile 10 Å arasında değişmektedir. Ayrıca X-Ray difraktogramları tepe noktası, tepe yoğunluğu ve tepenin oluşum şekli (sivri, yayvan, vs) açısından da mineral tayininde kullanılır. Örneğin killerdeki kuvars mineralleri iyi kristalize oldukları için, difraktogramda daha keskin tepe noktasına sahip olurlar. Bazı durumlarda, X-Ray sonuçlarından şüphe duyulabilir ve örneğin sadece kuru toz analizine bağlı kalınmaz. Örneğin klorit ve kaolinit mineralinin karşılaştırılması gibi durumlarda, örnekler ısıtma işlemine tabii tutulurlar. 550^0 C'ye kadar ısıtılan kaolinit, kaybolan su içeriği ile 7 Å'luk bir düşüş gösterir. Klorit ise yoğunluk bakımından 14 Å artar. Bu sıcaklıkta demirce zengin klorit dehidrolize olabilir, klorit daha yaykan-oval, kaolinit daha sivri tepe noktasına sahiptir. Çalışma kapsamında üniversite

laboratuarında bulunan Panalytical X PERT PRO MPD marka cihaz difraktometre analizinde kullanılmıştır.

İzotop çalışmalarında kütle spektrometresi kullanılır. Kütle spektrometresi, katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10.000 ^{0}K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarından oluşur. Örnekteki tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında değişen, oldukça kısa bir zaman diliminde ölçülür.

İzotop analizleri ($\delta^{2}H$ ve $\delta^{18}O$ ve ^{3}H) Neuherberg (Almanya) Hidroloji Enstitüsü'nde yapılmıştır. $\delta^{2}H$ ve $\delta^{18}O$ analizleri kütle spektrometresi, trityum (^{3}H) analizleri ise elektrolitik zenginleştirmeden sonra sıvı sintilasyon sayım yöntemiyle yapılmıştır.

3.2.5.1. Hidrojeokimyasal Çalışmalarda Anyon ve Katyon Değerlerinin Önemi

Jeokimyasal çalışmalarda suyun bileşimindeki anyon ve katyonların miktarları, birbirlerine oranları jeotermal sistemin yapısı hakkında bilgi vermektedir. Başlıca anyonlar Cl^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{-2}, F^{-}, Br^{-} ve I^{-}; katyonlar ise Na^{+}, K^{+}, Li^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Rb^{+}, Cs^{+2}, Mn^{+2}, Fe^{+2} olarak sıralanmaktadır (Nicholson, 1993).

Klor (Cl^{-}): Doğal sularda bulunan birincil elementlerden biri olan klorür (Cl^{-}) konsantrasyonları, jeotermal kaynakların bulunduğu noktalardan alınan su örneklerinde yüksek ise; rezervuarın derin olduğu, kondüktiv soğuma ve karışımın en az olduğu bir ortamdan olan beslenmeyi işaret etmektedir. Sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerindeki düşük Cl^{-} değeri, yer altı suyu seyrelmesini göstermektedir (Nicholson, 1993). Klorür iyonları, çözünürlüğünün yüksek olması nedeni ile buharlaşma ve donma dışında çökelmez (Şahinci, 1991a). İsoklorür eğrileri, jeofiziksel verilerle birlikte değerlendirilerek, jeotermal sahalarda upflow (yükselim-beslenim) veya inflow (girişim) zonlarının belirlenmesinde de kullanılabilir. Örneğin

yüksek Cl^- değerleri yükselim zonlarına, düşük Cl^- değerleri ise jeotermal sistemin sınırlarını ve yer altı suyu girişiminin olduğu bölgeleri göstermek üzere kullanılabilir. Ayrıca kaynama ve seyrelme etkilerinin irdelenmesi açısından Cl/B, Cl/As, Cl/HCO_3 gibi diğer elementlerle olan oranları da önemlidir. Klorür içeriği 1000mg/l ve üzeri olan sular klorürlü (Cl^- tipli) sular olarak sınıflandırılmaktadır (Nicholson,1993). Halit'e ek olarak (NaCl), denizsuyu, tuzlu sular ve sıcak su çıkışları en yaygın Cl^- kaynakları olarak sıralanabilir.

Bikarbonat (HCO_3^{-2}): Karbonatların (HCO^-, CO_3^{-2}, H_2CO_3 veya CO_2) çözünürlüğü karbondioksitin kısmı basıncı (P_{CO2}), sıcaklık, iyonlaşma gücü, basınç ve H^+ iyon derişimi gibi faktörlere bağlıdır (Şahinci, 1991). Derin kökenli akışkanlarda da durum değişmez (Nicholson, 1993). Sularda alkalinitenin başlıca kaynağı HCO^- ve CO_3^{-2} iyonlarıdır. Karbondioksit atmosferde % 0,03 oranında bulunmaktadır ve kısmı basıncı 0.0003 atmosferdir. CO_2'nin kısmi basıncı toprakta; organik maddelerin parçalanmasına bağlı olarak, 10-100 katı olabilir (Hounslow, 1995). Sıcaklık artışı ile meydana gelen kaynama sırasında CO_2 gazının azalması, çözeltinin pH değerini arttırarak suyun alkali özellik kazanmasına neden olur. pH değeri 8.2'nin üzerinde ise; bikarbonat iyonları, karbonat ve hidrojen iyonlarına ayrılır. pH 8.2'nin altında ise; HCO_3^- iyonları egemen iyondur. Yer altı sularında 10 mg/l-800 mg/l arasında değişen miktarda HCO_3^- iyonu bulunur (Şahinci,1991a).

Sülfat (SO_4^{-2}): Yüksek kimyasal etkinliği ile önemli inorganik kükürt bileşiklerinden sülfat iyonu (SO_4^{-2}) konsantrasyonu derin kökenli jeotermal akışkanlarda genellikle düşüktür (<50 mg/l) ancak hidrojen sülfürün (HS^-) oksidasyonu ile (SO_4^{-2}) konsantrasyonu da artar (Şahinci, 1991a, Nicholson, 1993). Bu oksidasyon reaksiyonunun jeotermal sistemin yer altı su tablasının üzerinde ve sığ bir derinlikte gerçekleşmesi durumunda sıcak suların asit özelliği artar.

Florür (F^-): Jeotermal akışkanların florür (F^-) içeriği genellikle 10 mg/l'den azdır ve florür tüm diğer elementlerden daha etkindir. Florür çökelmesi, özellikle toplam çözünmüş tuz miktarı 0.01-10 mg/l arasında olan sularda çok hızlıdır ve çökelim tamamlandığında suda kalan florür miktarı çok azdır (Şahinci, 1991a). Yüksek CO_2

kısmı basıncı sonucu kalsitin çökelerek ortamdan Ca iyonlarının uzaklaştırıldığı derin jeotermal akışkanlar dışında, yüksek sıcaklıktaki akışkanlarda düşük konsantrasyonlarda bulunur. Bu nedenle, yüksek florür konsantrasyonu düşük Ca seviyeleri ile ilişkilendirilmektedir. Ender olarak volkanik gazların (HF^-) meteorik sulara yoğuşması sonucu yüksek florür değerleri görülebilir ancak bu durumda oldukça yüksek konsantrasyonlarda Cl^- ve SO_4^{-2} seviyeleri ile birlikte oluşur (Nicholson,1991). Florür konsantrasyonları riyolit, pomza ve obsidiyen gibi volkanik kayaçların bulunduğu bölgelerde, ana kayası sedimanter olan bölgelerden daha yüksektir (Mahon, 1964).

Brom (Br^-): Doğada çok az rastlanır ve başlıca kaynakları deniz suyu, tuzlu yer altı suları, potasyumlu tuz yatakları ve tuz gölleridir (Şahinci,1991a). Deniz suyu 65 mg/l brom içermektedir (Collins, 1975). Jeotermal akışkanlarda Br^- içeriği genelde düşüktür ancak Br/Cl ve Br/I oranları denizsuyu girişiminin olup olmadığının irdelenmesi açısında belirleyici olarak kullanılmaktadır (Nicholson, 1993).

İyot (I^-): İyot, organik bileşikler açısından zengin sedimanter kayaçlarla ilişkili sularda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

Sodyum (Na^+): Alkali metaller arasında yer kabuğunda en fazla bulunan sodyum elementinin başlıca kaynakları halit (NaCl), deniz suyu (ortalama 1035 mg/l), sıcak su kaynakları, tuzlu sular, bazı silikatlar ile nakolit ($NaHCO_3$) gibi nadir minerallerdir. Sodyum silikatların en yaygın olanı plajioklaslardan albit ($NaAlSi_3O_8$) ve nefelin ($NaAlSiO_4$)'dir. Sodyum çoğunlukla doğal iyon değişimi ile açığa çıkar. Doğal yumuşama olarak da bilinen Na-montmorillonit kilinin kalsiyum ve magnezyum ile reaksiyonu sonucu sodyum açığa çıkar (Hounslow, 1995).

Potasyum (K^+): Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık eşit miktarlarda bulunmalarına karşın, sodyum magmatik kayaçlarda, potasyum ise tortul kayaçlarda egemen katyondur (Şahinci,1991a). Potasyum kaynaklarından başlıcaları potasyum feldispat ($KAlSi_3O_8$), mika ($Kal_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$) ve daha az yaygın olarak lösit

($KAl\ Si_2O_6$) ve silvittir (KCl). En basit anlatımı ile potasyum killerin bünyesine girdiğinde reaksiyon illit mineralinin oluşumu ile sonuçlanır (Hounslow,1995).

Sodyum ve potasyum elementlerinin birbirine olan oranları, Na/K iyon değişim jeotermometresinin ana prensibini oluşturan sıcaklığa dayalı mineral-akışkan dengesi ile kontrol edilmektedir. Sodyum 200 mg/l – 2000 mg/l arasında değişen konsantrosyonlarda jeotermal rezervuar akışkanın ana katyonudur. Potasyum da bir diğer ana katyon olmakla birlikte sodyumdan daha az miktarda bulunur (kabaca Na^+ konsantrasyonunun 1/10'u kadar K^+). Na/K oranı yüksek sıcaklık zonlarını işaret eder. Düşük Na/K oranı (~<15) yüzeye hızla ulaşan suları belirtir, dolayısı ile yükselim yapıları veya geçirgen zonlarla da ilintilidir. Daha da yüksek oranlar ise yanal akış, yüzeye yakın gerçekleşen reaksiyonlar ve kondüktiv (iletim yolu ile) soğumayı gösterir (Nicholson, 1993).

Kalsiyum (Ca^{+2}): Yer altı sularında kalsiyumun kökeni kalsit ($CaCO_3$), aragonit ($CaCO_3$), dolomit (($CaMg(CO_3)_2$), anhidrit ($CaSO_4$) ve jipstir ($CaSO_4.2H_2$). Ayrıca magmatik ve metamorfik kayaç minerallerinden olan apatit (($Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$), vollastonit ($CaSiO_3$), flüorit (CaF_2), amfibol ($NaCa_2(Mg,Fe,Al)Si_8O_{22}(OH)_2$) ve piroksen grupları (diyopsit, $CaMgSi_2O_6$) ile bazı feldispatların bozunumundan ortaya çıkan kalsiyum iyonları yer altı suyuna geçer (Şahinci, 1991a). Bu minerallerin çözünürlüğünü etkileyen faktörler jeotermal akışkandaki Ca seviyesini de etkiler. Bu noktada CO_2'nin kısmı basıncı önemlidir zira kaynama sırasında ortamdan uzaklaşan CO_2 kalsiyumun çökelmesine sebep olur. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlarda Ca^{+2}konsantrasyonu düşük seviyelerdedir (~<50 mg/kg) ancak asidite ve tuzluluk ile artar (Nicholson, 1993). Yer altı sularında ise 10-100 mg/l arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır (Şahinci, 1991a). Yüksek değerlerde seyreden Na^+/Ca^{+2} oranı da, yüksek Na^+/K^+ oranı gibi; daha ziyade rezervuardan direk beslenmenin olduğu upflow (yükselim) zonlarını gösterir (Nicholson, 1993).

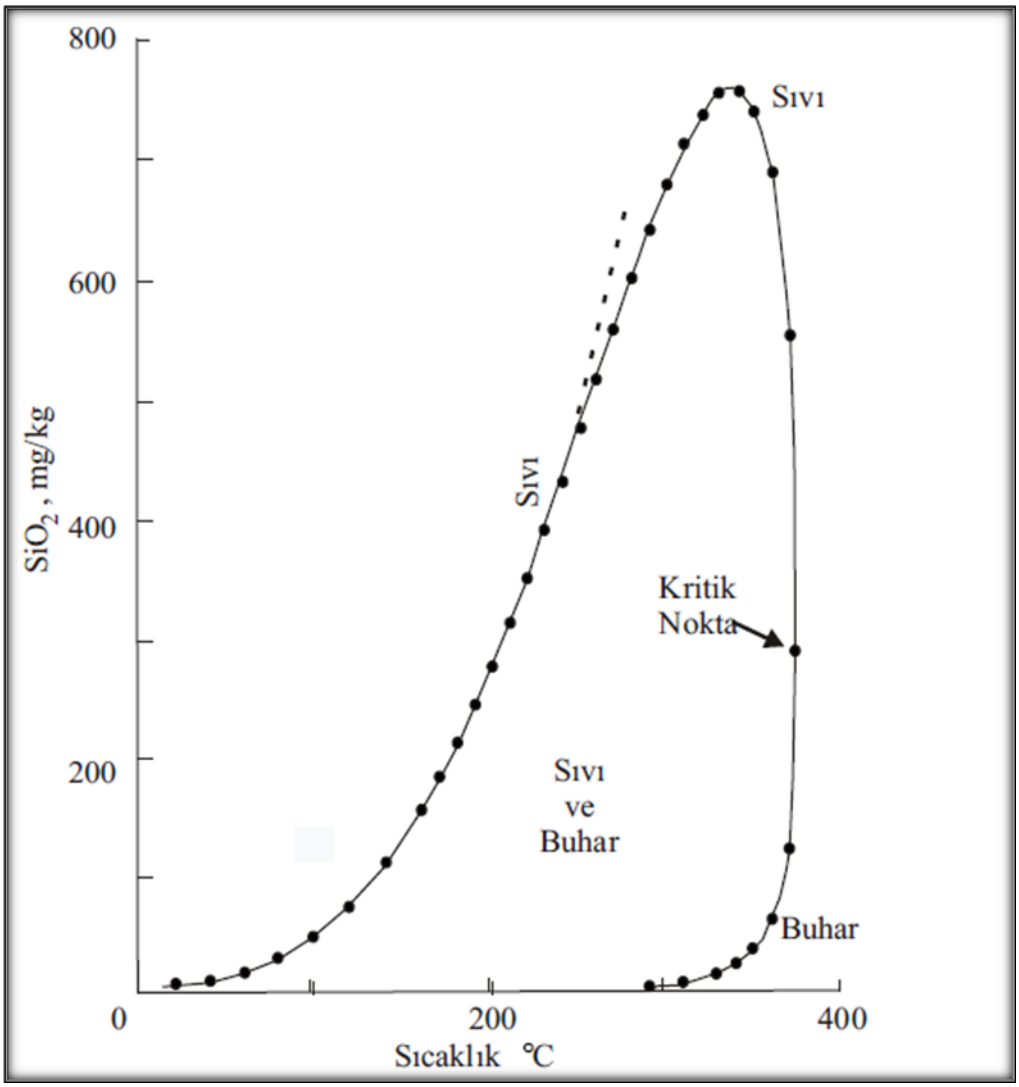
Magnezyum (Mg^{+2}): Yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardaki magnezyum (Mg^{+2}) seviyesi genellikle oldukça düşüktür (0.01-0.1mg/kg) ve alterasyon sonucu oluşan ikincil minerallerden, özellikle montmotillonitin

($Ca(Al,Mg,Fe)_4(Si,AL)_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$) ve kloritin ($(Mg,Al,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$) bünyelerinde bulunur. Yüksek Mg^{+2}konsantrasyonları yüzeye yakın kesimlerdeki yerel kayaçlardan yıkanarak ortamı Mg^{+2}'ce zenginleştiğini ya da Mg^{+2} içeriği yüksek yer altı sularıyla seyrelme işleminin gerçekleştiğini göstermektedir (Nicholson, 1993).

Alüminyum (Al^{+3}): Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarlarda bulunmasına karşın, az çözünmesi nedeni ile yer altı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH 5-9 arasında alüminyum, sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yer altı sularında 0.005-0.3 ppm olan alüminyum değeri, asitli sularda 100 ppm'e kadar yükselebilir (Şahinci, 1991a). Klorürlü sularda ise oldukça düşük seviyelerde (~<0.02 mg/kg) seyreder. Her ne kadar durağan olarak kabul edilse de, alüminyumun silika ile olan çökelimi ve sinterlerdeki metal yığılışımı bu kabulün yanlış olduğunu göstermektedir (Nicholson, 1993).

Silisyum (Si^{+4}): Silisyum, oksijenden sonra yer kürede ikinci sırayı alan elementtir ve oksijen ile aralarındaki bağ çok güçlüdür. Silis anlamı SiO_2'dir. Doğal sularda silis miktarı 1-30 mg/l arasındadır. Silisin çözünürlüğü ortamın pH'ına, sıcaklığına, iyon cinsine ve derişimine bağlıdır. Silis asid ortamda çok az çözünür. Örneğin pH=3'te silisi suda çözünmesi en düşük düzeydedir. pH'ın yükselmesi ile silisin çözünmesi artar; pH>9 olduğu ortamlarda ise silis önemli miktarlarda çözünür. Silikatların bozunmasıyla ortaya çıkan silisyum ve alüminyum iyonları, ortamın pH'na bağlı olarak, değişik kil mineralleri oluştururlar; ortam asidik ise kaolinit, bazik ise montmorillonit veya illit ortaya çıkar. Silis suyun sertliğini etkilememekle birlikte, kalsiyum ve magnezyum ile kimyasal tepkimelere girerek, silikatlar şeklinde çökelebilir, kuyu ve boruları tıkar. Sıcaklık arttıkça amorf silisin çözünürlüğü artar; sıcaklığın yükselmesi ile sistem dengeye erişir ancak amorf silis-sıcaklık doğrusu 200^0 C'ye doğru kırılır ve amorf silis kuvars şeklinde kristalleşir; çözünürlük duraylı polimorf ile dengelenir. Sıcak su kaynaklarındaki silis miktarı çok yüksek değerlere erişebilir ve soğuduklarında silisçe aşırı doygunluğa erişerek silis ve opalin şeklinde kabuklar meydana getirirler. Deneysel ve kuramsal veriler, suyun kritik noktasına

(374^0C) kadar kuvarsın suda çözünürlüğünün sıcaklıkla arttığını göstermiştir (Şahinci, 1991a).



Şekil 3.2. Kuvarsın sudaki çözünürlüğü

Nadir Alkaliler Lityum (Li^+), Rubidyum (Rb^+) ve Sezyum (Cs^{+2}): Bu elementlerin konsantrasyonları yüzeye gerçekleşen göç ve yanal akışa bağlı olarak azalma sunar. Tipik konsantrasyon seviyeleri Li <20 mg/kg, Rb<2 mg/kg ve Cs<2 mg/kg'dir. Bazı piroksenleri ve mikalarda olduğu gibi lityum içeren minerallerde lityum ile magnezyum yer değiştirebilir. Lityum bazı tuzlu sularda ve evaporitlerde bulunur. Aynı koşullarda magnezyum azalır. Bu nedenle Li/Mg oranı kimyasal

jeotermometre olarak kullanılır (Kharaka ve Mariner, 1987). Yapılan son çalışmalar lityumun illit veya diğer kil minerallerince adsorbe edildiğini göstermektedir (Shaw ve Sturchio, 1992). Deniz suyunun lityum içeriği 0.17 mg/l'die (Hounslow, 1995). Lityum klorit, kuvars ve muhtemelen yüzeye yakın reaksiyonların sonuçladığı killerin bünyesine girer ve buna bağlı olarak; artan yanal akışla B/Li oranında artış olur (Duchi ve diğ., 1987). Bu elementler ait en yüksek konsantrasyonlar riyolitik ve andesitik bileşimli (yakın kayaç kimyasından dolayı sedimanter ortamları da kapsar) kayaçların bulunduğu bölgelerde (1-10 mg/kg) gözlenmektedir ve bazaltik kökenli kayaçlarda önemli ölçüde daha düşüktür (~<0.1 mg/kg) (Ellis, 1979; Nicholson, 1993).

Manganez (Mn^{+2}, Mn^{+4}): Jeotermal sularda bir iz element olan manganezi konsantrasyonu nadiren 0.01 mg/kg'ı aşmaktadır. Manganez oksitleri sıcak su kaynaklarında çökelim şeklinde bulunur ve buna son çalışmalarda Japonya ve Amerika'dan k mg/kg'ı aşan Mn konsantrasyonları örnek olarak verilmektedir. Ayrıca fosil sıcak su kaynaklarında da rastlanan manganez oksitler bulunmaktadır (Nicholson, 1993). Manganezin çözünürlüğünü Eh-pH geniş şekilde etkilemektedir. Asidik ve hafif alkali sularda manganez Mn^{+2}, alkali ortamlarda ise Mn^{+4} iyonu şeklinde bulunur (Şahinci, 1991a).

Demir (Fe^{+2},Fe^{+3}): Jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksije, kükürt ve karbona bağlı olan demir konsantrasyonu, artan tuzluluk ve asidite ile birlikte artsa da, klorürlü sularda her zaman oldukça düşüktür (0.001-1.0 mg/kg). Yüksek sıcaklıklı sistemlerdeki (>180^0C) derinlerdeki akışkan pirit ile denge halindedir. Bu sıcaklığın altında demirin dengesi, kaynamaya ya da soğumaya bağlı olarak doygun hale gelerek çökelecek olan pirotit (FeS) ve markazit (FeS_2) kontrolü altındadır. Markazit rekristalize olarak pirite dönüşebilir.

3.2.6. Hidrojeokimyasal Jeotermometreler

Jeotermometreler jeotermal sistemlerde sıcak akışkanın içerisinde dolanım halinde bulunduğu kayaçlar ile arasındaki çözünürlük veya iyon değişimi gibi kimyasal

reaksiyonlar, dengeye ulaşmaları sıcaklığa bağlı olarak gelişir. Jeotermometre de bu olaylara bağlı olarak rezervuarın sıcaklığını tahminde kullanılan bir kimyasal yöntemdir. Kimyasal analizlere dayalı olan bu yöntem, çalışma alanını oluşturan jeotermal sistemin niteliklerinin belirlenmesinde, gradyan sondajların maliyetine oranla daha ekonomik olduğu için, oldukça yarar sağlamaktadır. Kimyasal jeotermometreler niteliksel (kalitatif) ve sayısal (kantitatif) olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır (Şahinci, 1991b). Niteliksel jeotermometreler; sıcak akışkanlarda bulunan uçucu maddelerin zeminde dağılımına, sıcak suyun kat ettiği ortamda bıraktığı çökellere, içerdiği iz elementlere bağlı olarak jeotermal sistem hakkında veriler elde edilmesini sağlar. Sayısal jeotermometrelerin uygulanmasında ise aşağıda şıklar halinde verilmiş olan bazı ön kabuller yapılmaktadır:

a)Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir.
b)Sıcaklık saptamasında gerekli olan maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
c)Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
d)Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge geçekleşmez.
e)Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yer altı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımlardan a, b ve c şıkları SiO_2 ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılmaktadır, d ve e şıklarında yapılan ön kabuller ise; akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısının değişmesi ihtimalinden dolayı, tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır. Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe, iyon değişimine ve iyon etkinliğine bağlı olarak üçe ayrılmaktadır. Ayrıca araştırıcılar tarafından geliştirilen birleşik (kombine) jeotermometre uygulamaları da bulunmaktadır. Çözünürlüğe bağlı jeotermometrelerde kuvarsın çözünürlüğüne bağlı olarak SiO_2'in çözünürlüğü baz alınmaktadır ve 150-225^{0}C sıcaklıklar arasında doğruya en yakın sonuçlar elde edilmektedir (Şekil 3.2.). İyon derişimine bağlı olan jeotermometre uygulamalarında

ise; suda iyon değişimine uğrayan minerallerin bolluğundan dolayı, Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca iyonlarının oranlarına dayanarak geliştirilmiş olan ampirik bir yöntem kullanılmaktadır. İyon değişimine dayanan jeotermometre uygulamaları en iyi sonuçları 180-350^{0}C sıcaklığa sahip hazne kayadan gelen sıcak sularda vermektedir. İyon etkinliğine bağlı jeotermometre uygulamalarında ise, sıcak suyun kimyasal analizinden elde edilen iyon değerleri yerine, bu iyonların etkinlikleri hesaplanarak kullanılmaktadır ve en iyi sonuçlar 25-180^{0}C'deki hazneden gelen sıcak sulardaki uygulamalarda alınmaktadır (Tarcan, 2002). Ayrıca silisin değişik koşullarda soğumasına bağlı olarak geliştirilmiş olan bağıntılarda aşağıda verilmektedir (Şahinci, 1991b).

Kuvarsın adiyabatik (maksimum buhar kaybı) soğuması (125^{0}C-275^{0}C):
T^{0}C: [1533.5/(5.768-LogSiO_2)-273.15]
Kuvarsın kondüktiv soğuması (125^{0}C-275^{0}C):
T^{0}C: [1315/(5.205-LogSiO_2)-273.15]
Kalsedonun kondüktiv soğuması (125^{0}C-275^{0}C)
T^{0}C: [1015/(4.655-LogSiO_2)-273.15]

Belirtilen sıcaklık aralıklarından da anlaşılacağı gibi, yukarıya doğru akışkanın hızlı yükselimi sonucu silis çökeliminin hızlanması, bu jeotermometrelerin 225^{0}C'den yüksek sıcaklıktaki rezervuarlara yönelik hesaplamalarda yanıltıcı olabilmektedir.

Çizelge 3.3.'de **(*)** şeklinde işaretlenmiş olan jeotermometre türleri bu çalışmada uygulaması yapılmış olan jeotermometreleri göstermektedir.

Çizelge 3.3. Sayısal Değerlendirmede Bazı Kimyasal Jeotermometre Bağıntıları (mg/l)

Uygulanan Jeotermometre	**Bağıntı**	**Değinilen Belgeler**	***Uygulanan***
SiO_2 (Amorf Silis)	t=731 / (4.52-logSiO_2)-273.15	Fournie (1977)	*
SiO_2 (α Kristobalit)	t=1000 / (4.78-logSiO_2)-273.15	Fournier (1977)	*
SiO_2 (β Kristobalit)	t=781 / (4.51-logSiO_2)-273.15	Fournier (1977)	*
SiO_2 (Kalsedon)	t=1032 / (4.69-logSiO_2)-273.15	Fournier (1977)	*
SiO_2 (Kuvars)	t=1309 / (5.19-logSiO_2)-273.15	Fournier (1977)	*
SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t=1522 / (5.75-logSiO_2)-273.15	Fournier (1977)	*
SiO_2 (Kalsedon, kondüktiv soğuma)	t=1112 / (4.91-logSiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t=1264 / (5.31-logSiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t=1021 / (4.69-logSiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t=1164 / (4.9-logSiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t=1498 / (5.7-logSiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
Na/K	t=933 / (0.933+log Na/K)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
Na/K	t=1319 / (1.699+log Na/K)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
Na/K	t=777 / (0.70+log Na/K)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	*
Na/K	t=856 / (0.857+log Na/K)-273.15	Truesdell (1976)	*
Na/K	t=1217 / (1.483+log Na/K)-273.15	Fournier (1979)	*
Na/K	t=1178 / (1.470+log Na/K)-273.15	Nieva ve Nieva (1987)	
Na/K	t=1390 / (1.750+log Na/K)-273.15	Giggenbach, vd. (1983)	
Na/K (mmol)	t=908 / (0.692+log Na/K)-273.15	Fournier (1979)	
SiO_2 (Kalsedon) (mmol)	t=1101 / (0.11+log SiO_2)-273.15	Arnorsson vd. (1983)	
K/Mg	t=4410 / (13.95+log K^2/Mg)-273.15	Giggenbach vd.(1983)	*
Na-K-Ca (mmol)	t=1647 / (log Na/K+ βlog√Ca/Na+2.24)-273.15	Fournier ve Truesdell (1973)	
Na-K-Ca (R) (mek/l) (Magnezyum düzeltmeli)	R=(Mg/Mg+Ca+K)x100	Fournier ve Potter (1979)	*
Li/Mg	t=2200 / [5.470-log (Li/$Mg^{0.5}$)]-273.15	Kharaka ve Mariner (1989)	*
Na/Li	t=1590 / [0.779-log (Na/Li)]-273.15	Kharaka vd. (1982)	*
Na/Li (mmol) Cl<0.3	t=1000 / [0.389-log (Na/Li)]-273.15	Fouillac ve Michard (1981)	*
Na/Li (mmol) Cl>0.3	t=1195 / [0.130-log (Na/$Li^{0.5}$)]-273.15	Fouillac ve Michard (1981)	
Na/Ca	t=1096 / [3.08-log (Na/$Ca^{0.5}$)]-273.15	Tonani (1980)	
K/Ca	t=1930 / [3.861-log (K/$Ca^{0.5}$)]-273.15	Tonani (1980)	

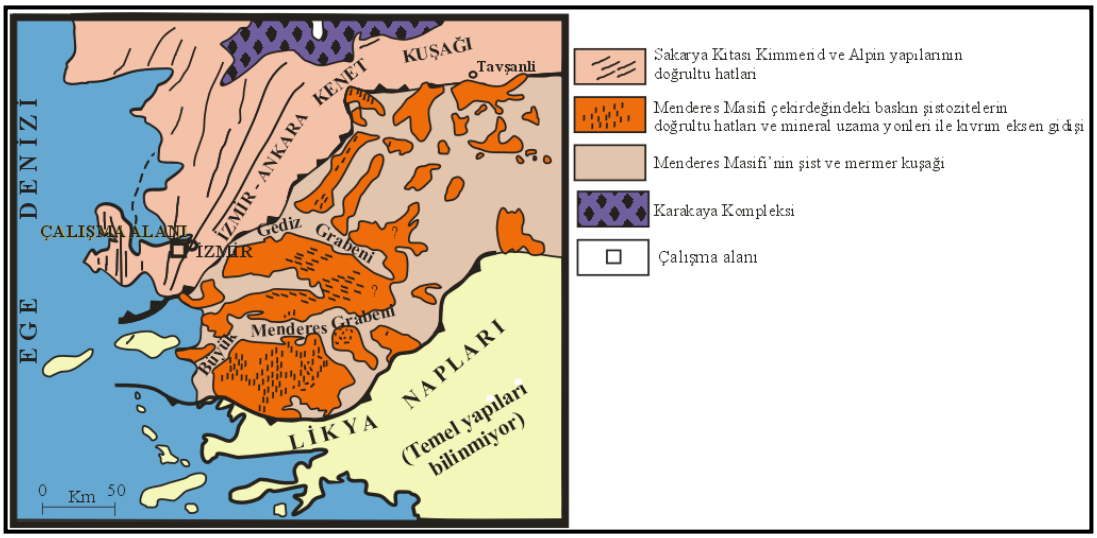
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu başlık altında inceleme alanının bölgesel jeolojisi, stratigrafisi, hidrolojisi, hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası irdelenmiştir. Bölgesel jeolojinin irdelendiği bölümde; inceleme alanının neotektonik hareketleri, yapısal jeolojisi ele alınmıştır. Stratigrafi bölümünde; inceleme alanındaki jeolojik birimler tanımlanmıştır. Hidroloji bölümünde; Balçova Cengiz Saran Barajı Havzası içerisinde kalan inceleme alanında bulunan yeraltı suları, su kaynakları ve yeryüzü suları, bunlara ait beslenme ve boşalma kaynakları irdelenmiştir. Bölgenin hidrojeolojisinin ele alındığı kısımda; inceleme alanını oluşturan jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerine sınıflandırılarak, özellikleri irdelenmiştir. Hidrojeokimya bölümünde; yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerin arazide ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen analizleri değerlendirilerek, elde edilen sonuçlar grafikler yardımı ile aktarılmaya çalışılmıştır. İzotop jeokimyasına yönelik yapılan çalışmalar ile çalışma alanında incelenen suların kökenleri belirlenmeye çalışılmış, jeotermal sistemin oluşum mekanizması, yapısı ve modellemesi yapılmıştır.

4.1. Bölgesel Jeoloji

Balçova ve civarı, Ketin (1966) tarafından Pontidler olarak adlandırılan tektonik birlik içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanının da sınırları içerisinde bulunduğu İzmir ili ve çevresinde üç farklı tektonik kuşak bulunmaktadır. Bu kuşaklar doğudan batıya doğru Menderes Masifi, İzmir-Ankara Zonu ve Karaburun Kuşağı şeklindedir (Şengör vd., 1984; Erdoğan, 1990). İzmir-Ankara Zonu kuzeyde Sakarya Kıtası ile D-GD'sında Mendere Masifi arasında kalmaktadır. Menderes Masifi metamorfikleri üzerine bindiren İzmir-Ankara Zonu, Manisa'dan Seferihisar'a kadar uzanmaktadır ve Kampaniyen-Daniyen yaşında olan filiş fasiyesinde tortul kayalar ve mafik volkanik arakatkılı bir matriks ve matriksin içerisinde yüzen kireçtaşı bloklarından oluşan bir birimdir (Akartuna, 1962; Erdoğan, 1990). İzmir-Ankara Zonu Albiyen'den sonra ve büyük olasılıkla Kampaniyen ve Maestrihtiyen sırasında açılmaya başlamıştır. İzmir-Ankara Zonu içerisindeki kireçtaşı bloklarının stratigrafik ve paleontolojik özellikleri de Geç Triyas'tan Santoniyen'e kadar

platform koşullarının devam ettiğini ve Kampaniyen ile Daniyen arasında derin bir havzanın oluştuğunu göstermektedir (Erdoğan, 1990). Erdoğan (1990) filiş içerisindeki kireçtaşı bloklarının Karaburun Kuşağına ait olduğunu belirtmektedir. İzmir-Ankara Zonu'nun kısa bir zaman aralığında açıldığını ve Maestrihtiyen'de bir taraftan başlayan kapanma, Orta Eosen'de Menderes Masifi üzerine düşük açılı bindirme fayları boyunca tümüyle itilerek tamamlanması, Batı Anadolu'da varlığından bahsedilen okyanusun hiç olmadığını kanıtlamaktadır (Şekil 4.1.) (Şengör ve Yılmaz, 1981; Erdoğan, 1990).



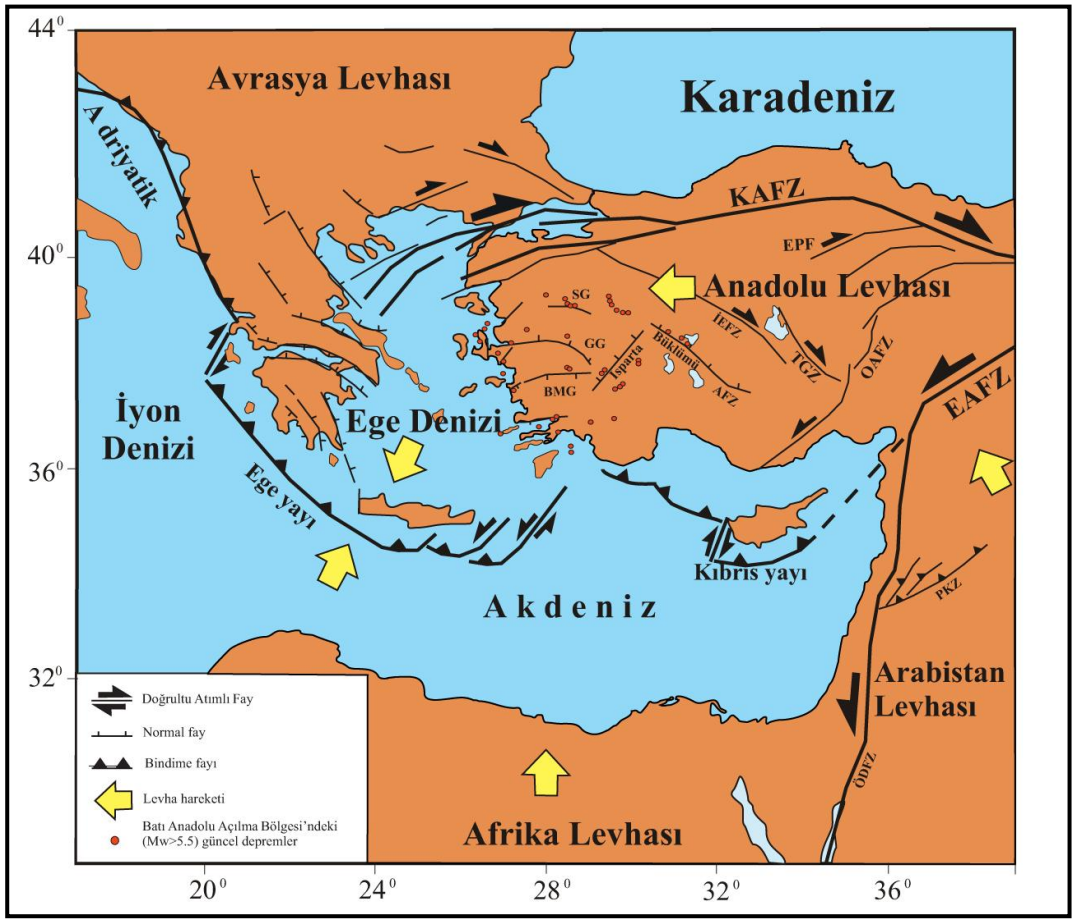
Şekil 4.1. Batı Anadolu'nun paleotektonik dönem birlikleri (Erdoğan, 1990; Yılmaz, 1997)

Ege Bölgesi'ndeki genleşmenin tektoniğinin nedeni konusunda uzun yıllardır yapılan araştırma ve çalışmalara bağlı olarak Ege-Anadolu Levhasının batıya hareketi, yay ardı açılma ve orojenik çökme olaylarına bağlayan farklı görüşler bulunmaktadır.

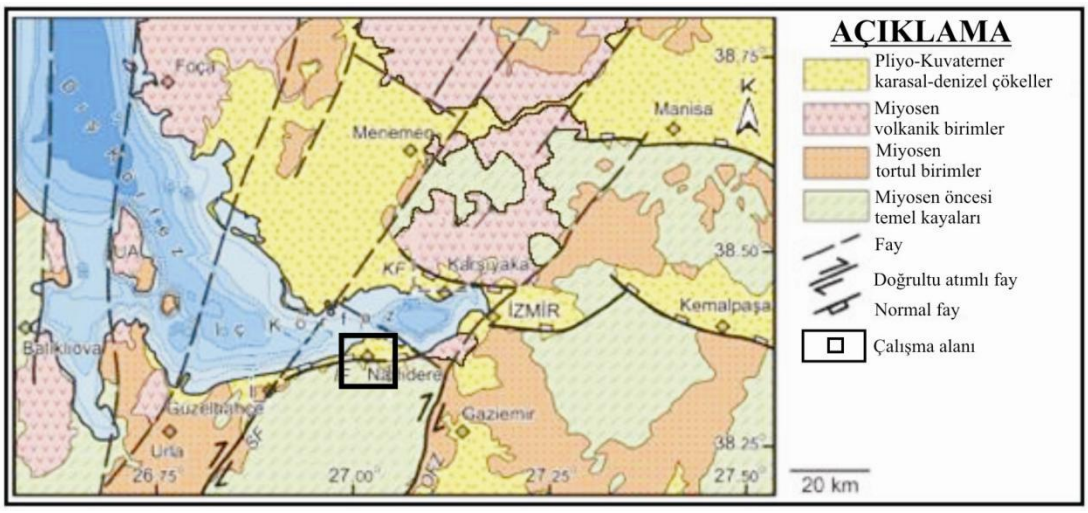
Tektonik açıdan Ege Bölgesini, Ege dalma batma sistemi ve Arabistan Levhasının Bitlis-Zagros Sütur Kuşağı boyunca Anadolu Levhasını kuzey yönünde sıkıştırması etkilemektedir. Bu sıkıştırmanın da etkisi ile Anadolu Levhası, doğu ve orta kesimlerinde batı yönünde, yaklaşık 18-22 mm/y hareket etmektedir ve Anadolu Levhası'nın batıya doğru hareketi Ege ve Batı Anadolu'da K-G yönlü bir gerilme ile

karşılanmaktadır (Yılmaz, 2000). Yılmaz ve diğ. göre bu gerilmeler, Erken Pliyosen'den daha önce gelişmemiş olan, D-B doğrultulu grabenler olarak biçimsel değişikliğine neden olmaktadır (Şekil 4.2.). Sözbilir (2000), Batı Anadolu tektonizmasında etkin rol oynayan aktif fayları incelerken, Pliyo-Kuvaterner döneminde iki aktif fay evresi tanımlamıştır. Günümüzde gözlenen alüvyonal düzlükleri Miyo-Pleistosen tortullarından ayıran, sismik risk taşıyan ana kırık hatları olan ve Holosen'de gelişmiş normal fayları aktif fay, Pliyo-Pleistosen dönem faylarını ise potansiyel aktif faylar olarak değelendirmiştir (Şekil 4.3.).

Batı Anadolu'nun etkisinde olduğu graben tektoniğinin kıtasal kabukta incelmeye yol açtığını savunan değişik çalışmalar bulunmaktadır ve bu bölgelerdeki jeotermal aktivitenin jeotermal gradyana bağlı olarak yüksek oluşu da bu çalışmaları doğrular niteliktedir. Tesauro vd. (2008), Batı ve Orta Avrupa'daki çalışmaları sonucunda sundukları Eu-CRUST07 Modeline göre, bazı yerlerde Moho Süreksizliği'nin daha önce belirlenen derinliklerden ±10km daha farklı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Güleç (1988), Batı Türkiye'deki manto-kabuk ilişkisini ^{3}He /^{4}He oranları açısından irdelemiş; manto ve kıta kabuğu helyum bileşenleri arasındaki karışımı ortaya koymuştur. Çalışmasında mantosal helyum değerlerinin bölgedeki volkaniklerin dağılımına uygunluk göstermediğini belirterek, bunu da helyumun kıta kabuğuna derin seviyelerdeki eriyiklerle ulaşmasına bağlamıştır. Araştırmacıya göre, güncel gerilme tektoniğinin kontrol ettiği fay sistemlerinin mantosal helyumun kabuğun kırılgan kesimleri boyunca yüzeye kaçmasına izin vermektedir. Öte yandan, Batı Anadolu'daki Tersiyer yaşlı volkaniklerde yapılan izotopik analizlere göre kalk-alkalin volkanitlerde 0.708, riyolitlerde 0.712 değerlerinde $^{87}Sr/^{86}Sr$ oranları elde edilmiştir (Borsi vd., 1972). Araştırıcılar, bu sonuçlara göre, riyolitlerin üst kabuğun erimesi, kalkalkalin volkaniklerin ise litosferik ve okyanus tabanı malzemesi karışımı ile meydana gelmiş olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.2. Türkiye ve yakın çevresini etkileyen aktif tektonik yapılar (Uzel vd., 2009)



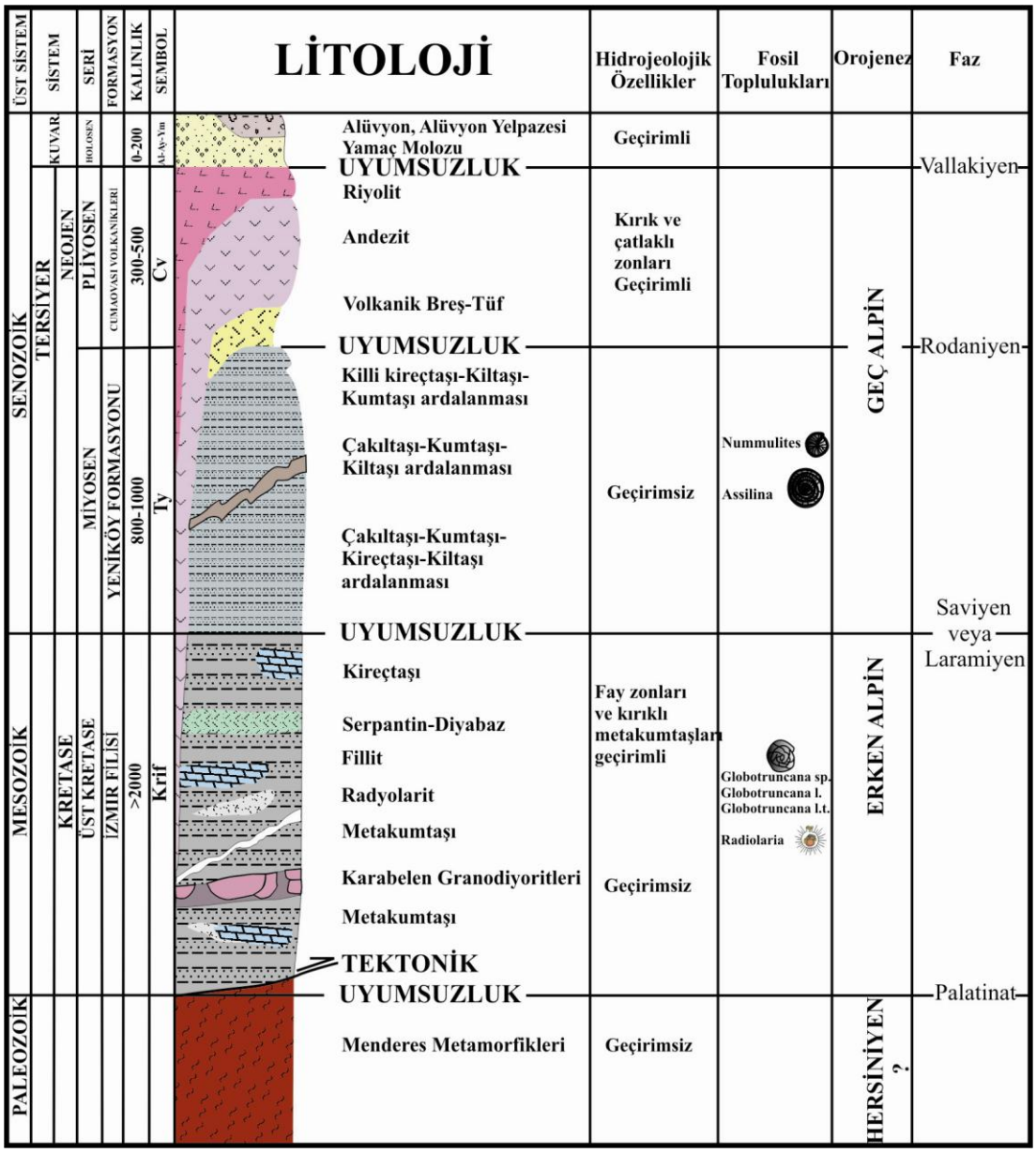
Şekil 4.3. İzmir Körfezi ve çevresini gösteren basitleştirilmiş jeoloji haritası (Kaya, 1979; MTA, 2002)

Bölgenin paleocoğrafyası irdelendiğinde bölgenin oluşumunu etkileyen fazlar da ortaya çıkmaktadır. İzmir-Ankara jeosenklinalinin güneybatısında İzmir Filişinin hakim litoloji olduğu çalışma alanında filiş biriminin altında var olduğu düşünülen Menderes Masifi kayaları Hersiniyen orojenezi Palatinat Fazı'ndan etkilenerek başkalaşıma uğramışlardır (Yılmazer, 1989). Çalışma alanında, Triyas ve Jura yaşlı çökeller görülmediğinden, stratigrafik istifte eksiklikler olup, İzmir Filişi uyumsuz bir dokanak ile Paleozoik metamorfikleri üzerine gelmektedir. Jeosenklinal havzadaki sertleşmemiş tortulların içerisine, fay kırıkları boyunca ergimiş üst manto malzemesi olan bazik lavların yerleşmesinden sonra; filiş Saviyen ve/veya Laramiyen Fazı'nın etkisi ile yükselmiştir. İzmir Filişi'ni açısal uyumsuzlukla üzerleyen Yeniköy Formasyonu ise, fosil içeriklerine dayanarak, karasal ve gölsel çökellerden oluşmuştur. Neojen konglomeraları sığ denizel ortamı simgeleyen Nummilites'li çakıllar içerdiğinden (Akartuna, 1962), Kretase'den sonra sığ denizel ortam (Nummulitik denizinin) hüküm sürmüştür. Bölge Miyosen sonunda su yüzeyine çıkmakla birlikte, Pliosen boyunca sığ gölcükler gelişmiştir. Miyosen ve Pliosen yaşlı birimler arasındaki (açısal) uyumsuzluk, Alpin orojenezinin Rodaniyen fazının etkisi olarak yorumlanabilir. Cumaovası Volkanikleri açısal uyumsuzlukla bu gölcükleri üzerlemektedir. Alpin orojenezinin Oligosen sonrası Vallakiyen fazı ile bölge tektoniği son şeklini almıştır (Akartuna, 1962). Miyosen boyunca Batı Anadolu ve Ege Denizi'nin doğusunda hakim olan kalkalkalin volkanizma ile Pliyosen sonu ve Kuvaterner başlarında volkanik faaliyetler sonucu hidrotermal etkinlikler başlamış ve bugünkü jeotermal alan oluşmuştur (Borsi, 1972; Yılmazer, 1989).

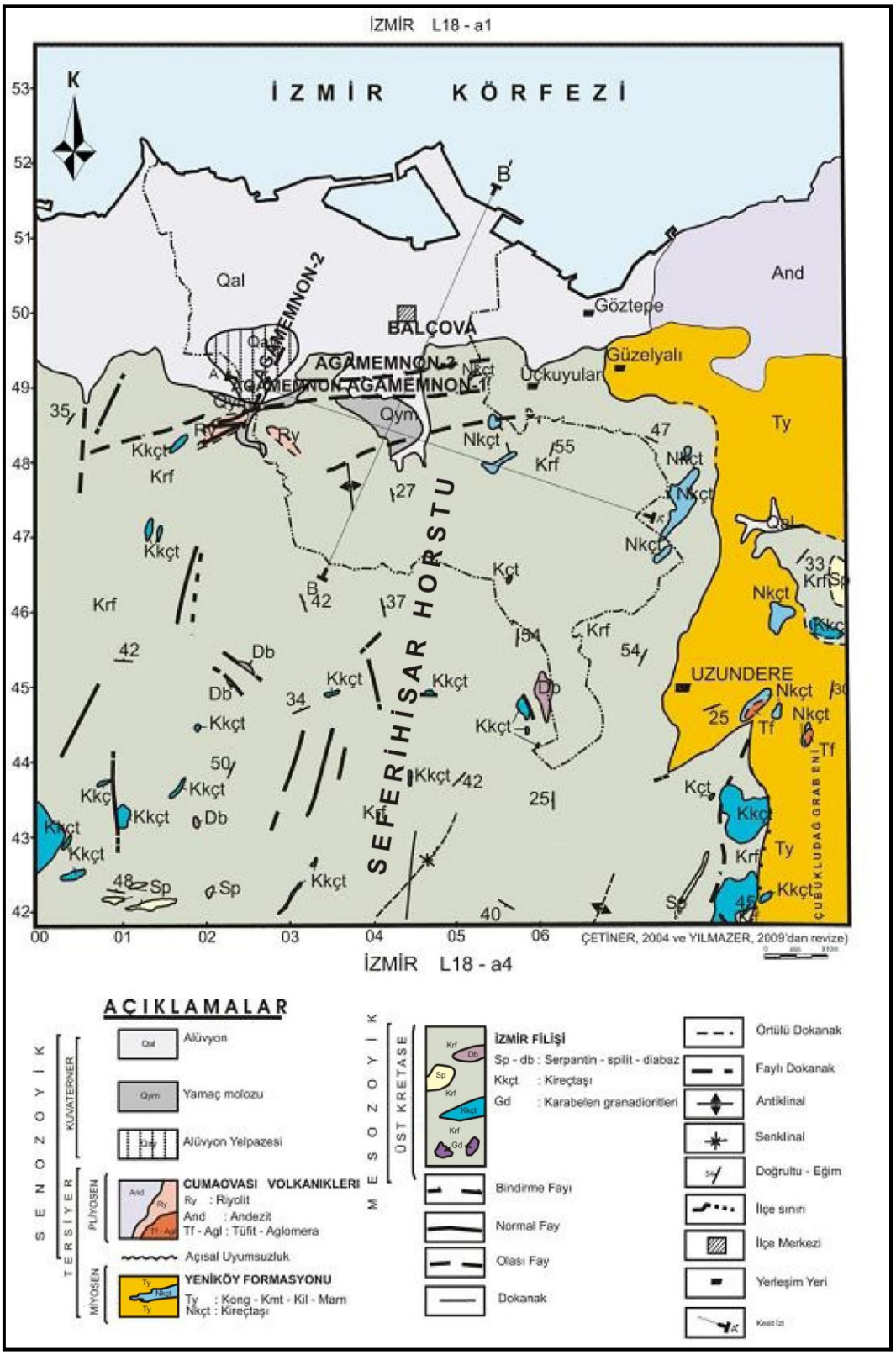
4.2. Stratigrafi

Batı Anadolu'da egemen olan neotektonik dönem genleşmenin etkisi altındaki Ege Bölgesi'nde bulunan çalışma alanında görülen kayaçların oluşturduğu stratigrafinin belirlemesinde sahada daha önceden yapılan çalışmalardan ve isimlendirmelerden yararlanılmıştır. Bölgedeki birimler yaşlıdan gence doğru, Üst Kretase İzmir Filişi, Miyosen Yeniköy Formasyonu, Pliyosen Cumaovası volkanikleri, Kuvaterner yamaç molozu ve bunların üzerinde yer alan alüvyondur (Yılmazer vd., 1977). Ayrıca

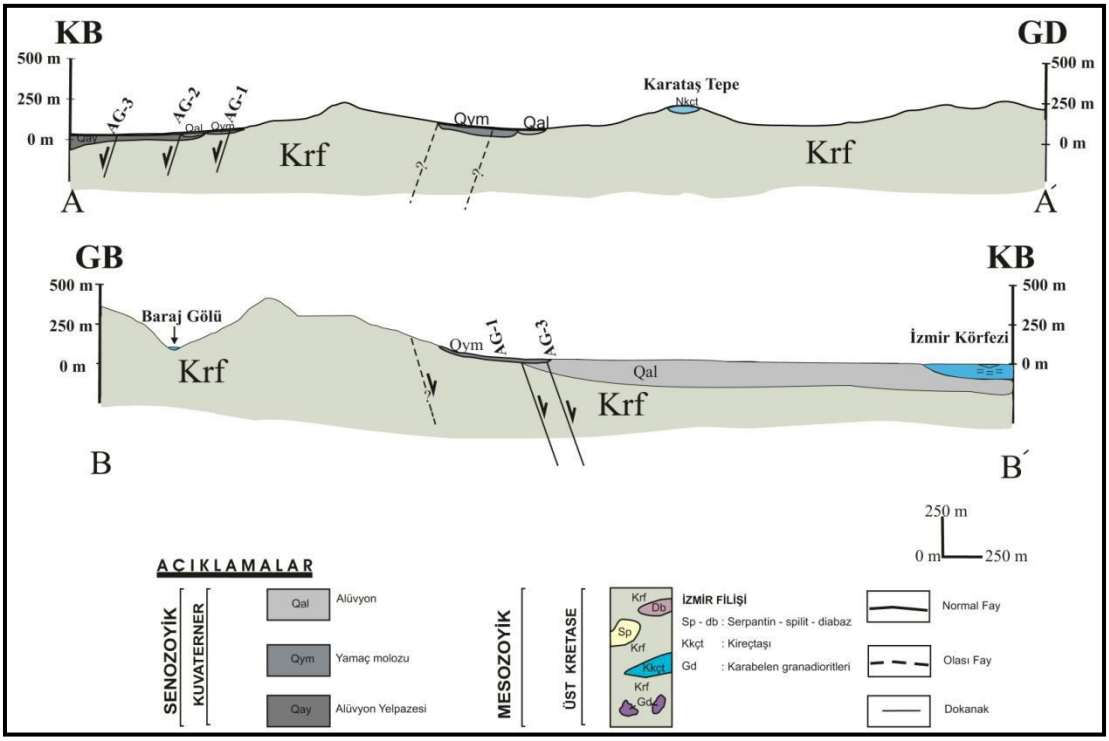
çalışma alanında bulunan Ilıca Deresi'nin de etkisi ile alüvyon yelpazesi gelişmiştir (Tansuğ vd., 1983; Sözbilir vd., 2008). Bölgede yaygın gözlenen İzmir filişinin tabanı çalışma alanında gözlenememektedir (Erdoğan, 1990). İzmir filişi metakumtaşı, fillit, diyabaz, serpantinit, kireçtaşı gibi üyelerden oluşmaktadır. Doğu kesimlerde ise filiş üzerine uyumsuzlukla gelen Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu gözlenmektedir. Aglomera, tüf, andezit ve riyolitlerden oluşan Pliyosen yaşlı Cumaovası volkanikleri çalışma alanında yoğun olarak Ilıca Deresi'nin batısında ve doğusunda gözlenmektedir. Yamaç molozu, alüvyon ve yelpazesi en üstte yer almakta ve bu birimi uyumsuzlukla örtmektedirler. Bu birimlerin yaşı Kuvaternerdir. İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti Şekil 4.4.'de, 1:25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesitleri ise Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.4. Balçova ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Akartuna, 1962; Kaya, 1979; Yılmazer, 1989; Aksoy, 2001; Sözbilir vd. 2008'dan yararlanılarak)



Şekil 4.5. Balçova ve yakın çevresinin güncelleştirilmiş jeoloji haritası (Çetiner, 2004 ve Yılmazer, 2009'dan değiştirilerek)



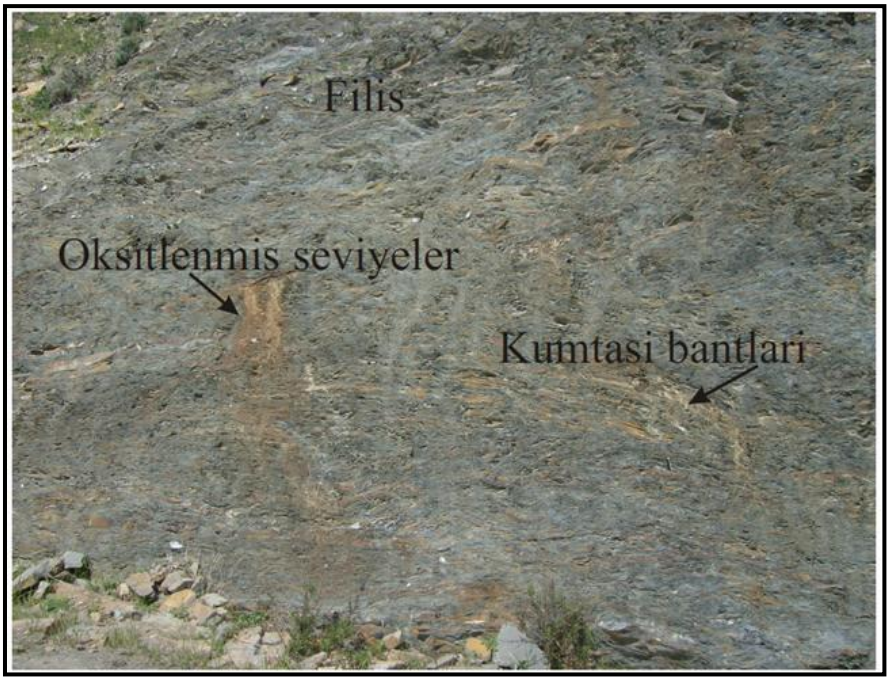
Şekil 4.6. Çalışma alanından alınan A-A' ve B-B' kesitleri

4.2.1. Üst Kretase Yaşlı İzmir Filişi (Krif)

Çalışma alanının en yaşlı birimi olarak yorumlanan, Üst Kretase'yi temsil eden ve jeotermal sistemi de içinde barındıran İzmir filişi, metakumtaşı, fillit, kireçtaşı, radyolarit ardalanması ve spilitik denizaltı volkanizması türevlerinden oluşmuştur (Yılmazer, 1989). Filiş terimi 1827 yılında İsviçreli jeolog Bernhard Studer tarafından kullanılmış olup, kelime anlamı olarak "akış veya akıntı"yı ifade etmektedir (Bentz, 1959). Yağmurlu (1980), Bornova güneyini kapsayan çalışmasında, filiş topluluklarından derlenen paleoakıntı doğrultu ve yönlerinin, güney yönlü beslenmeyi gösterdiğini ve içerisindeki tektaşların tektonik yüzeylerle sınırlanmadığını, eksotik blok olarak niteleyerek, birikim alanı dışında türeediklerini belirtmektedir. Filiş içerisinde bantlar halinde gözlenen kumtaşlarında özşekilli (kübik), yer yer de saçınım şeklinde gelişmiş pirit seviyeleri de tespit edilmiştir (Şekil 4.7.). İzmir filişi, Balçova Kaplıcaları'ndan güneye doğru Ilıca Deresi boyunca yer alan yol yarmalarında, Dededağı zirvesine giden yol boyunca tıraşlanmış

bölgelerde, çalışma alanının çevresinde ise güneybatıya doğru Seferihisar, Doğanbey, Gümüldür, doğuda Bornova, Kemalpaşa, batıda Güzelbahçe civarında gözlenmektedir. Ayrıca filiş içerisinde, hidrotermal alterasyona uğramış kayaçlarda gözlenmektedir. Çalışma alanında Balçova kaynağının güney bölgesinde ve Ilıca Deresi'nin her iki tarafında jeotermal akışkanın İzmir filişi ile etkileşimi sonucu oluşmuştur. Yer yer oksitlenmiş ve sülfürlü seviyeler gözlenmektedir (Şekil 4.8.). Filiş biriminin tabanı hiçbir yerde görülmemektedir (Erdoğan, 1990).

Şekil 4.7. İzmir Filişi içerisindeki kumtaşlarında kalsit dolguları ve piritler (x:4247835, y:35502903; yükseklik 164 m)



Şekil 4.8. İzmir Filişi içerisindeki oksitlenmiş seviyeler (x:35 503 102, y: 42 47775; yükseklik 139 m)

4.2.2. Miyosen Yaşlı Yeniköy Formasyonu (Ty)

Miyosen çalışma alanında Yeniköy formasyonu ile temsil edilmektedir ve güneydoğu kesimlerde az da olsa gözlenmektedir. Adını çalışma alanının güneyindeki Yeniköy'den almaktadır ve çalışma alanında net olarak gözlenememektedir. Yeniköy formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, miltaşı, kireçtaşı ve linyit üyelerinden oluşmaktadır. Önceki araştırmalarda da belirtildiği gibi, formasyonun tabanında kötü boylanmış, yer yer bloklu orta ve kalın katmanlı çakıltaşları bulunmaktadır. Formasyonun üst seviyelerine doğru linyitli kumtaşı, kireçtaşı ve kiltaşı ardalanması yer alır. Formasyonun en üst seviyeleri çakıltaşı, kumtaşı, çakıllı kumtaşı, açık renkli, beyazımsı, algli kireçtaşı ardalanması ve volkanosedimanterlerden tüf ve tüfitler ile temsil edilmektedir. Yeniköy formasyonunun alt dokanağı İzmir filişi ile uyumsuz olup, çoğu yerde faylıdır. Formasyon içinde bulunan Nummulites, Assilina fosillerine göre Alt Pliyosen, Dasiyen veya Dasiyen civarı olarak yaş değerlendirilmesi yapılmıştır (Akartuna, 1962).

4.2.3. Pliyosen Yaşlı Cumaovası Volkanikleri

Çalışma alanında Pliyoseni Cumaovası volkanikleri temsil etmektedir. Cumaovası Volkanikleri adını aldığı Cumaovası yöresinde yüzlek vermektedir. Eşder ve Şimşek (1975)'nin Cumaovası volkanikleri diye adlandırdığı, çalışma alanının güneydoğusunda ve güneybatısında gözlenen bu birim aglomera, tüf, tüfit ve pembe riyolitlerden meydana gelmektedir. Yeniköy formasyonu bu birimi uyumsuzlukla üzerlemektedir. Cumaovası asit volkaniklerinin yaşı Rb/Sr yöntemine göre 12.5 milyon yıldır (Borsi vd., 1962). Bu yaş tayini Akartuna'nın stratgrafik ve paleontolojik bulgulara göre verdiği Dasiyen yaşı ile uyum sağlamaktadır. Cumaovası volkaniklerinin bulunduğu bölgenin oluşumu iç ve dış büyümeli (ekzojen-endojen) volkanik dom tipine örnek olabilecek iki büyük, üç küçük volkanik domdan oluşan bir saha olarak tanımlanmıştır (Özgenç, 1978).

4.2.4. Kuvaterner Yaşlı Birimler

Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı birimler, yamaç moloz, alüvyon ve alüvyon yelpazesinden oluşmaktadır.

4.2.4.1. Yamaç molozu (Qym)

Çalışma alanında Agamemnon–I Fayı olarak adlandırılan fayın kuzeyinde ve çalışma alanının batısında yer alan yamaçlarda gözlenmektedir. Agamemnon–I Fayı'nın yükselmesi ile faya yakın bölgelerde oluşmuştur. Gevşek yapıda, yer yer köşeli çakıllardan oluşmaktadır.

4.2.4.2. Alüvyon (Qal) ve Alüvyon Yelpazesi (Qay)

Yamaç molozları çalışma alanının kuzeyine gidildikçe birim kalınlığı incelmekte ve Kuvaterner alüvyona geçiş gözlenmektedir. Balçova ilçesindeki yerleşim bölgesinin büyük bir bölümü alüvyonal zemin üzerinde yer almaktadır. Dereler boyunca gayet net gözlenen alüvyonun kalınlığı güneyden kuzeye doğru gidildikçe artış

göstermektedir. Daha çok filişin üyelerinin kötü boylanmış parçalarından meydana gelmektedir. Baskın olarak filiş türevi çakıl, kum, kil ve siltten oluşmaktadır, orta ve kötü boylanma göstermektedir. Filişin üyeleri olan kumtaşı, şeyl, çakıltaşı, kuvars damarları ve volkanik olistolitlerin dış ortam, jeolojik ve topoğrafik koşullara bağlı olarak aşınmaları ve Ilıca Deresi'nin de etkisi ile taşınarak yelpaze benzeri bir şekilde, düşük eğimli, yataya yakın bir topoğrafyada depolandıkları gözlenmiştir. Yelpaze, kil ve silt boyutundaki danelerin ara maddesini oluşturduğu, filiş türevi kumtaşı ve çakıllarından oluşmaktadır.

4.3. Hidrotermal Alterasyon

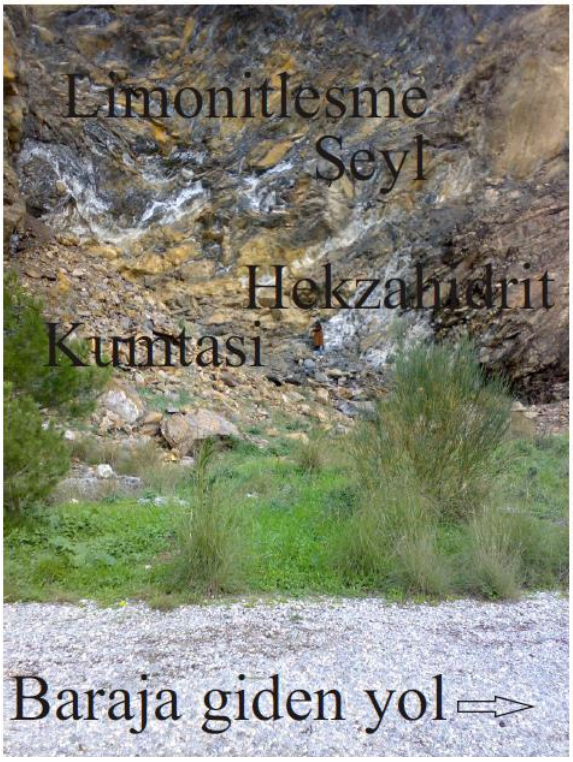
Jeotermal sistemlerdeki sıcak sular ile yan kayaç arasındaki reaksiyonlar birtakım ikincil minerallerin oluşumuna neden olur. Alterasyon kayacın mineralojik yapısında meydana gelen değişimdir. Sıcak suların etkisi ile oluşan alterasyonlar, hidrotermal alterasyonlardır ve meydana gelen bu ikincil minerallerin oluşumları, bollukları genellikle ortamın daha önceki fiziksel ve kimyasal koşullarına bağlıdır. Jeotermal sistemlerdeki sondaj kırıntılarından yola çıkarak gözlenen bu tür minerallerin çalışılması ile rezervuar koşullarına ilişkin bilgi elde edilebilir, hatta bazı koşullarda rezervuardaki değişimler ile ilgili yorumlara gidilebilmektedir.

Hidrotermal alterasyonun ya da reaksiyonun sahadaki dağılımı, alterasyon gözlenen sahanın daha önceki sıcaklığına, alterasyon oluşum aralığına bağlıdır. Alterasyonun, özellikle hidrotermal alterasyonun yoğunluğu ve tipi rezervuar kayacın oluşumunu sağlayan ortamı da yansıtır. Volkanik kayaçlar, volkanik ve jeotermal ortamlar arasındaki farklılıklardan dolayı, daha çabuk alterasyona uğrarlar, düşük dereceli metamorfik kayaçlar ise sadece nötrale yakın pH'ye sahip, alkalin klorit sular ile hafifçe reaksiyona girerler.

Hidrotermal alterasyona tektonik yapıya bağlı olarak gelişen fiziksel etmenler ve sıvıların, özellikle hidrotermal suların etkisi ile gelişen reaksiyonlar olarak tanımlanan kimyasal etmenler neden olmaktadır. Bu işlemler sırasında hem akışkanın kimyası hem de kayacın kimyası değişime uğramaktadır. Alterasyonu

metamorfizmadan ayıran nokta; metamorfizmada kayacın kimyasal bileşiminde bir değişiklik olmamasına karşın, mineralojik bileşiminde bir değişikliğin meydana gelmesidir. Alterasyon, değişen sıcaklık ve basınç koşulları altında duraylı mineral üreten kayacın hem kimyasındaki hem de mineralojik bileşimindeki değişikliklerdir.

Aktif jeotermal sahalarda yapılan çalışmalar sonucu birçok hidrotermal alterasyon minerali ayıklanmıştır. Oldukça sık rastlanan hidrotermal alterasyon mineralleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Bu çalışmada belirlenen alterasyon mineralleri ise koyu renkle belirtilmiştir. Çizelgede belirtilenlere ek olarak karbonat grubu minerallerinden dolomit, ankerit ve klorit grubundan minerallerinden klinoklor ($MgAl_2Si_3O_{10}(OH)_8$) ve heksahidrit [$MgSO_4.6(H_2O)$] minerali de XRD analizleri ile belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan yol yarmalarında (Şekil 4.9. ve 4.10.) ve Ilıca Deresi boyunca altere olmuş seviyeler de gözlenmektedir.



Şekil 4.9. Baraj yolu üzerinde İzmir Filişi içerisindeki alterasyonlu seviyeler (x: 35 503011, y: 42 48444)

Şekil 4.10. Baraj yolu üzerinde gözlenen Hekzahidrit minerali (x: 35 503011, y: 42 48444)

Çizelge 4.1. Sık rastlanan hidrotermal alterasyon mineralleri (Browne, 2002)

Mineral Grubu		***Mineral Adı***	***Mineralin Bileşimi***	***Yaygın gözlendiği aktif jeo.sis.***
Karbonat Grubu		**Kalsit**	$CaCO_3$	Y. Zelanda Volkanik S.
		Aragonit	$CaCO_3$	Filipinler J. S.
		Siderit	$FeCO_3$	El Tatio, Şili
Sülfat Grubu		Anhidrit	$CaSO_4$	Matsukawa, Japonya
		Alunit	$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$	Gayser, Kaliforniya
		Natroalunit	$NaAl_3(OH)_6(SO_4)_2$	Gayser, Kaliforniya
		Barit	$BaSO_4$	Yeni Z. Volkanik S.
		Jarosit	$(Fe)Al_3(OH)_6(SO_4)_2$	
		Jips	$CaSO_4.2H_2O$	
Sülfit Grubu		Pirit	FeS_2	Cerro Prieto, Meksiika
		Pirotit	FeS	Matsukawa, Japonya
		Markazit	FeS_2	Filipin Sahaları
		Sfalerit	ZnS_2	
		Galen	PbS_2	
		Kalkopirit	$CuFeS_2$	
Oksit Grubu		Hematit	Fe_2O_3	Kawah, Kamojang, Jawa
		Magnetit	Fe_3O_4	Olkarya, Kenya
		Lökosen	TiO_2	Pazetsk, Kamçatka
		Diyaspor	$Al_2O(OH)$	Yellowstone, Wyoming
Fosfat Grubu		Apatit	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	Tonganon, Endonezya
Halit Grubu		Florit	CaF_2	Olkarya, Kenya
Silikat Grubu	***Orto ve Halkalı S.***	Titanit (Sfen)	$CaTiOSiO_4$	El Tatio, Şili
		Garnet	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	Filipin S.
		Epidot	$Ca_2Fe^{+3}Al_2O.[Si_2O_7][SiO_4].OH$	Otake, Japonya
	Zincir S.	Tremolit	$Ca_2(Mg,Fe^{+2})_5[Si_8O_{22}](OH)_2$	Cerro Prieto, Meksika
		Aktinolit	$Ca_2(Mg,Fe^{+2})_5[Si_8O_{22}](OH)_2$	Darajat, Endonezya
	Tabakalı S.	**İllit**	$KAl_{42}(Si_3AlO_{10})(OH)_2$	Otake, Japonya
		Biyotit	$K_2(Mg,Fe^{+2})_3AlSiO_3O_{10}(OH,O,F)_2$	Y. Zelanda Volkanik S.
		Pirofillit	$Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	Otake, Japonya
		Klorit	$(Mg,Al,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Larderello, İtalya
		Kaolin Grubu (Kaolinit, **dikit**, halloysit)	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	Kawah Kamojang, Jawa
		Montmorillonit	$Ca(Al,Mg,Fe)_4(Si,AL)_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$	Darajat, Endonezya
		Prehnit	$Ca_2(Al_2Si_3O_{10})(OH)_2$	↑T, İzlanda
	Çatı S:	Adularya	$KAlSi_3O_8$	Larderrello, İtalya
		Albit	$NaAl\ Si_3O_8$	↑T, İzlanda
		Kuvars	SiO_2	↓T,↑T, İzlanda
		Kristobalit	SiO_2	El Tatio, Şili
		Mordenit	$(Na_2K_2Ca)Al_2Si_{10}O_{24}.7H2O$	↓T,↑T, İzlanda
		Lömantit	$CaAl_2Si_4O_{12}.4H_2O$	↓T,↑T, İzlanda
		Vairakit	$CaAl_2Si_4O_{12}.2H_2O$	Filipin S.

Bir alterasyonun yoğunluğu, Ia, kayacın ne kadarının yeni bir mineral yani hidrotermal mineral üretmeye geçtiğinin bir ölçümüdür ve mikroskop ya da X-ray difraktometre ile belirlenebilir. Bu durumda; hiç alterasyona uğramamış bir birim hacim kayacın alterasyon yoğunluğu sıfır iken (Ia=0), tüm ilksel fazları değişime uğramış olan bir kayacın ise %100'dür (Ia=1.00). Alterasyon yoğunluğu, alterasyon sonrası oluşan yeni minerallerin belirlenmesi ile değil, bu minerallerin kayaçtaki toplam bollukları ile ilgilidir.

Pirajno (1992), hidrotermal alterasyonlar tarzları ve tipleri açısından da farklı incelenmektedir. Hidrotermal alterasyonu oluşum tarzı açısından:

- Yayılan tarz hidrotermal alterasyon
- Kısmen yayılan hidrotermal alterasyon
- Yayılmayan hidrotermal alterasyon

şeklinde tanımlamaktadır.

Yayılan tarz hidrotermal alterasyon, alterasyon esnasında kayaç oluşturan minerallerin çoğunun ya da hepsinin yeni oluşan mineraller ile yer değiştirmesi ile karakterize edilmektedir. Bu da orijinal dokunun kısmen veya tamamen yok olmasına neden olmaktadır.

Kısmen yayılan hidrotermal alterasyon ise bazı minerallerin yeni oluşan mineraller ile yer değiştirmesidir. Örneğin, kloritin biyotit ile yer değiştirmesi, serizitin plajioklas ile yer değiştirmesi gibi. Bu durumda, orijinal kayacın dokusunun bir kısmı da korunmuş olacaktır.

Yayılmayan hidrotermal alterasyon tarzında ise, kayacın bir parçası alterasyona neden olan akışkan tarafından etkilenmektedir.

Hidrotermal alterasyonlarda, özellikle volkaniklerle ilişkili hidrotermal sistemlerdeki hidrotermal alterasyonlarda, alterasyonun gerçekleşmesi için bir dizi metasomatik işlem gereklidir ve artan H^+ ve alkali metasomatizması ayrıca önem taşımaktadır.

Çoğu hidrotermal süreç alkalilerin ve hidrojenin aktiviteleri ile ilişkilidir. Başka bir deyişle, artan H^+ metasomatizması ile alterasyon işlemi teorik olarak alkalikten arjilike kesintisiz değişebilmektedir. Artan H^+ metasomatizmasına göre alterasyon tiplerini şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Alkali metasomatizması, potasyum silikat alterasyonu (Feldispat ve kuvarsın K-feldispat veya albit ile yer değiştirmesi) (K-feldispat, biyotit, adularya)
2. Profilitik alterasyon (Epidot, klorit, karbonatlar, albit, K-Feldispat ve pirit)
3. Fillik veya serizitik alterasyon ve greyzenleşme (K-Feldispat, kaolinit, kalsit, biotit, rutil, anhidrit, apatit ve topaz, turmalin, florit, volframit)
4. Ortaç arjilik alterasyon (Kil mineralleri; montmorillonit, illit, klorit, kaolin grubu kil mineralleri ve az miktarda serizit)
5. İleri arjilik alterasyon (Dikit, kaolinit, profilit, barit, alunit, diyaspor)

Alterasyon derecesi yeni minerallerin belirlenmesi prensibine dayanır ancak alterasyon yoğunluğundan daha deneysel ve göreceli bir parametredir. X-ray difraktometre, diferansiyel ısıl analiz ve diğer teknikler ile desteklenen makroskobik ve mikroskobik çalışmalara dayanır. Örneğin, adularya geçirgenlik göz önüne alındığında alterasyon derecesi yüksektir.

Hidrotermal alterasyonun oluşum türlerinden biri olan **doğrudan çökelme** oldukça yaygın bir alterasyon türüdür ve pek çok hidrotermal alterasyon minerali jeotermal sahalarda doğrudan doğruya akışkandan çökelmiş bir durumda bulunmaktadır. Rezervuar kayacın içerisinde akışkanın hareket imkânı bulabileceği kırık, çatlak, eklem takımları, faylar, hidrolik çatlaklar, uyumsuzluklar, gözenekler, boşluklar ve damarlar gibi yapıların bulunması, doğrudan çökelimin oluşumu için gerekli olan fiziki koşullardır.

Kuvars, kalsit ve anhidrit damarlar oluştururlar ve boşlukları doldururlar, ayrıca klorit, illit, adularya, pirit, pirotit, hematit, vairakit, florit, lömantit, mordenit, prehnit ve epidot mineralleri direk olarak akışkandan çökelirler. Sondaj borularında ve boşaltım kanallarında da çökelmeler kalsit, aragonit ve silika şeklindedir, demir

içeren mineraller ise kabuklaşmaya yol açar. Çalışma alanındaki jeotermal sular da bu tür kabuklaşma riski taşımaktadır.

Kayaçların bileşiminde jeotermal ortamda duraylılığını koruyamayan ilksel mineraller de bulunabilir ve bu mineraller değişen ortam koşulları altında yeni mineraller ile **yer değiştirme** (ornatım) eğilimi içerisine girerler veya en azından yeni koşullar altında yarı duraylı davranırlar. Bazı yaygın ornatım ürünü mineraller aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.2.). Ornatım yolu ile alterasyon oranı oldukça değişkendir ve geçirgenliğe dayanır. Ornatımın tamamlanmadığı durumlarda (yoğunluğun 1.00'dan az olduğu zaman), örneğin akışkan/mineral dengesinin sağlanmadığı durumlarda, reaksiyon nüvede saklanır ya da donar. Volkanik kökenli rezervuar kayaçlarda ilksel ve hidrotermal (ikincil) minerallerin ayırt edilmesi daha kolaydır ancak sedimanter kökenli ya da düşük dereceli metamorfik kayaçlarda, Larderello, Kızıldere, Ngawha örneklerinde olduğu gibi, durum daha farklıdır. Nedeni ise, bu kayaçların içerdiği kuvars, kalsit, feldspat, illit gibi minerallerin alkali klorürlü suların mevcut bulunduğu jeotermal ortamda da duraylılıklarını sürdürmeleridir.

Bir diğer alterasyon oluşum türü olan **kimyasal çözündürme** (leaching) ise; genellikle jeotermal sahaların uç sınırlarında gözlenmektedir ve bu yüzden de sondaj kırıntılarında, karotlarda izine pek rastlanmaz. H_2S'nin oksidasyonu ile asitlenen yoğuşmuş buhar kayaçla etkileşime girerek, ornatım olmaksızın ilksel mineralleri eriterek alterasyon minerallerinin oluşumunu sağlamaktadır.

Bazen, sondaj ilk açıldığı anda, sondaj boyunca geçilen çatlak ve kırıklardan kuvars, vairakit ve diğer mineraller dışarıya püskürtülürler. Bunlar ise **püskürme** yolu ile oluşumlardır.

Ornatım, sızma ve çökelme şeklinde oluşan alterasyonlar, kapsamı ve doğası oldukça değişken ancak mineralojinin bir fonksiyonu olarak meydana gelen kimyasal değişimlere neden olurlar (Çizelge 4.3.).

Bazı yerlerde, en azından lokal ölçekte, hidrotermal alterasyon nadiren isokimyasal olarak gelişir, genellikle bileşenler rezervuara eklenir ya da rezervuardan uzaklaşır. Çizelge 4.3.'de nötre yakın pH'a sahip, alkali klorürlü sular içeren bir jeotermal rezervuarındaki hidrotermal alterasyon oluşumu sırasında majör oksit elementlerin olağan davranışları gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Bazı ilksel minerallerin alterasyona karşı göreceli duraylılıkları (Browne, 2002)

Nötrale yakın Alkali Klorürlü Sular		**Asitli sular**	
Mineral adı	En duraylı	**Mineral adı**	En duraylı
Apatit	↑	Apatit	↑
Hornblend		Piroksen	
Plajioklas		Plajioklas	
Aujit		Hornblend	
Hipersten		Fe-Ti oksitleri	
Magnetit			
İlmenit			
Cam	En az duraylı		En az duraylı

Çizelge 4.3. Majör oksit elementlerin hidrotermal alterasyon sırasında olağan davranışları (Browne, 2002)

Oksit	**Olağan davranış**	**Bu oksidi ya da bileşeni içeren hidrotermal mineraller**
SiO_2	Eklenme ve uzaklaşma	Kuvars, kristobalit, silikatlar
TiO_2	Değişim yok	Titanit, lökosen
Al_2O_3	Eklenme ve uzaklaşma	Pek çok silikatlar
Fe_2O_3 FeO	Eklenme ve uzaklaşma	Klorit, pirit, pirotit siderit, epidot, hematit
MnO	Değişim yok	
MgO	Uzaklaşma	Klorit, dolomit
CaO	Eklenme ve uzaklaşma	Kalsit, vairakit, epidot, prehnit, anhidrit, montmorillonit, titanit, florit
Na_2O	Eklenme ve uzaklaşma	Albit
K_2O	Eklenme	Adularya, illit, alunit
CO_2	Eklenme	Kalsit, siderit
S, SO_3	Eklenme	Anhidrit, alunit, pirit, pirotit, barit
H_2O	Eklenme	Tüm killer, epidot, prehnit, tüm zeolitler
P_2O_5	Değişim yok	Apatit
Cl	Uzaklaşma	

Alterasyona uğrayan kayacın kimyası olduğu kadar fiziksel özelliklerinde de bir takım değişimler meydana gelir.

Alterasyona uğrayan kayaçlarda, özellikle doğrudan çökelim yolu ile hidrotermal minerallerin çökelmesinden dolayı toplam **yoğunluk**ta bir artış gözlenir. Bu sadece kimyasal çözündürmenin (leaching) gerçekleştiği kayaçlarda tam tersi yoğunluk düşüşüne neden olur. Gözeneklilik oranı %50 olan bir pomza breşinin silifisiye olduğu düşünülür ise, 1.3x103 kg/m^3'ten 2.65x103 kg/m^3'e yükselmesi normal karşılanmalıdır. Bu durumda özellikle yüksek **gözenekliliğe** sahip rezervuar kayaçlarda hidrotermal alterasyona bağlı yoğunluk artışı açık bir şekilde göze çarparken, ilksel gözenekliliği %5'den az olan kayaçlarda bu yoğunluk artışı daha zor ayırt edilebilir. Ancak, her hidrotermal alterasyon yoğunluğu kesin olarak arttırmaz. Andezin mineralinin yoğunluğu daha düşük olan vairakit minerali ile ornatımı sonucu, yoğunlukta azalma olabilir.

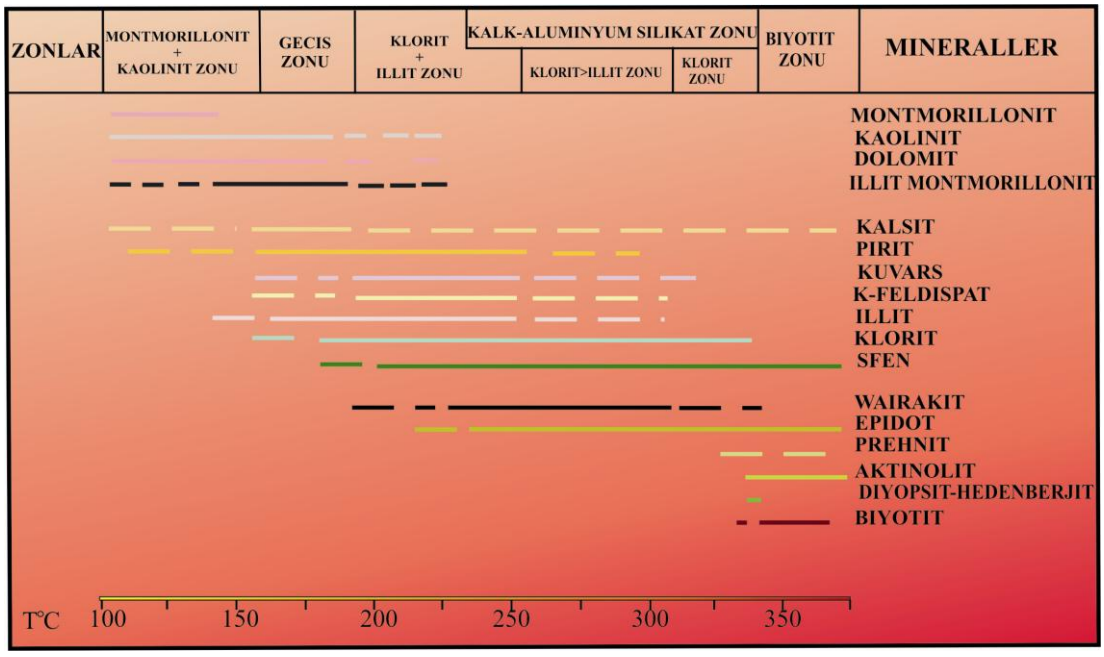
Gözeneklilik, bilindiği gibi kayacın akışkan depolama kapasitesini gösteren bir parametredir. Geçirgenlik ise bundan farklı olarak kayacın akışkanı iletebilme yeteneğidir. Kimyasal çözündürmenin (leaching) gerçekleştiği hidrotermal alterasyonlar hariç, alterasyonun rezervuarın **geçirgenliğine** etkisi oldukça karmaşıktır çünkü jeotermal sistemin doğasında seriler halinde meydana gelen küçük, düzenli ve güçlü değişimler de olmaktadır. Buna rağmen durağan bir jeotermal sistemden bahsedersek, kimyasal çözündürme yolu ile çökelen minerallerin çoğunluğuna bağlı olarak kayacın geçirgenlik özelliği kaçınılmaz bir şekilde azalacaktır.

Jeotermal sistemlerde hidrotermal alterasyon genelde mıknatıs özelliğinin azalması yani **demagnetizasyon** yönünde etkilidir. Taze volkanik kayaçlara mıknatıs özelliği kazandıran manyetit (Fe_3O_4), titanomanyetit gibi mineraller içerirler. Bu mineraller daha az mıknatıs özelliği taşıyan hematit (Fe_2O_3), pirit (FeS_2), gibi daha az manyetik ya da bazen pirotit (Fe_9S_{10}) gibi mıknatıs özelliği daha fazla olan minerallere altere olurlar.

Rezervuar kayacın **iletkenliği**, sadece sıcak akışkanın elektrolitik yoğunluğuna bağlı olarak değil ama kayacın matriksinde bulunan iletken kil ve zeolit minerallerine bağlı

olarak da etkilenmektedir. Bu durumda formasyonda bulunan kil ve zeolitler **direncin** düşmesine neden olurlar.

Alterasyona bağlı olarak kayacın mineralojisinde meydana gelen değişimler sıcaklık, basınç, ana kayacın türü, akışkan kimyası ve aktivitenin süresine bağlıdır. Kayacın geçirdiği **mineralojik değişimlere** göre oluşan alterasyon zonları aşağıda verilmektedir. Bu zonlar, çeşitli yöntemler ile belirlenen alterasyon mineralleri, rezervuarın geçmiş ortamına, sıcaklığına, basıncına ve pH'ına yönelik yorumlar yapmamıza yardımcı olmaktadır (Şekil 4.11.). Alterasyon mineralleri araştırmasına yönelik XRD analizi için alınan örneklere ait bilgiler Çizelge 4.4.'dedir.



Şekil 4.11. Hidrotermal alterasyon zonları ve karakteristik mineral parajenezleri (Elders vd.,1984)

Hidrotermal alterasyon minerallerinin sıcaklık, basınç, kayaç tipi, dolaşımda olan akışkanın doğası (pH, CO_2 ve H_2S akivitesi gibi) ve akışkan/kayaç oranlarının bir fonksiyonu olarak epitermal sistemlerde oluştuklarını göz önünde bulundurarak, nötral klorürlü sular, CO_2'ce zengin ve asit-sülfatlı sulara yönelik, alterasyon tipi ve ilgili mineralleri veren bir tablo oluşturulabilir.

Çizelge 4.4. Akışkan türüne göre oluşan hidrotermal alterasyon tipleri ve önemli hidrotermal alterasyon mineralleri (Browne vd., 1970; Browne, 1978; Pirajno, 1992'den düzenlenmiştir)

Akışkan türü	**Alterasyon türü**	**Mineral oluşumu (+ anahtar mineral, ± aksesuar mineral)**	**Sıcaklık (^{0}C)**
Nötral, klorürlü jeotermal sular	Potasik	Adularya + biyotit + manyetit ± epidot ± klorit ± muskovit	>320
	Serizitik	Serizit + kuvars ± sülfitler ±oksitler	>220
	Arjilik	Smektit veya tabakalı illit smektit ±sülfitler ± zeolitler± kuvars± kalsit	<200
	İç profilitik	Epidot + aktinolit ± klorit ± illit	>300
	Profilitik	Epidot ± klorit ± illit ± sülfitler	>250
CO_2'ce zengin jeotermal sular	İleri arjilik	Kaolinit +alunit ± opal	
	Serizitik	Serizit + kuvars + kalsit ± Klorit ± adularya	
	Potasik	Aduarya + albit ± serizit ± kalsit ± kuvars ± klorit	
	Profilitik	Kalsit + klorit + kuvars ±albit ± adularya	
SO_4'ce zengin jeotermal sular	İleri arjilik (Yüksek sıcaklık)	Profilit + diyaspor + andalusit ±kuvars ± sülfitler ± turmalin ± enarjit ± luzonit	250-300
	İleri arjilik (Düşük sıcaklık)	Kaolinit + alunit ± kalsedon ± kuvars ± pirit	<180

Çizelgede verilen CO_2'ce zengin jeotermal sulara ait sıcaklıklar yaklaşık olarak nötral klorürlü sulara ait hidrotermal alterasyon tiplerinin minerallerinin yansıttıkları sıcaklıklardır.

Çalışma alanından alınan kırıntı örneklere ait bilgi aşağıdaki çizelgede verilmektedir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. X-Ray difraktometre yöntemi ile analizi yapılan sondaj kırıntılarına ait veriler

Kuyu adı	Derinliği (m)	Sıcaklık (^{0}C)	Örnek derinlikleri (m)	Koordinat		Kullanım	Açılış tarihi
				X	Y		
G-1	413	66,96	250	42 48 651	05 04 975	BD-13	13.12.2006
			350				
			390				
G-2	456	71,7	410	42 48 658	05 05 314	---	27.10.2006
			450				
G-3	435	70	370	42 49 075	05 05 309	---	29.07.2006
			420				
G-4	352		250	42 49 188	05 04 938	---	26.06.2006
			330				
BT-5	390		260	42 49 111	05 02 438	---	01.11.2006
			330				
BD-11	716		450	42 49 242	05 04 511	Üretim	
			593				
BD-12	830		750	42 49 180	05 04 943	Üretim	
			768 (780)				
BD-13	720		380	42 48 651	05 04 975		03.02.2007
			590				
			630				
BD-14	371	130	180	42 49 034	05 03 475	Üretim	07.01.2007
			350				
BD-15	472	103.79	350 (355)	42 49 119	05 02 802	Geri basım	23.03.2007
SK-1 (434-17)	10.00	---	4.50	42 51301	35505505	---	21.04.2011
Baraj yolu	0.00	0	0	42 48444	35503011	---	

Balçova Jeotermal Sahası'nda yapılan alterasyon çalışmalarında elde edilen alterasyon minerallerine göre kaolinit-montmorillonit zonu, illit-monmorillonit-vermikülit zonu ve illit-klorit zonu (Yılmazer, 1989), kaolinit-montmorillinit zonu, geçiş zonu ve klorit-illit zonu (Alacalı, 2006) belirlenmiştir (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. X-Ray difraktometre yöntemi ile belirlenen hidrotermal alterasyon mineral fazları (Alacalı, 2006)

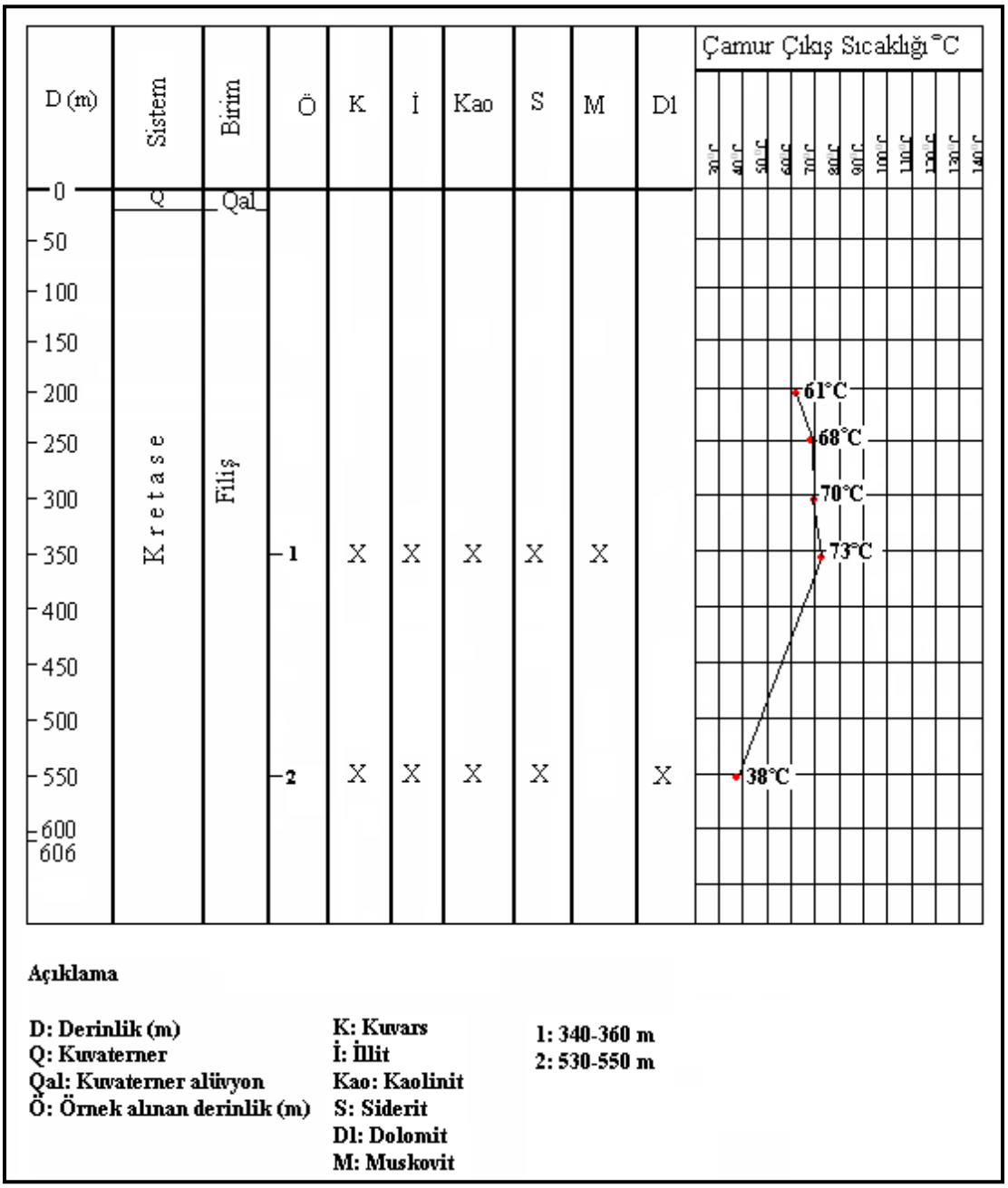
Örnek No	Derinlik	Mineraller	Ölçülen sıcaklık
BD–6	340–360 m	Kuvars, Kaolinit, Muskovit, İllit, Siderit	~73^{0}C*
	530–550 m	Kuvars, Siderit, İllit, Kaolinit, Dolomit (ferroan)	~38^{0}C*
BD–8	139–140 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Feldispat, Klorit, Kaolinit	~59^{0}C**
	321–322 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat, Siderit, Dolomit	~79.3^{0}C**
	415–416 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Kaolinit, Dolomit, Feldispat?	~93.9^{0}C**
	454–456 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Kaolinit, Feldispat? Dolomit	~99.7^{0}C**
	498–500 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Klorit, Kalsit Dolomit Siderit, Feldispat?	~104.4^{0}C**
	530–532 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Dolomit, Feldispat? Siderit?	~115.7^{0}C*
	535–536 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat? Klorit, Dolomit, Siderit	~115.7^{0}C*
	539–540 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Dolomit?	~115.7^{0}C*
	541 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Dolomit? Siderit?, Hematit?	~122^{0}C*
BD–9	292 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Siderit	~116^{0}C***
	320 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Siderit	~119^{0}C***
	380 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Dolomit, Siderit, Feldispat?	~121^{0}C***
	426 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~125^{0}C***
	486 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134.5^{0}C***
	540 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134.5^{0}C***
	550 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134^{0}C***
BD–10	75 m	Kaolinit, Kuvars, Siderit, Kalsit	~84^{0}C****
	80 m	Kuvars, Siderit, Dolomit, Kaolinit, Eastonit (mika)	~86^{0}C****
	125 m	Kaolinit, Siderit, Kuvars, İllit, Kalsit	~92^{0}C****
	219 m	Muskovit, Kuvars, Kaolinit	~100^{0}C****
	220 m	Muskovit, Kuvars, Kaolinit	~100^{0}C****
	320 m	Kuvars, Muskovit, Kaolinit, Dolomit (ferroan)	~86^{0}C****
Baraj Yolu	---	Hekzahidrit, Jips, Kaolinit? İllit/mika?	

***** BD-6 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Çalışması sırasında amerada ölçüm aleti arızalandığı için, kuyu içi statik sıcaklık ölçümü alınamamış, burada da çamur çıkış sıcaklıkları alınmıştır.

****** Kuyu içi statik sıcaklıklarda, MTA İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 23'deki, 14.02.2202-15.02.2002 tarihleri arasında yapılan gidiş ve dönüş sıcaklıklarının ortalaması alınmıştır.

******* Kuyu içi statik sıcaklıklarda, MTA İzmir-Balçova BD-9 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 28'deki statik sıcaklıklar alınmıştır.

******** Kuyu içi statik sıcaklıklarda MTA İzmir-Balçova BD-10 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 26'daki, 21.06.2004 tarihinde yapılan statik sıcaklık ölçüm testleri alınmıştır.



Şekil 4.12. Çalışma alanında bulunan BD-6 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri (Alacalı, 2006)

BD–6 kodlu sıcak su kuyusunun sondajı sırasında amerada kuyu içi statik sıcaklık ölçme cihazında meydana gelen bir arızadan dolayı kuyu içi statik sıcaklık ölçümü yapılamadığı için, bu kuyunun grafiğin hazırlanmasında çamur çıkış sıcaklıkları alınmıştır (Şekil 4.12).

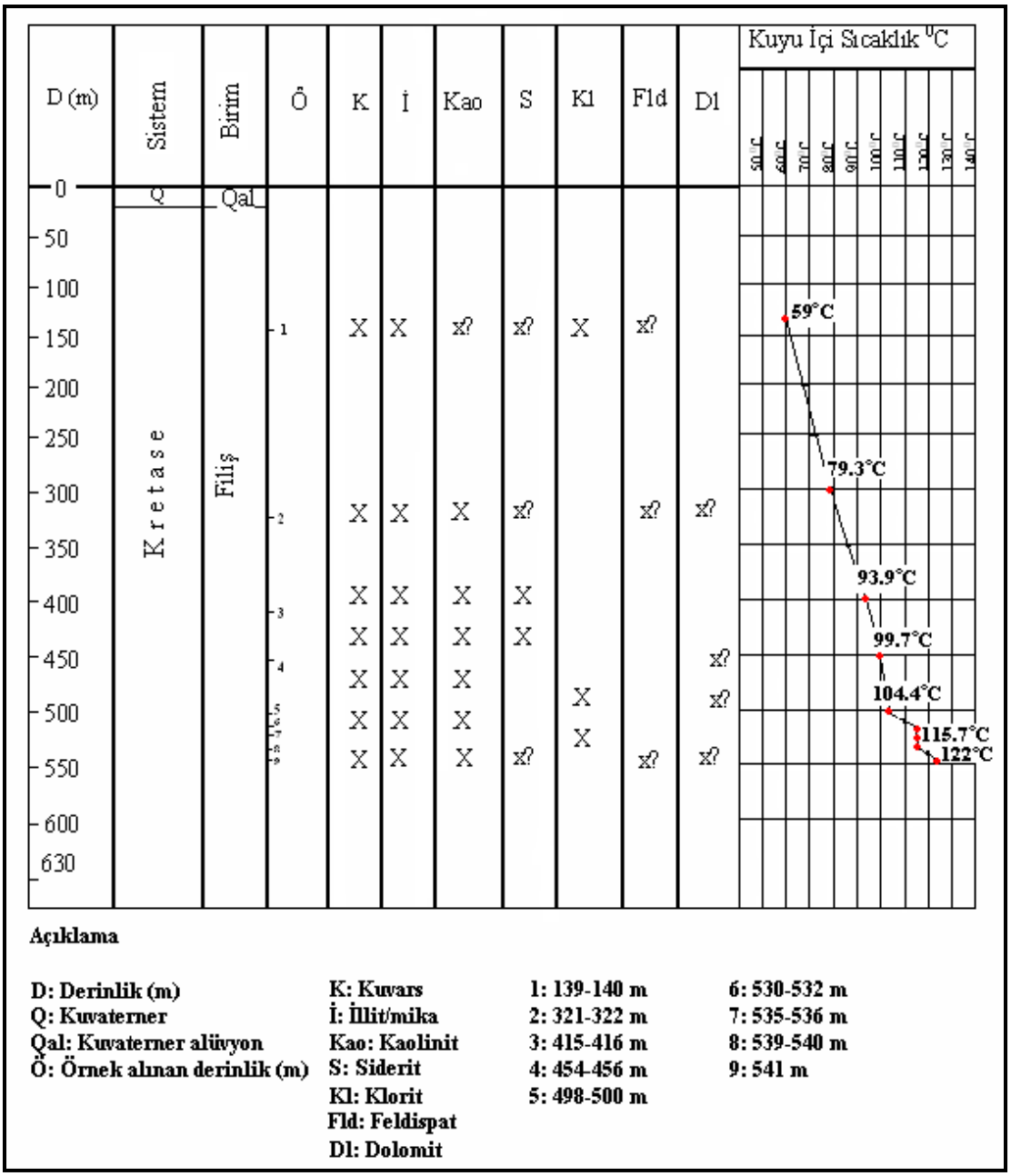
BD–6 Jeotermal Kuyusu: BD–6 sıcak su kuyusunun MTA İzmir Bölge Müdürlüğünce yapılan kuyu temizliği aşamasında alınan kırıntılardan yapılan X-Ray analizine göre, 340-360 m civarından alınan örnekte kuvars minerali baskın olmak üzere, kaolinit, muskovit, illit ve siderit mineralleri gözlenmektedir. 530–550 m'de ise, kuvars mineraline siderit, illit, kaolinit ve dolomit eşlik etmektedir (Şekil 4.13.).

BD–8 Jeotermal Kuyusu: BD–8 sıcak su kuyusunun analiz sonuçlarına göre, üst seviyelerde kuvars minerali baskın olmak üzere, klorit, illit/mika, feldispat, siderit, kaolinit ve dolomit gözlenmektedir. 140, 500 ve 536 m'den alınan örnekte kuvars ve klorit gözlenmekte, daha alt seviyelerde bunlara ilave olarak kaolinit, illit/mika, siderit ve dolomit mineralleri de belirmektedir. Ancak genel olarak kuvars-kaolinit-illit/mika şeklinde bir mineral parajenezi gözlenmektedir (Şekil 4.13.).

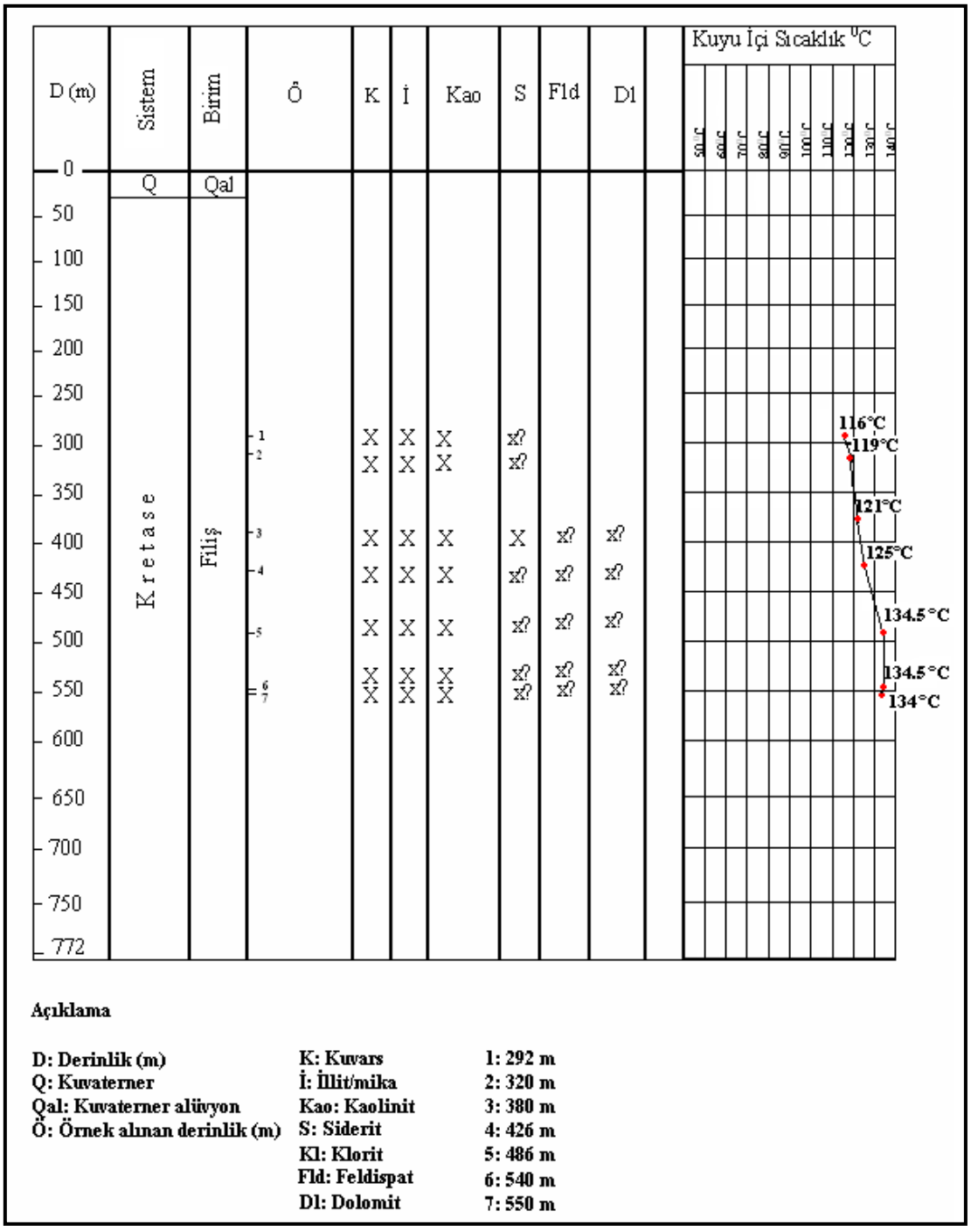
BD–9 Jeotermal Kuyusu: BD–9 sıcak su kuyusunda 292–320 m arasında yoğun olarak kuvars minerali gözlenmekte, daha derinlere gidildikçe, kuvarsa ek olarak kaolinit, illit/mika ve dolomit mineralleri belirmektedir. 540–550 m arasındaki örnekte de siderit minerali az miktarda da olsa bulunmaktadır. Siderit, demir karbonatlı bir alterasyon minerali olarak daha düşük sıcaklıkları işaret ettiğinden dolayı, bu metrelerden sonra sıcaklıkta artış beklenmemesi daha uygun olmaktadır. Zira, kuyunun logu incelendiğinde; 134.5^{0}C olan sıcaklık 550 m'de çok az bir düşüş 134^{0}C, 550 m seviyelerinden sonra ise, 130^{0}C'ye kadar düşüş göstermektedir (Şekil 4.14.).

BD–10 Jeotermal Kuyusu: BD–10 sıcak su kuyusunun sondaj aşamasında alterasyon şüphesi duyulan ve kaçak gözlenen 75, 80, 125, 219, 220 ve 320 m'lerden örnekler alınmıştır. Üst seviyelerdeki analiz sonuçlarında, kaolinit, kuvars-alfa, siderit ve kalsit, 80 m civarında bunlara ek olarak dolomit ve mika (eastonit) belirir iken, kalsit gözlenememiştir. 125 m'de ise kaolinit, siderit ve kuvars-alfa ile birlikte illit ve tekrar kalsit minerali gözlenmektedir. 220 m civarında muskovit gözlenmekte ve bu mika mineraline bol kuvars ve kaolinit eşlik etmektedir. 320 m'de ise kuvarsın miktarı artarak, muskovit ve kaolinite ek olarak 125 m'den sonra yok olan dolomit gelmektedir. Bu durumda bu kuyu için derinlere gidildikçe sıcaklıkta fazla artış

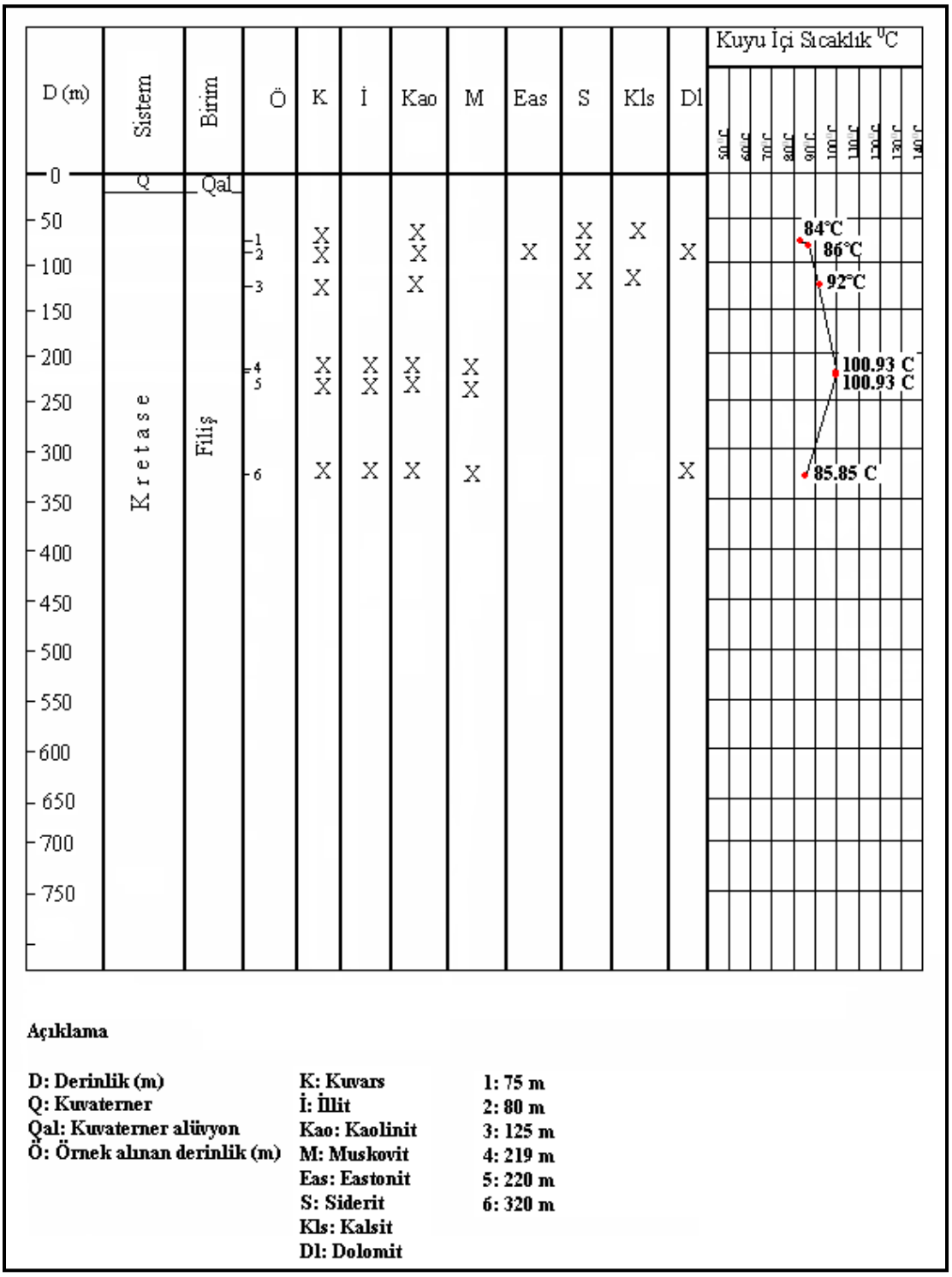
beklenmemesi daha doğru olacaktır. Kuyunun logu incelendiğinde, bu kuyu için ana üretim zonu sayılabilecek seviyeler 210 m–225 m'ler Agamemnon-I Fayı'nın geçildiği seviyelere karşılık gelmektedir. Bu seviyelerdeki kırıntıların binoküler mikroskopta da gözlenebilen alterasyona işaret eden verileri ise, piritleşme ve silisleşme şeklindedir (Şekil 4.15.).



Şekil 4.14. Çalışma alanında bulunan BD-8 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri (Alacalı, 2006).



Şekil 4.15. Çalışma alanında bulunan BD-9 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri (Alacalı, 2006).



Şekil 4.16. Çalışma alanında bulunan BD-10 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri (Alacalı, 2006).

Anılan kuyular hemen hemen aynı alterasyon minerallerine sahiptirler. Bu verilerde göre belirlenen hidrotermal alterasyon zonları aşağıda verilmektedir:

Zon I:	Montmorillonit + Kaolinit Zonu	(100-200^{0}C)
Zon II:	Geçiş Zonu	(150-200^{0}C)
Zon III:	Klorit + İllit Zonu	(200-250^{0}C)

Belirlenen bu zonlar daha önce sığ kuyulara yönelik yapılan hidrotermal alterasyon çalışmaları ile de uyum göstermektedir.

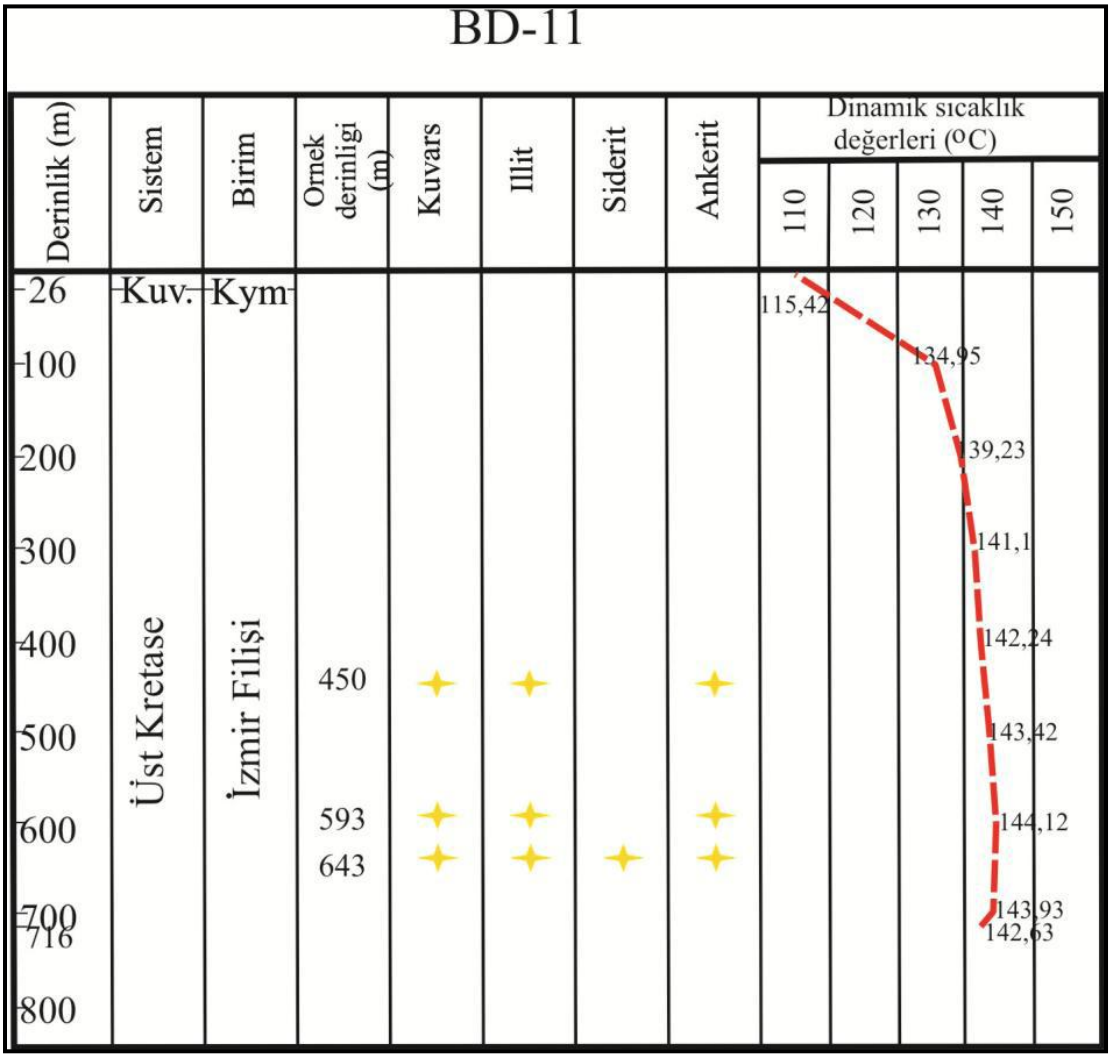
4.3.1. Daha önceki çalışmalarda elde edilen alterasyon verileri ile bu çalışmada elde edilen alterasyon verilerinin karşılaştırılması:

Arazi çalışmalarında, pek çoğu kaolinite altere olan kayaçların daha asidik (granit, kuvars, diyorit) olduklarını, Ca ve Na'ca zengin kayaçların ise montmorillonite dönüştükleri belirlenmiştir (Deer vd.,1966). Bu durumda, daha önce sığ kuyulardan örnek alınarak gerçekleştirilen alterasyon çalışmalarında gözlenen montmorillonit [$(Na,Ca)_{0.33}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2nH_2O$] üst seviyelerdeki Ca ve Na miktarının daha yüksek olduğunu, derinlere gidildikçe değişen ortam şartlarına bağlı olarak montmorillonitin illite [$(K_{1-1,5}Al_4(Si_{7-6,}5Al_{1-1,5}O_{20})(OH)_4$] dönüştüğünü söylemek mümkündür. Zira derinlere gidildikçe değişen ortamın şartlarına bağlı olarak montmorillonitin yerine, hakim olan kil minerali illit ve kaolinittir. Bu durumda, Al ve K'ca zengin, alkalin bir ortam göstergesi olan illitin, montmorillonitin alterasyonu sonucu oluştuğu söylenebilir.

Özetlemek gerekirse; sistemde asidik ve alkalin bir denge söz konusudur. Yer yer artan illit miktarı, asidik karakterli su girişi ihtimalini de işaret etmektedir. Bu çalışmada gözlenen kil mineralleri düzenli karışık tabakalı kil mineralleri dizilimi olarak tanımlanabilir (Baykal, 2005).

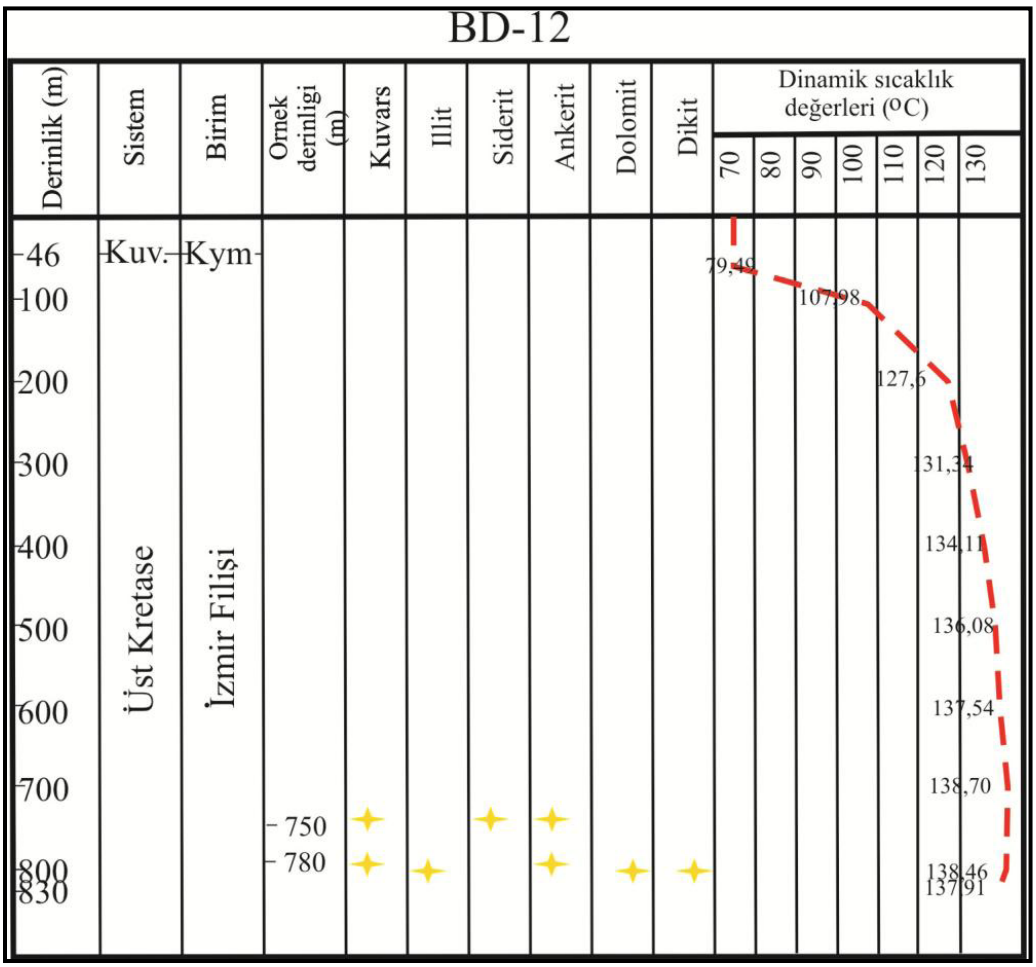
Bu çalışma kapsamında BD-11, BD-12, BD-13, BD- 14 ve BD-15 derin kodlu kuyuların ve gradyan kuyularının sondaj logları incelenerek, alterasyon şüphesi duyulan ve kaçak gözlenen değişik seviyelerden alınan sondaj kırıntılarına yapılan difraktometre analizleri ise ve belirlenen mineraller aşağıdaki Çizelge 4.7.'de verilmektedir.

BD-11 kodlu kuyunun 450-593 ve 643 metrelerinden alınan sondaj kırıntılardan yapılan XRD analizine göre; kuvars minerali baskın olmak üzere, illit, ankerit ve siderit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 4.16.).



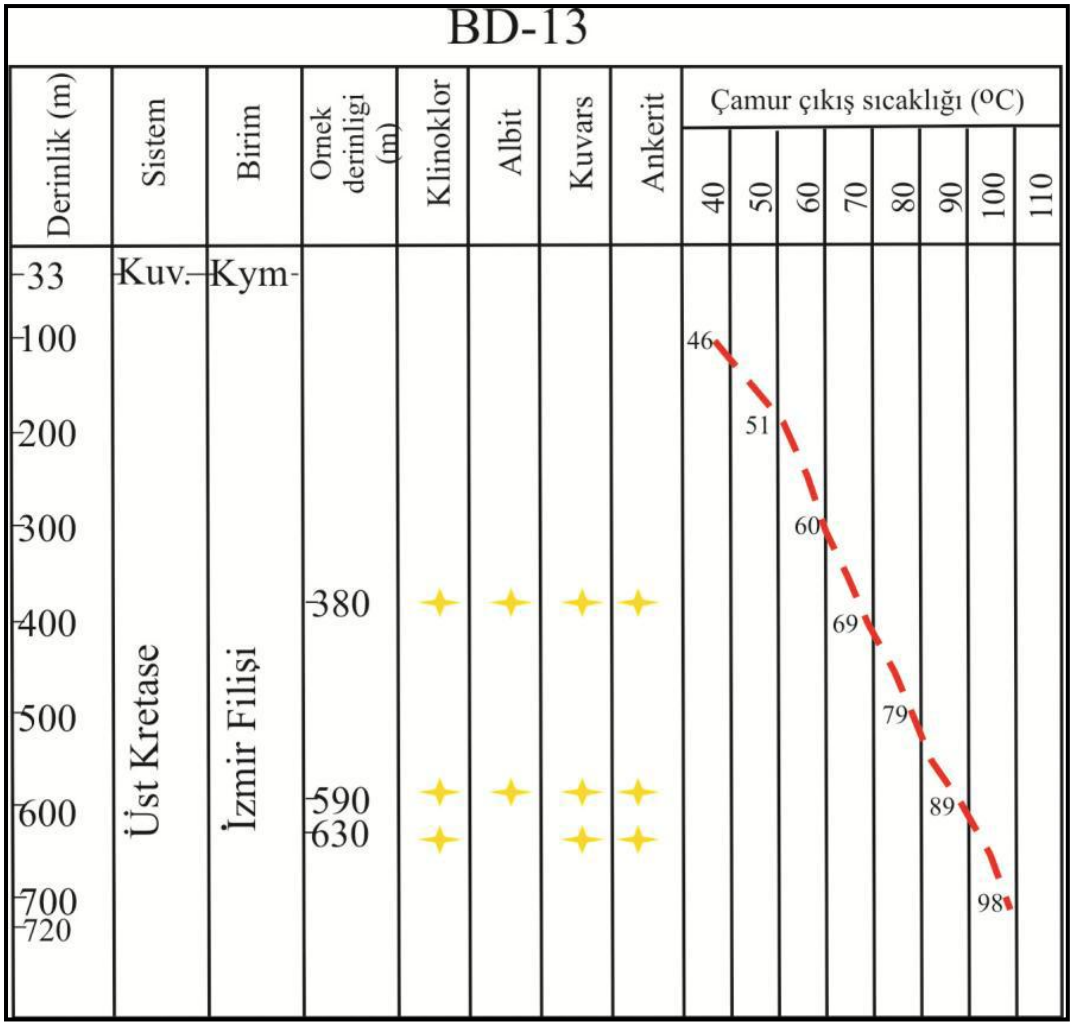
Şekil 4.16. BD-11 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

BD-12 kodlu kuyunun 750 ve 768 metrelerinden alınan örneklere ait analiz sonucu ise yine kuvars ağırlıklı, ankerit, siderit, dolomit, illit ve dikit minerallerini vermektedir (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. BD-12 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

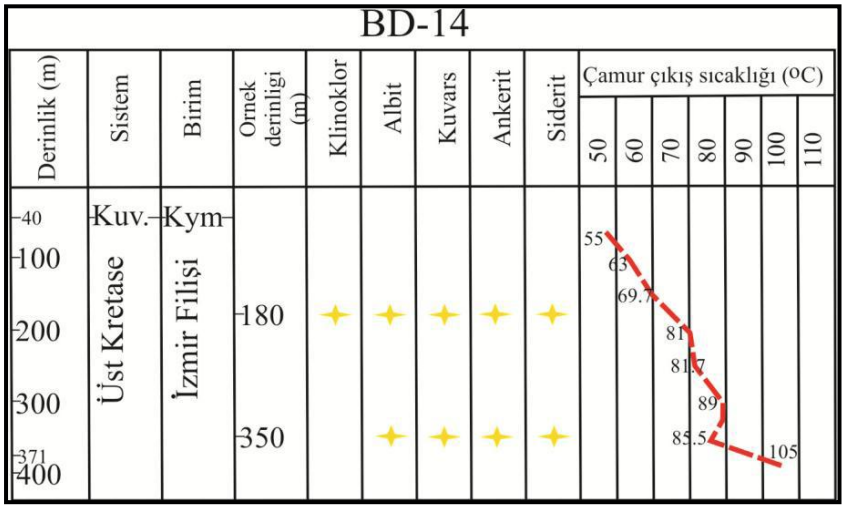
Çalışma alanında sıcak su örneği alınan noktalardan en doğuda olan ve G-1 gradyan kuyusu olarak açılan (413 m) ancak daha sonra derinleştirilen (kuyu derinliği: 720 m) BD-13 kodlu kuyunun 250-350-380-390-590 ve 630 metrelerine ait XRD analiz sonucuna göre ilk seviyelerde kuvars minerali ağırlıklı olmak üzere, albit, ankerit ve siderit minerali gözlenirken, özellikle 350 m civarından sonraki kırıntılarda klinoklor baskın olmak üzere, kuvars, albit, ankerit, siderit ve kalsit minerallerini tespit edilmiştir (Şekil 4.18.).



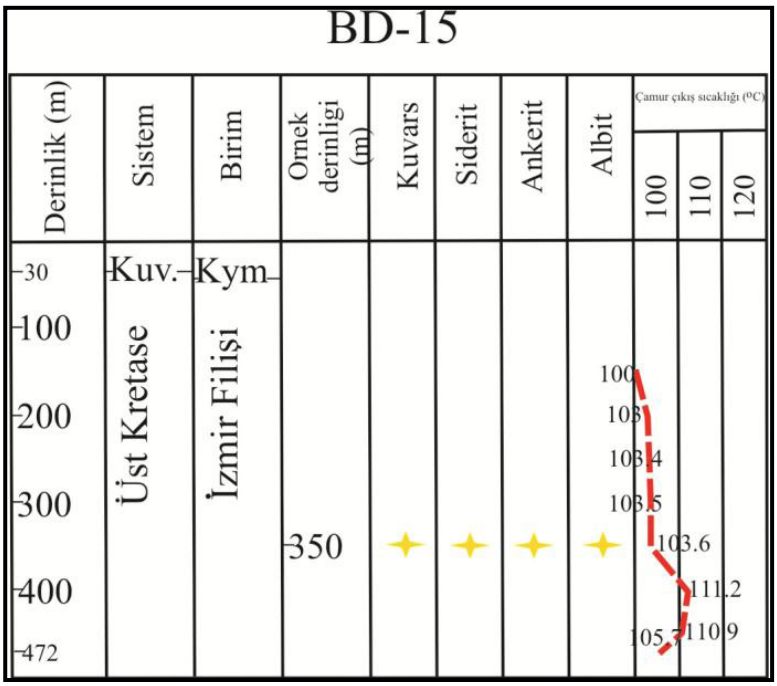
Şekil 4.18. BD-13 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

BD-14 kodlu kuyunun 180 ve 350 metrelerinden alınan örneklere ait analizlerde üst seviyede (180 m) klinoklor ağırlıklı, albit, kuvars, ankerit ve siderti mineralleri, 350 m'de ise klinoklor yok olurken onun yerine albit baskın olmak üzere, kuvars, ankerit ve siderit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 4.19.).

BD-15 kodlu kuyunun 350. metresinden alınan sondaj kırıntısına ait analizde kuvars minerali baskındır ve siderit, ankerit ve albit mineralleri kuvarsa eşlik etmektedir.



Şekil 4.19. BD-14 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri



Şekil 4.20. BD-15 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

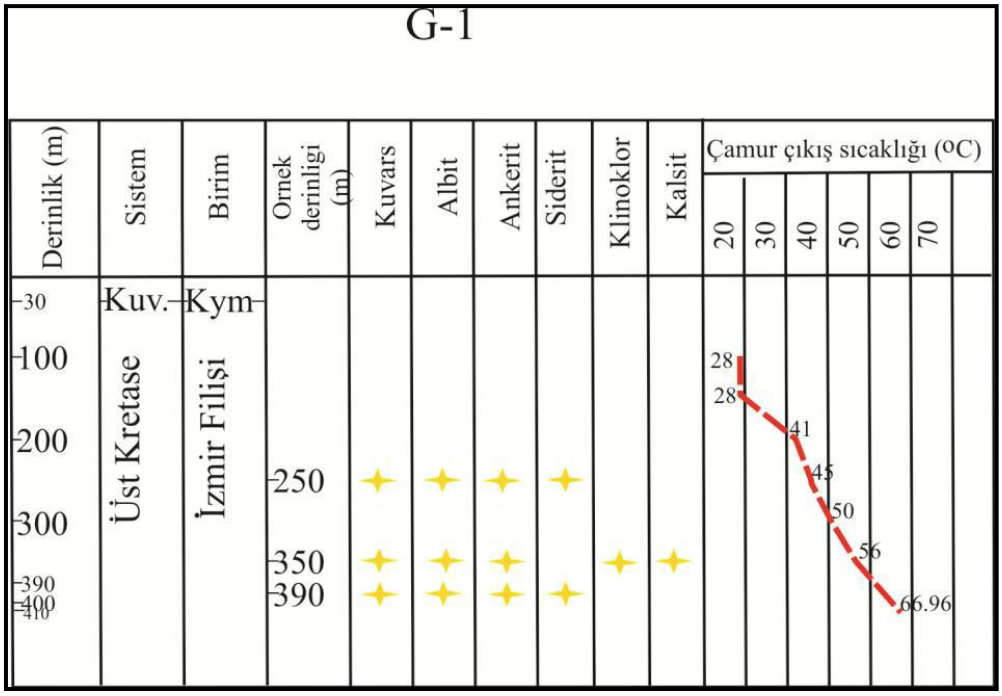
Çalışma alanında, jeotermal sistemin doğu uzanımını irdelemek üzere açılan 4 adet gradyan kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyulardan sadece G-1 şu anda BD-13 kodlu üretim

kuyusuna dönüşmüştür. Diğer gradyan kuyuları ise derinleştirilmeden bırakılmıştır (Şekil 4.21.).

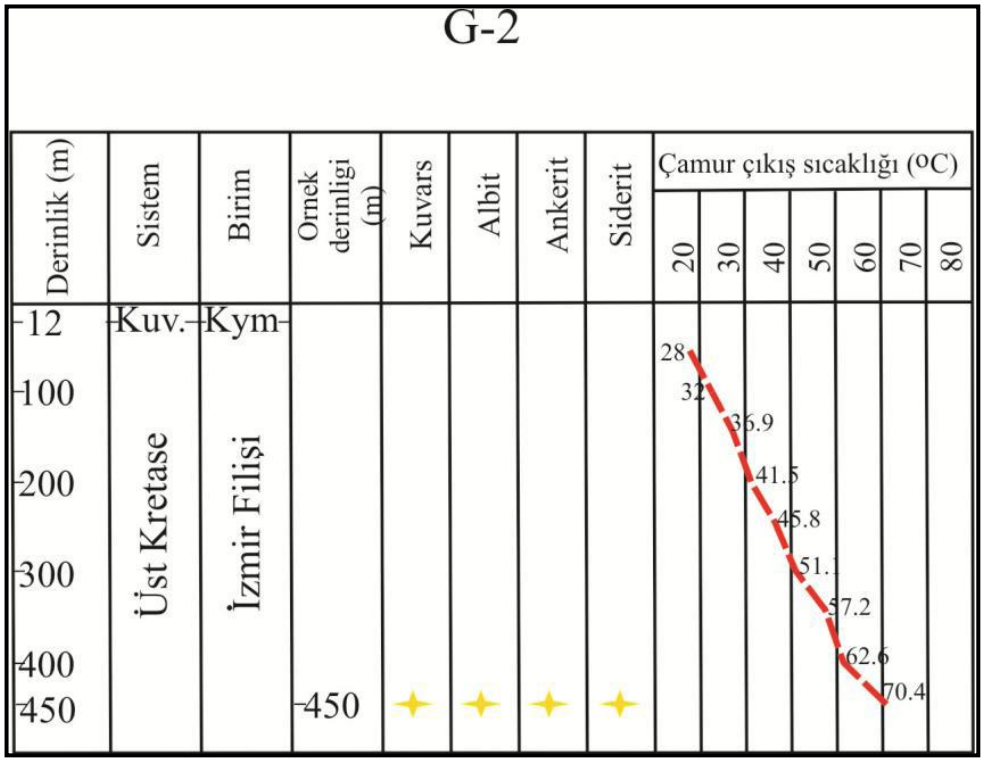
Gradyan kuyularından olan G-2 kodlu kuyunun 410 ve 450 metrelerine ait XRD analizi kuvars, albit, ankerit ve siderit minerallerini vermektedir (Şekil 4.22.).

G-3 kodlu kuyunun 370 metresinde XRD analizinde albit, kuvars ve ankerit mineralleri, 420 metresinde ise dikit baskın olmak üzere, klinoklor, albit, kuvars ve ankerit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 4.23.).

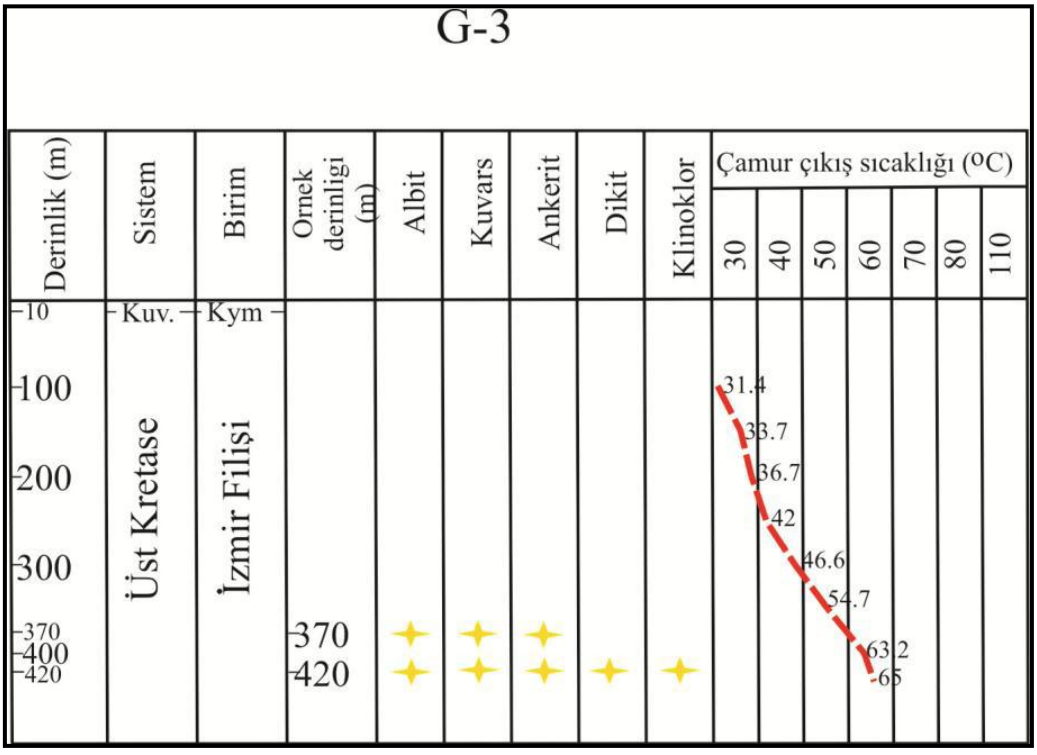
G-4 kodlu kuyunun 250 metresinden alınan kırıntılara ait analiz sonucuna göre klinoklor baskın mineral, beraberinde albit, kuvars ve ankerit mineralleri mevcut iken, daha derin (330 m) sondaj kırıntılarına ait analiz albit minerali ağırlıklı olmak üzere, kuvars ve ankerit minerallerini vermektedir (Şekil 4.24.).



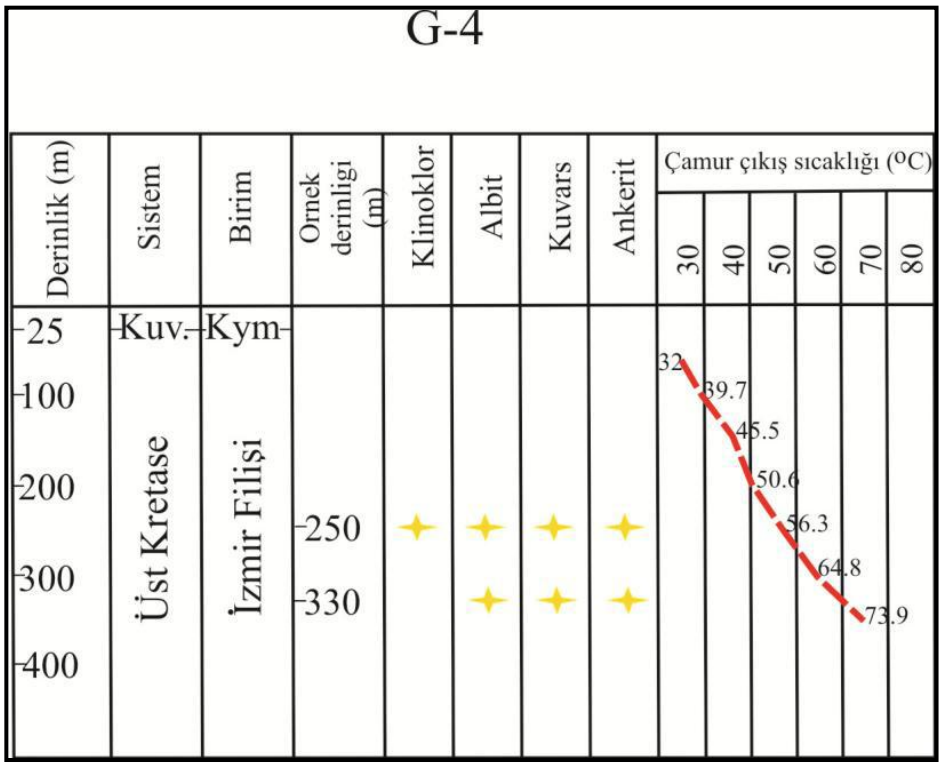
Şekil 4.21. G-1 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri



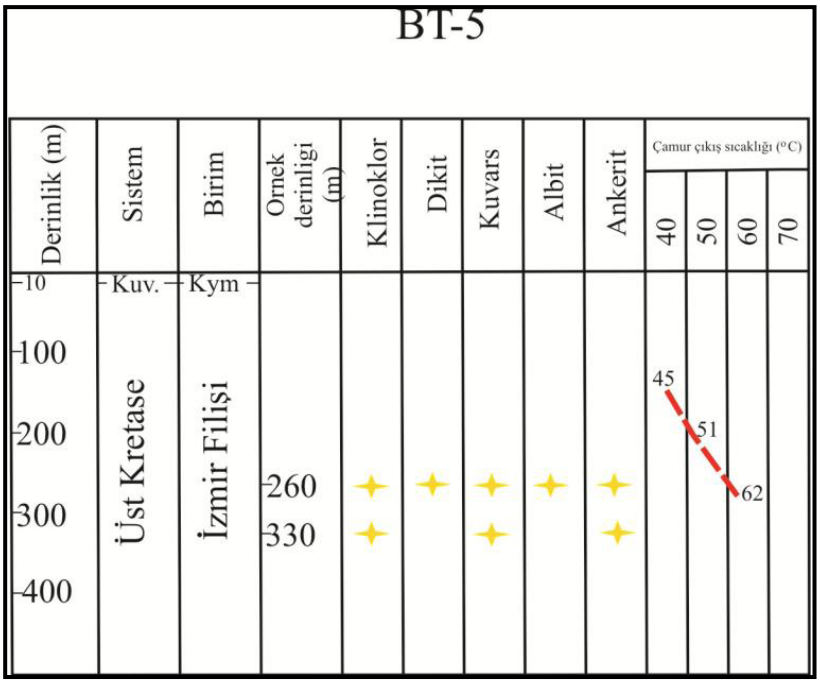
Şekil 4.22. G-2 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri



Şekil 4.23. G-3 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri



Şekil 4.24. G-4 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri



Şekil 4.25. BT-5 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

Çizelge 4.7. Çalışma alanından alınan sondaj örneklerine ait XRD analizi sonuçları

Örnek adı	**Derinlik (m)**	**Analiz sonucu**
BD-11	450	Kuvars – İllit – Ankerit
BD-11	593	Kuvars – İllit – Ankerit
BD-11	643	Kuvars – Siderit – İllit – Ankerit
BD-12	750	Kuvars – Ankerit – Siderit
BD-12	768-(780)	Kuvars – Ankerit – Dolomit – İllit – Dikit
BD-13	380	Klinoklor – Albit – Kuvars – Ankerit
BD-13	590	Klinoklor – Kuvars – Albit – Ankerit
BD-13	630	Klinoklor – Kuvars – Ankerit
BD-14	180	Klinoklor – Albit – Kuvars – Ankerit – Siderit
BD-14	350	Albit – Kuvars – Ankerit – Siderit
BD-15	350-(355)	Kuvars – Siderit – Ankerit – Albit
G-1	250	Kuvars – Albit – Ankerit – Siderit
G-1	350	Klinoklor – Albit – Kuvars – Ankerit – Kalsit
G-1	390	Kuvars – Albit – Ankerit – Siderit
G-2	450	Kuvars – Albit – Ankerit – Siderit
G-3	370	Albit – Kuvars – Ankerit
G-3	420	Dikit – Klinoklor – Albit – Kuvars – Ankerit
G-4	250	Klinoklor – Albit – Kuvars – Ankerit
G-4	330	Albit – Kuvars – Ankerit
BT-5	260	Klinoklor – Dikit – Kuvars – Albit – Ankerit
BT-5	330	Klinoklor – Kuvars – Ankerit

Bu durumda alterasyon minerallerine göre belirlenebilecek zonlar aşağıdaki gibidir:

Montmorillonit-kaolinit zonu	I. ZON	100-200^{0}C
Geçiş zonu	II. ZON	150-200^{0}C
Klorit-illit zonu	III. ZON	200-250^{0}C

Ayrıca çalışma alanında baraj yolu üzerinden ve çalışma alanının kuzey doğusunda bulunan 434 ada 17 no'lu parselin 4.50 metresinden alınan örneklerin her ikisi de

analiz sonucunda heksahidrit [($MgSO_4$).($6H_2O$)] mineralini vermiştir. Her iki örneğin alındığı noktalar arasında yaklaşık 150 m kot farkı bulunmaktadır. Çalışma alanında gözlenen D-B uzanımlı basamak fayların varlığını işaret eden bir veri olarak kabul edilebilir.

Çalışma alanında gözlenen alterasyon tipi baskın olarak orta arjilik- ileri arjilik tipidir, zira araştırıcının önceki çalışmalarında elde ettiği kil mineralleri ve bu çalışmada elde edilen mineral parajenezi, jeokimyasal termometre sonuçlarından elde edilen sıcaklıklar ile deneştirildiğinde, uyum söz konusudur.

4.4. Hidroloji

DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden çalışma alanı içerisinde bulunan ve 1983 yılında faaliyete geçen Cengiz Saran Barajı'nın inşasından önceki bölgeye ait su temini tablosu aşağıda bulunmaktadır (Çizelge 4.8.). Ekim ayından bir sonraki yılın Eylül ayına kadar geçen ve "bir su yılı" olarak kabul edilerek hazırlanan bu tabloya göre; 1951-1967 yılları arasındaki toplam su temini 382.20x106 m^3, ortalaması ise; 21.23x10^6 m^3 olarak belirtilmiştir.

DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen 21.01.1987 onay tarihli, "Balçova-İnciraltı-Narlıdere Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu"na göre; Balçova'da yeraltısuyu akımı güneyden kuzeye, yani denize doğrudur. Raporda yeraltı sularının bazı kesimlerinde borlanma tespit edildiği belirtilmektedir. Raporda yıllık yağış miktarı 698.4 mm, toplam beslenme 4,137x10^6 m^3, buharlaşma-terleme yoluyla boşalma miktarı ise 0,278x10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Balçova Cengiz Saran Barajı öncesi Balçova'ya ait su temini çizelgesi (DSİ)

Drenaj sahası	**33km^2**											**Birimler**	**10^6km^2**
Su yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık
1951	-	2.94	10.40	7.48	3.76	4.72	0.64	2.50	-	-	-	-	32.44
1952	1.26	3.67	2.78	4.63	9.01	2.90	-	2.44	-	-	-	-	26.69
1953	1.46	6.29	1.21	7.57	2.31	1.00	0.03	1.57	0.92	-	-	-	22.36
1954	1.10	1.45	3.47	4.65	3.51	3.30	1.51	1.93	-	-	-	-	20.92
1955	1.34	4.85	6.79	2.88	1.48	0.35	2.56	-	-	-	-	-	20.25
1956	1.59	6.74	2.45	1.08	6.93	1.92	0.03	1.17	-	-	-	-	21.91
1957	-	0.74	4.29	2.98	0.02	1.58	0.36	3.80	-	0.07	-	0.14	13.98
1958	-	0.93	1.72	4.94	0.97	3.57	1.54	0.52	-	-	-	-	14.19
1959	1.32	1.78	4.26	6.88	-	1.30	-	0.81	-	-	-	-	16.35
1960	0.84	0.66	3.66	4.41	1.56	0.86	1.82	0.23	-	-	-	-	14.04
1961	-	5.18	10.12	4.11	2.72	0.04	3.17	0.21	0.44	-	-		25.99
1962	0.59	1.70	3.50	1.57	4.84	4.99	1.62	-	-	-	-	0.61	19.42
1963	0.75	2.94	9.92	5.54	3.88	1.37	0.42	1.09	-	-	-	-	25.91
1964	2.56	0.91	1.24	1.58	2.17	1.92	-	0.19	0.60	-	-	1.94	13.11
1965	-	0.31	3.92	2.21	7.41	2.20	4.66	2.66	-	-	-	-	23.37
1966	-	2.70	6.76	6.24	1.77	3.59	1.11	0.46	0.41	0.50	0.018	0.17	23.74
1967	0.127	0.244	12.08	4.26	1.01	0.48	0.35	0.25	0.0	-	-	-	15.44
Toplam													382.20

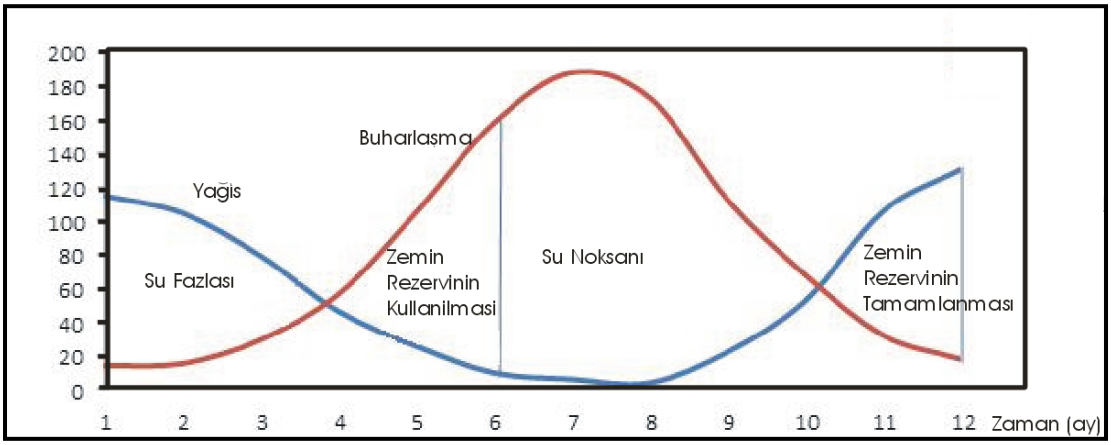
4.4.1. Yağış

Bu çalışmada; Devlet Meteoroloji İstasyonu'nun 36 yıllık (1975-2010) verilerine göre ölçülen maksimum yağış değeri 29.09.2006'da 145.3 mm'dir. Devlet Meteoroloji İstasyonu'nun 36 yıllık verilerinden yararlanılarak İzmir merkez olmak üzere yıllık ortalama yağış miktarı 58.86 mm olarak bulunmuştur.

4.4.2. Buharlaşma

Su yüzeyinde ya da ıslak yüzeylerde meydana gelen kayıplar buharlaşma, bitkilerden meydana gelen su kaybı terleme, transprasyon olarak adlandırılır. Bitkilerden ve civarındaki topraktan meydana gelen su kaybına ise evapotransprasyon denir. Buharlaşma difüzyon, konveksiyon veya rüzgarın etkisi ile meydana gelir. Çalışma alanında hüküm süren iklim koşullarına göre değişen buharlaşma-terleme ile kaybolabilecek en fazla su miktarına potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) denilmektedir. Bu hesaplamaya yönelik en çok kullanılan formüller aylık ortalama sıcaklığa dayalı olan Thornthwaite ve aylık nispi neme dayalı Türe formülleridir.

Bu çalışma kapsamında potansiyel (Etp) ve gerçek (Etr) buharlaşma-terleme değerleri Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde; potansiyel buharlaşma-terleme değerinin hesaplanmasında aylara göre ortalama sıcaklık, ortalama yağış, aylık endeks değerleri ve enlem düzeltme katsayıları kullanılır. Çizelge 4.8.'de Güzelyalı Meteoroloji İstasyonu verileri ile hazırlanan buharlaşma-terleme bilançosu verilmektedir. Bu tabloya göre; toplam yıllık yağış miktarı 864.64 mm, potansiyel buharlaşma (düzeltilmiş değeri ile) 971.96 mm ve gerçek buharlaşma 395.38 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 36 yıllık yağış değerlerinin ortalaması 864.64 mm olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanılarak yağış ve potansiyel buharlaşma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.26.). Bu grafiğe göre; ocak ayından nisan ayı sonuna kadar yağış değeri, potansiyel buharlaşma değerinden fazladır. Bu yüzden bu dönemde su fazlası 352.87 mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm olarak kabul edilen zemin rezervi Nisan-Mayıs ve Haziran aylarında tamamen harcanmıştır. Haziran ayı ortalarından Ekim ayı sonuna kadar gerçekleşen su noksanı 661.67 mm'dir. Tüm bu verilere göre; 864.64 mm olan ortalama yağışın 395.38 mm'lik kısmı buharlaşarak atmosfere dönmektedir. Balçova ilçesinde su fazlası tüm yağışın % 54.27'si kadardır.



Şekil 4.26. Çalışma alanının Thornthwaite yöntemi ile ortalama yağış-potansiyel buharlaşma aylık değişim grafiği

Çizelge 4.9. Thornthwaite yöntemine göre hazırlanan buharlaşma-terleme bilançosu (1975-2010)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık ortalama sıcaklık	8.9	9.4	11.8	16	20.9	25.7	28.1	27.6	23.6	18.9	13.8	10.3	
Aylık endeks	2.39	2.60	3.67	5.81	8.72	11.9	13.65	13.28	10.48	7.49	4.65	2.99	87.66
Etp(mm)	16.48	18.24	28.64	50.88	85.44	127.68	151.36	146.88	108.32	70.88	38.24	21.6	864.64
EtpxEnlem düzeltmesi-Etp_c	14.01	15.32	29.5	56.5	105.09	158.32	189.2	173.3	112.65	68.05	32.12	17.9	971.96
Yağış-P (mm)	114.8	104.7	79.3	46.3	25.7	9.8	6.0	3.9	22.1	52.5	105.8	130.8	570.9
Zemin rezervi	100	100	100	89.8	10.41	0	0	0	0	0	73.68	112.9	
Etr(mm)	14.01	15.32	29.5	56.5	105.09	40.44	6.0	3.9	22.1	52.5	32.12	17.9	395.38
Zemin rezerv değişimi	0	0	0	0	-79.39	-30.64	0	0	0	0	73.68	112.9	
Su noksanı (Etp_c-Etr)	0	0	0	0	0	148.52	183.2	169.4	90.55	15.55	0	0	511.7
Su fazlası (P-Etr)	100.79	89.38	49.8	0	0	0	0	0	0	0	0	112.9	352.87
Enlem düzeltme katsayısı	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.25	1.18	1.04	0.96	0.84	0.83	

4.5. Hidrojeoloji ve Hidrojeokimya

4.5.1. Hidrojeoloji

Bölgedeki en önemli dere, üzerinde Cengiz Saran Barajı'nın (Şekil 4.27.) kurulu olduğu Ilıca Deresi'dir. Diğer önemli akarsular ise mevsimsel akış gösteren Hacı Ahmet Deresi, Sarıpınar, Yahya Deresi, Ali Onbaşı Deresi ve Arap Deresi'dir. Ilıca Deresi üzerinde su potansiyelini belirlemeye yönelik akım gözlem istasyonu 2010 yılı içerisinde açılmıştır ancak henüz bir yıllık hidrometrik değerlendirmeler aşamasına gelinememiştir ancak 2010 yılı (bir su yılı) eklenik toplam 934,2 mm^3'tür (Özer, 2011). Ilıca Deresi üzerinde seviye gözlem ve akım ölçümü çalışmaları bu tezin hazırlandığı dönemde ham veri durumunda idi ancak bu ham veriler daha sonra Ankara Genel Merkez ile koordineli bir şekilde anahtar eğri çalışması ile kullanılabilir verilere dönüşecektir. Balçova ilçesi sınırları içerisinde özellikle güney taraflarında doğal su çıkışları gözlenmiştir. Bunlardan bazılar Radar Çeşmesi, Orman Çeşmesi, Mersin Pınar ve İzmir filişi içerisindeki kireçtaşı merceklerinden kendisini yüzeyleyen Kabaoğlu Çeşmesi'dir. Bu kaynaklar mevsimsel olarak akış göstermektedirler. Ayrıca ilçede yaşayan halkın kendi kullanım ihtiyacını karşılamak amacı ile açılmış birçok soğuk su kuyusu mevcuttur. Ilıca Deresi üzerinde bulunan Cengiz Saran Barajı'na ait teknik bilgiler Çizelge 4.10.'da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Balçova Cengiz Saran Barajı'na ait teknik bilgiler (www.dsi.gov.tr)

Barajın Yeri	İzmir-Balçova
Akarsuyu	Ilıca Deresi
Amacı	İçme. Kullanma ve sulama suyu
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	1980
Gövde tipi	Kaya dolgu
Gövde hacmi	1 hm^3
Yükseklik (talvegden)	64,4m
Normal su kotunda göl hacmi	7,8hm^3
Normal su kotunda göl alanı	0,4km^2

Şekil 4.27. Balçova Cengiz Saran Barajı'ndan bir görünüm

Balçova jeotermal sahasında ilk sondaj çalışmaları 1963 yılında S–1, S–2 ve S–3 sondajlarının yapılması ile başlamıştır (Şamilgil, 1964). İzmir Valiliği Özel İdaresi'nin denetiminde ilk kez 29 Ekim 1996'da 5000 konut eşdeğeri ısıtma kapasitesi ile faaliyete geçen, önce Balçova Termal Turizm ve Özel Eğitim İşletmesi Ltd. Şti, daha sonrada İzmir Jeotermal Enerji San. Tic. A.Ş.'ye dönüşen şirket tarafından işletilen sıcak su kuyularına ilişkin genel bilgiler aşağıdaki çizelgede verilmektedir. Kurulu gücü 150 MWt olan İzmir Jeotermal A.Ş.'nin, 2011 ekim ayı sonu itibari ile, ısıttığı kapalı alan 2.623.000 m^2, abone sayısı 16.269, konut sayısı 26.230'dur. Balçova Jeotermal Sahası'nda, derinlikleri 48 m ile 250 m arasında değişen 12 adet sığ kuyu ve derinlikleri 430 m ile 1100 m arasında değişen 15 adet derin kuyu bulunmaktadır. Üretim için kullanılan derin kuyular dönüşümlü olarak mevsimsel şartlara göre sisteme dahil edilmektedirler (Çizelge 4.11.). Sığ kuyuların ortalama sıcaklıkları 102^0C, derin kuyuların ise 131^0C'dir.

Devlet Su İşleri'nin çalışma alanı içerisinde ruhsatlı açılmış bir kuyusu bulunmamaktadır.

Balçova Jeotermal Sahası'nda yapılan daha önceki çalışmalarda da bahsedildiği üzere, Balçova'da ısıtma döneminin başlaması ile birlikte kuyulardan su çekildikçe, tüm noktalarda birbirleri ile uyumlu olarak seviye düşümlerinin gözlenmesi, Balçova gibi farklı kırık ve fay hatlarından üretim yapan bir jeotermal saha için olağan karşılanması gereken bir durumdur.

Çizelge 4.11. Balçova Jeotermal Alanı'nda bulunan sıcak su kuyularının özellikleri

No	Zaman	X	Y	Z	Derinlik (m)	Üretim Zonu (m)	Türü	T (^{0}C)	Debi (lt/s)
S1	1963	35503165	4248990	40.01	40	124	---	124	27
S2	1963	35503241	4249211	34.83	73.5	102	---	102	11
S3	1963	35502951	4249372	32.41	140	101	---	101	1.25
BD-1	1994	35502994	4249063	35.22	430	350	Üretim	135	40
BD-2	1995	35503479	4249219	36.33	550	450	Üretim	135	60
BD-3	1995	35503706	4249187	43.72	750	450	Re-enj	133	25
BD-4	1998	35503065	4249240	33.30	600	400–500	Üretim	135	40
BD-5	1998	35502599	4249492	23.48	1100	775	Üretim	120	35
BD-6	1999	35503265	4249252	34.34	606	470	Üretim	135	25
BD-7	1999	35502909	4249221	32.46	600	500	Üretim	120	25
BD-8	2002	35503907	4249225	54.89	630	540	Re-enj	135	40
BD-9	2003	35504219	4249217	35.00	772	450-500	Üretim	139	40
BD-10	2004	35502718	4248975	42.00	750	210-350	Re-enj	104	45
BD-11	2006	35504511	4249242	57.00	716	650	Üretim	121	97
BD-12	2006	35503943	4249180	52.00	830	760	Üretim	102	
BD-13	2007	35504975	4248651	32.00	720	---	---	98	3
BD-14	2007	35503475	4249034	34.00	371	---	Üretim	130	37
BD-15	2007	35502804	4249109	33.00	472	112	Re-enj	52.5	67
B-1	1982	35503115	4248997	39.64	100	60–100	Üretim	117	40
B-2	1983	35503138	4249078	37.63	200	70	---	117	15
B-3	1983	35503112	4249323	32.21	180	---	---	112	--
B-4	1983	35502941	4248979	35.36	125	60–100	Üretim	111	40
B-5	1983	35503069	4248996	38.51	125	60–100	Üretim	106	40
B-6	1983	35503348	4249172	35.91	150	---	---	93	---
B-7	1983	35503172	4249033	38.83	125	60–100	Üretim	97	40
B-8	1983	35503372	4249327	32.29	250	---	---	105	25

Çizelge 4.11. (devam)

No	Zaman	X	Y	Z	Derinlik (m)	Üretim Zonu (m)	Türü	T (^{0}C)	Debi (lt/s)
B-9	1983	35502827	4248968	43.69	48	42	---	125	150
B-10	1989	35502800	4249049	33.42	125	60–100	Üretim	114	60
B-11	1989	35502866	4249123	33.60	125	60–100	---	104	10
B-12	1982	35503195	4249169	36.26	250	---	---	110	17
N-1	1996	35502492	4249375	28.49	150	70	---	95	2.5
ND-1	1997	35502456	4249492	31.57	800	540	---	102	4.5
BTF-1	1989	35502669	4249435	24.42	121	100	Üretim	102	2
BTF-2	1990	35502582	4249513	23.41	116	100	Üretim	80	2.5
BTF-3	1990	35502773	4249231	29.67	100	100	Üretim	115	11
BTF-4	1990	35502902	4249225	31.53	112	100	Üretim	116	2
BT-5	2006	35502438	4249111	44.00	390	---	---	62	11,9
G-1	2007	35504975	4248651	32.00	413	---	Üretim	66.96	---
G-2	2007	35505314	4248658	30.00	456	---	---	71.7	---
G-3	2007	35505309	4249075	32.00	435	---	---	70	---
G-4	2007	35504938	4249188	33.00	352	---	---	77.3	---

4.5.2. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Balçova Jeotermal Alanında İzmir Filişi, Yeniköy Formasyonu, Cumaovası Volkanitleri, yamaç molozu ve alüvyon birimleri gözlenmektedir. Burada, birimlerin hidrojeolojik özelliklerinden aşağıda detaylı olarak bahsedilmiştir.

4.5.2.1. Kretase yaşlı İzmir Filişi

Çalışma alanında temeli oluşturan birim İzmir filişidir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, hafif metamorfizmaya uğramış olan filiş birimi metakumtaşı, metasilttaşı, metakiltaşı ve bu üyelerin ardalanmasından ve yersel kireçtaşı merceklerinden meydana gelmekte olan filiş, aslında hidrojeolojik yönden geçirimsiz bir özellik sunar. Bir üyesi olan metakumtaşı çalışma alanında oldukça yaygın olarak gözlenmekte ve geçirdiği tektonizmanın da etkisi ile bol kırıklı ve çatlaklı bir yapı

sunmaktadır. Yağışların etkisi ile oluşan yüzey suları bu çatlak ve kırık sistemleri boyunca aşağılara doğru süzülüp, bölgenin yeraltı sularının oluşumunu sağlarlar. Metakumtaşının içerdiği bu kırık, çatlak sistemleri, eklem yapıları ve faylardan etkilenerek ikincil permeabilite kazanan bölümleri aynı zamanda bölgedeki sıcak su kaynaklarının oluşumuna da olanak sağlamaktadır. Bu bölgeye düşen tüm yağışlar yeraltı suyuna katkıda bulunamaz, zira topoğrafik eğimin yüksek olduğu bölgelerde yüzeysel akış sunarlar. Çatalkaya civarında daha yoğun gözlenen kireçtaşı ise sahip olduğu kırık ve çatlaklar boyunca yağışların yeraltına süzülmesine yardımcı olmaktadır. Radar yolu tarafında gözlenen serpantinitler ise oldukça fazla bozunmaya uğradıklarından yeraltı suyu yönünden fakirdirler. Dede Dağı'nın kuzey eteklerinde gözlenen bir soğuk su çıkışı olan Kabaoğlu Çeşmesi, filiş içerisinde mercekler şeklinde bulunan kireçtaşlarından süzülen yağış sularının yeryüzüne ulaştığı bir kaynaktır.

Çalışma alanında yaygın olarak gözlenen İzmir filişi ilksel olarak geçirimsiz bir birim de olsa, fay zonları boyunca gözlenen ikincil permeabilite özelliğinden dolayı, özellikle sistemde sıcak suyu taşıyan ana hat olarak kabul edilebilecek olan Agamemnon-I fayı zonundan yüksek debili sıcak su çıkışına olanak sağlamaktadır. Bu durum aynı zamanda sondaj loglarında kısmı kaçak şeklinde ifade edilmiştir ve gelişen alterasyon mineralleri de pirit, kuvarsit ve kalsit dolguları şeklinde belirtilmiştir.

4.5.2.2. Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu

Çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, konglomera ve kireçtaşlarından oluşan formasyon kırıklı kumtaşı ve kötü boylanmalı Çakıltaşı içeriğinden dolayı yeraltı suyu içerebileceği düşünülebilir. Kiltaşları ise geçirimsizdir. Ayrıca içerisinde bulunan kireçtaşındaki değişken kil miktarı da toplam yeraltı suyu miktarını etkileyeceği için bu formasyonun verebileceği su miktarının da çok olması beklenmemelidir.

4.5.2.3. Pliyosen yaşlı Cumaovası Volkanikleri

Andezit, aglomera, tüf, riyolit üyelerinin oluşturduğu bu birim, kırık ve çatlaklı bir yapı sunduğu için yağışlara bağlı olarak su içermesi beklenebilir.

4.5.2.4. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve alüvyon yelpazesi

Balçova ilçesinde yerleşimin yoğun olduğu kesim alüvyondur ve bu birim denize kadar değişik kalınlıklarda uzanmaktadır. Daha çok Teleferik eteklerinde yani Agamemnon-I fayına yakın alanlarda gözlenen yamaç molozunda ise çakıllar ve filişten türemiş okside elemanlar bulunmaktadır. Ayrıca yamaç molozu ve alüvyonda açılan sığ kuyulardan gerek sıcak su gerekse soğuk su elde edilebilmektedir.

4.5.3. Hidrojeokimya

4.5.3.1. Jeotermal Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Jeotermal akışkanlarda çözünmüş halde bulunan organik ve inorganik madde miktarı yüksektir. Sıcak suyun kimyası, içinde dolaştığı jeotermal sisteme yönelik oldukça fazla veri içermektedir ve bu veriler jeotermal sistemin sıcaklığı, beslenme ve boşalım bölgeleri, soğuk sular ve diğer sularla karşılaştırılmaları bakımından oldukça yararlıdır.

Çözünmüş madde miktarı yüksek olan jeotermal suların bileşimlerinde yer alan anyonlara göre yapılan (Cl^-, SO_4^-, HCO_3^-) sınıflama 3 ana başlık altında aşağıda verilmektedir (Simmons, 2002).

4.5.3.2. Klorürlü Sular

Jeotermal araştırmalarda en çok hedeflenen ve çok sayıda jeotermal rezervuardaki baskın ve elektrik enerjisi üretimi için buharından faydalanılan, duru mavi renkte bir sıcak su türüdür. Özellikle doğrudan doğruya rezervuardan yükselerek boşalım

gösteren gayzer ya da sıcak su kaynaklarından elde edilen klorürlü sular rezervuar ortamını doğruya en yakın bir şekilde yorumlayabilme açısından en sağlıklı verilere sahiptir. Klorürlü suların kimyasal bileşimini suyun orijini, magmatik uçucuların varlığı, akışkan-mineral dengesi ve kaynama-seyrelme olaylarını etkiler. Klorürlü suların ana anyonu olan Cl- içeriği ağırlıkça %0.1-1.0 wt arasında değişmektedir. Diğer önemli bileşenleri Na^{+}, K^{+}, Ca^{+2} ve Mg^{+2} katyonlarıdır. Ayrıca SiO_2'ce de zengindirler. SO_4^{-2}, HCO^{-3} diğer minör bileşenleridir. Sulu sülfür H_2S veya HS^{-} atmosferik ortama bağlı olarak değişken miktarlarda bulunmaktadır ve Cl/SO_4 oranı, sıcak su kaynaklarında bulunan birkaç yüz ppm'lik sülfat içeriğinden dolayı, oldukça yüksektir. Karakteristik olarak nötre yakın bir pH'a sahiptirler, ancak yüzeye yaklaştıkça buharlaşma ve CO_2 kaybının etkisi ile hafifçe asidik ve alkalin olabilirler. Oksidasyon-redüksiyon gibi bir dizi reaksiyona uğrarlar. Su amorf silikaca doygun olduğu için, boşalım gösteren sıcak su kaynaklarının etrafında silika halkaları (sinterleri) şeklinde çökelim oluşturabilir. Diğer sıcak su türlerini oluşturan asit-sülfatlı sular ve bikarbonatlı sular, yükselim (upflow) zonlarından yükselen klorürlü sular ile karışabilirler.

4.5.3.3. Asit-sülfatlı Sular:

Volkanik jeotermal sahalarda buharın yüzey sularına yoğuşması sonucu oluşur. Klor içeriği bakımından daha fakirdir. Sülfat içeriği oldukça değişkendir ve jeotermal sahalarda H_2S'in yeraltı su tablasının hemen altındaki vadoz zonunda oksidasyonu sonucu açığa çıkmaktadır.

$$H_2S + 2O_2 = H_2SO_4$$

reaksiyonu sonucu, açığa çıkan sülfürik asit bulunduğu jeotermal saha açısından koroziv bir tehlikeyi de işaret etmektedir.

4.5.3.4. Bikarbonatlı Sular:

Ana anyonu oluşturan CO_3-'ün yanında düşük miktarda da Cl- içeren, CO_2'ce zengin, nötr sulardır. Volkanik kayaçların egemen olduğu bir sistemde, CO_2 gazının soğurulduğu ve buharın soğuk yeraltı sularında yoğunlaştığı marjinlerde ve sığ

yeraltı bölgelerinde oluşurlar. Kalsitin ($CaCO_3$) pek çözülmediği ve Mg ile K'un killerde bağlı olmasından dolayı, Na^+ genellikle ana katyondur. Asit-sülfatlı suların aksine, bikarbonatlı sular, yeraltı su tablasının hemen altında hafifçe asidik oldukları bir ortamda oluşurlar. Bazı jeotermal sistemlerde, karbonatlı kayaçların varlığı da bu tür suların oluşumunda etkindir.

4.5.3.5. Çalışma alanından alınan örneklerin fiziksel özellikleri

Hidrojen iyonu aktivitesi (pH): Balçova jeotermal sahasından alınan örneklerin pH, sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), redoks potansiyeli (Eh), çözünmüş oksijen miktarı (O_2) analizleri yerinde yapılan ölçümler ile elde edilen değerlere göre irdelenmektedir (Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.).

Çalışmanın yapıldığı alandaki sıcak su ve soğuk su örneklerinin hidrojen iyonunun aktivitesini gösteren pH değerleri minimum 6.67 ve maksimum 8.68 olarak ölçülmüştür. Yağışlı mevsim sonundaki pH değerleri kurak mevsim sonundaki pH değerlerine göre daha yüksek seyretmektedir (Şekil 2.30.).

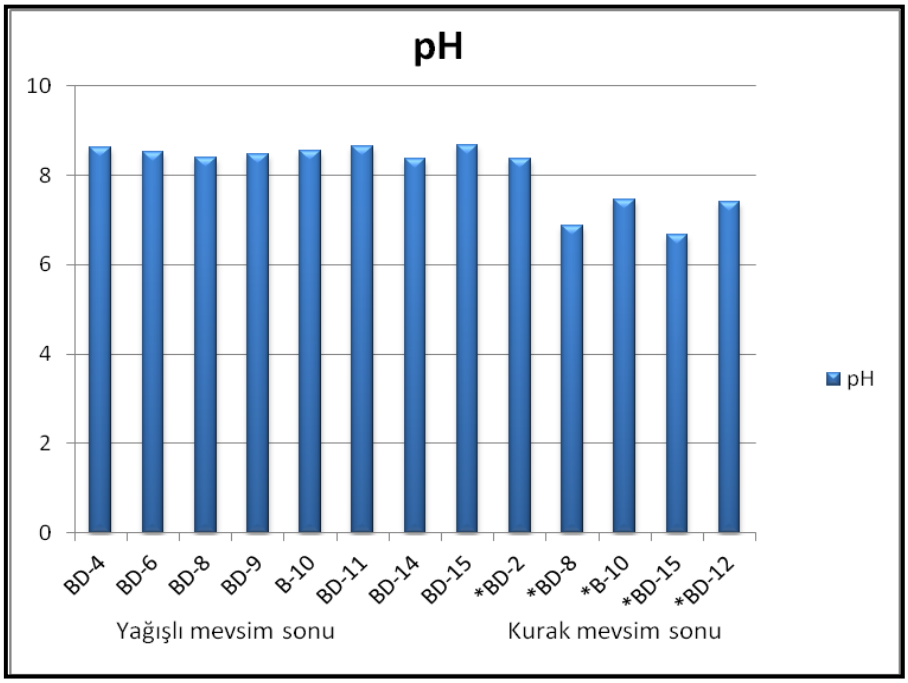
Yağışlı mevsim sonu pH değerleri sırasıyla 8.38 ve 8.55 olarak ölçülen BD-8 ve B-10 kodlu sıcak su kuyularına ait kurak mevsim sonu pH değerleri sırasıyla 6.86 ve 6.67 olarak ölçülmüştür. Diğer bir deyişle yağışlı mevsim sonunda alkalin özellik taşıyan sıcak sular, kurak mevsim sonunda hafif asidik karakter sunmaktadır. Bölgeye düşen yağışların yeraltına süzülmesi sırasında kat ettikleri litolojik birimlerde bulunan karbonatlı seviyeler ile reaksiyonu girmeleri sonucu pH seviyesi etkilenmektedir.

Sıcaklık (T): Yerinde analiz yapılan örneklerden sıcak sulara ait olan en yüksek sıcaklık üretimde kullanılan sıcak su kuyularında 140^0C ile 716 m derinliğe sahip BD-11 kodlu kuyuda, en düşük sı caklık ise 97.7^0C ile 125 m derinlikteki B-10 kodlu sıcak su kuyusundan alınan örnekte ölçülmüştür (Şekil 4.31.). BD-12 kodlu kuyunun bulunduğu noktada soğuk su ihtiyacını karşılamak amacı ile açılmış olan soğuk su

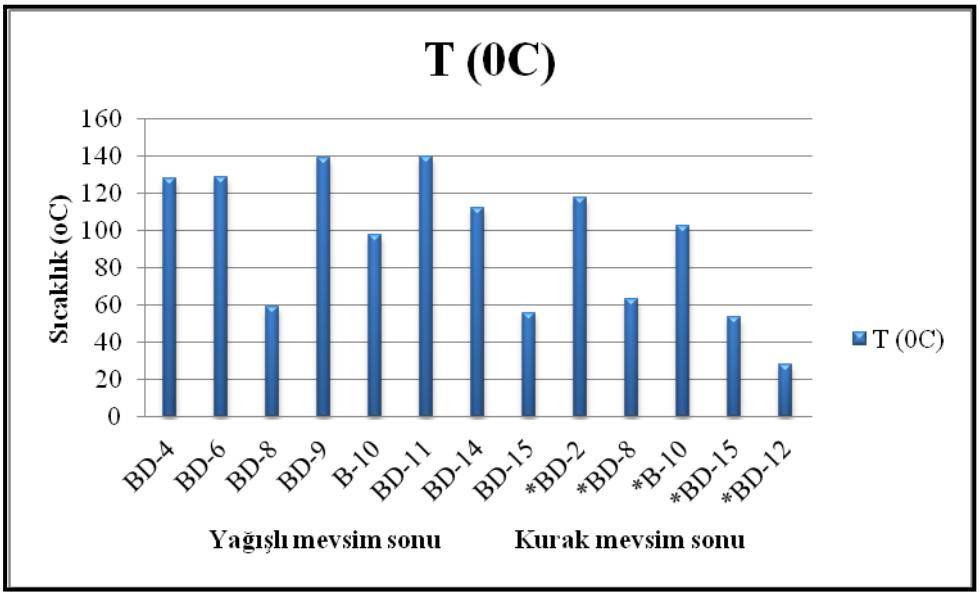
Şekil 4.28. BD-15 kodlu sıcak su kuyusunda yapılan yerinde ölçümler

Şekil 4.29. B-10 kodlu sıcak su kuyularında yapılan yerinde ölçümler

kuyusuna ait (BD-12-SS) örnek ise 28^0C sıcaklığa sahiptir. Kullanım amacı itibarı ile bu sıcaklığın diğer örneklerden daha düşük olması doğaldır.

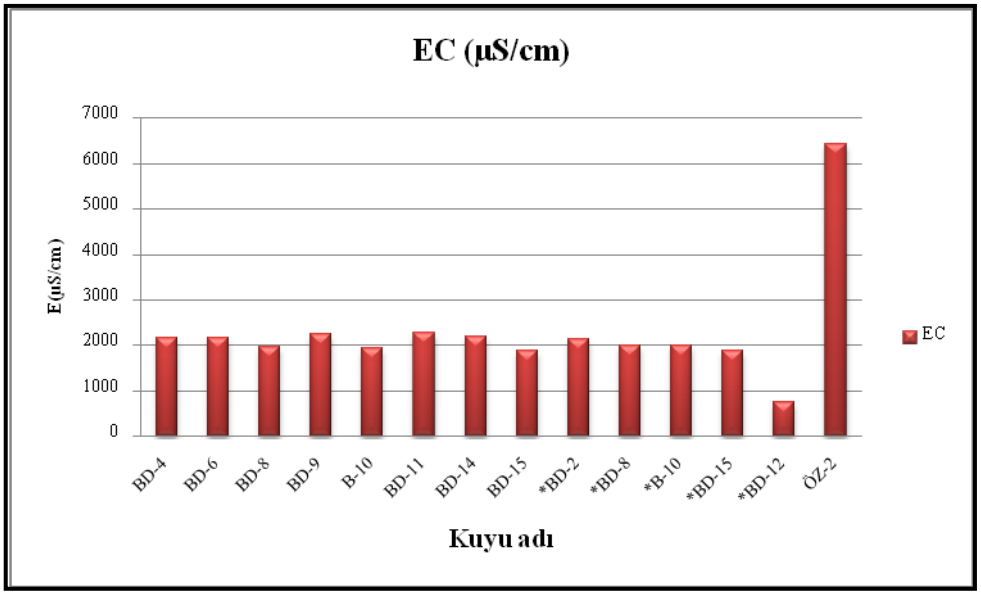


Şekil 2.30. Örneklere ait pH değişimini gösteren diyagram



Şekil 4.31. Örneklere ait sıcaklık (T) değişimini gösteren diyagram

Elektriksel iletkenlik (EC): Suyun elektrik akımını iletebilme özelliğini ifade eden elektriksel iletkenlik, EC, suyun iyon derişimi ve sıcaklık arttıkça artış gösterir (Mazor, 1991). Balçova Jeotermal Sisteminden bu çalışma kapsamında alınan örneklerde de BD-11 kodlu kuyuya ait 2270 µS/cm en yüksek, B-10 kodlu kuyu 1944 µS/cm ile en düşük elektriksel iletkenlik değerini vermektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Örneklere ait EC değişimini gösteren diyagram

Sıcaklık ile doğrusal bir ilişki sunan elektriksel iletkenlik, bunun doğal bir sonucu olarak çalışma alanından alınan soğuk su noktasındaki örnekte (BD-12-SS) 755 µS/cm olarak tesbit edilmiştir.

4.5.3.5. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Piper Diyagramına göre değerlendirilmesi

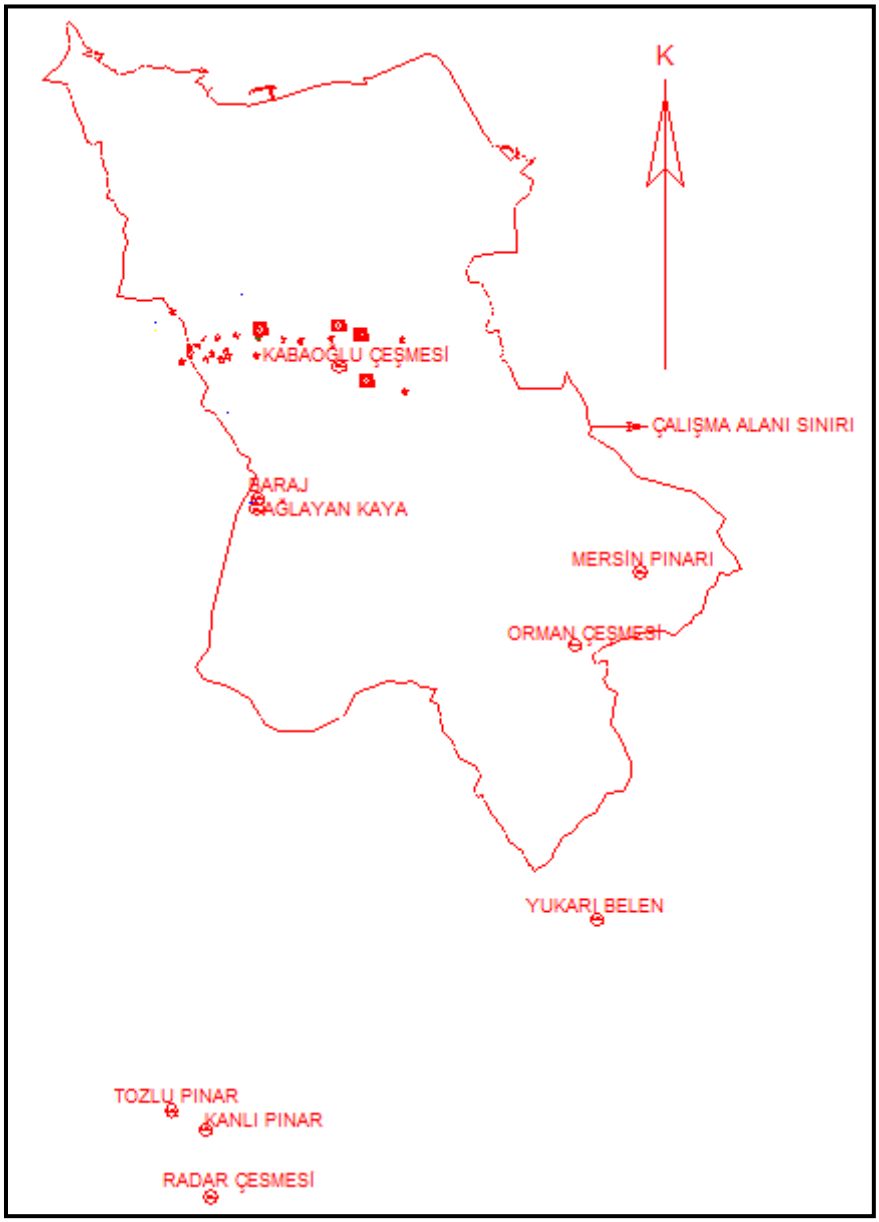
Bu proje kapsamında jeotermal alanın hidrojeokimyasal özelliklerini yansıtacak şekilde örnek alınmıştır. İlk beş örnek Agamemnon–1 Fayı'na koşut olacak şekilde 10.10.2009 tarihinde, ikinci grupta alınan 8 örnek de jeotermal saha içerisinde mevsim itibarı ile sistem dahilindeki en verimli sıcak su kuyularından 19.02.2011 tarihinde alınmıştır. Ayrıca İzmir Jeotermal A.Ş.'den elde edilmiş olan 7 sıcak su

kuyusuna ait 2009 yılı Aralık ayında yapılmış olan kaynak başı analizleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nce 05.05.2005 ve 06.05.2005 tarihlerinde yapılmış olan su kimyası analizleri de grafikler yardımı ile irdelenmiştir. Çalışma alanı içerisinde alınan örneklerin Aquachem 3.70 (Calmbach, 1998) ve Solmineq.88 (Kharaka vd., 1988) bilgisayar programları kullanılarak elde edilmiş diyagramları aşağıda sunulmaktadır. Örnek alınan noktalara ait in-situ analizler ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları, çalışma alanında daha önceden yapılmış olan analizler ile bileştirilerek oluşturulan çizelge Ek-3 ve Ek-4'de verilmektedir.

Çalışma alanındaki yer altı ve yüzey sularının tiplerinin belirlenmesi için Piper diyagramından faydalanılmıştır. Piper diyagramında Ca^{+2}, Na^{+}, Mg^{+2}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4 bileşenleri dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonucu çalışma alanında 9 ayrı tip su belirlenmiştir.

Çalışma alanı civarında daha önceden alınmış olan Tozlu Pınar, Kanlı Pınar, Radar Yolu ve Yukarı Belen kodlu soğuk su örneklerinin yerleri sırası ile çalışma alanı sınırlarının 2500 m., 2741 m., 3375 m. ve 1000 m. güneyinde yer aldıklarından bu noktalar ekler bölümündeki örneklerin gösterildiği haritaya konulmamış olup, bu noktaları gösterir şekil aşağıda verilmektedir (Şekil 4.33.).

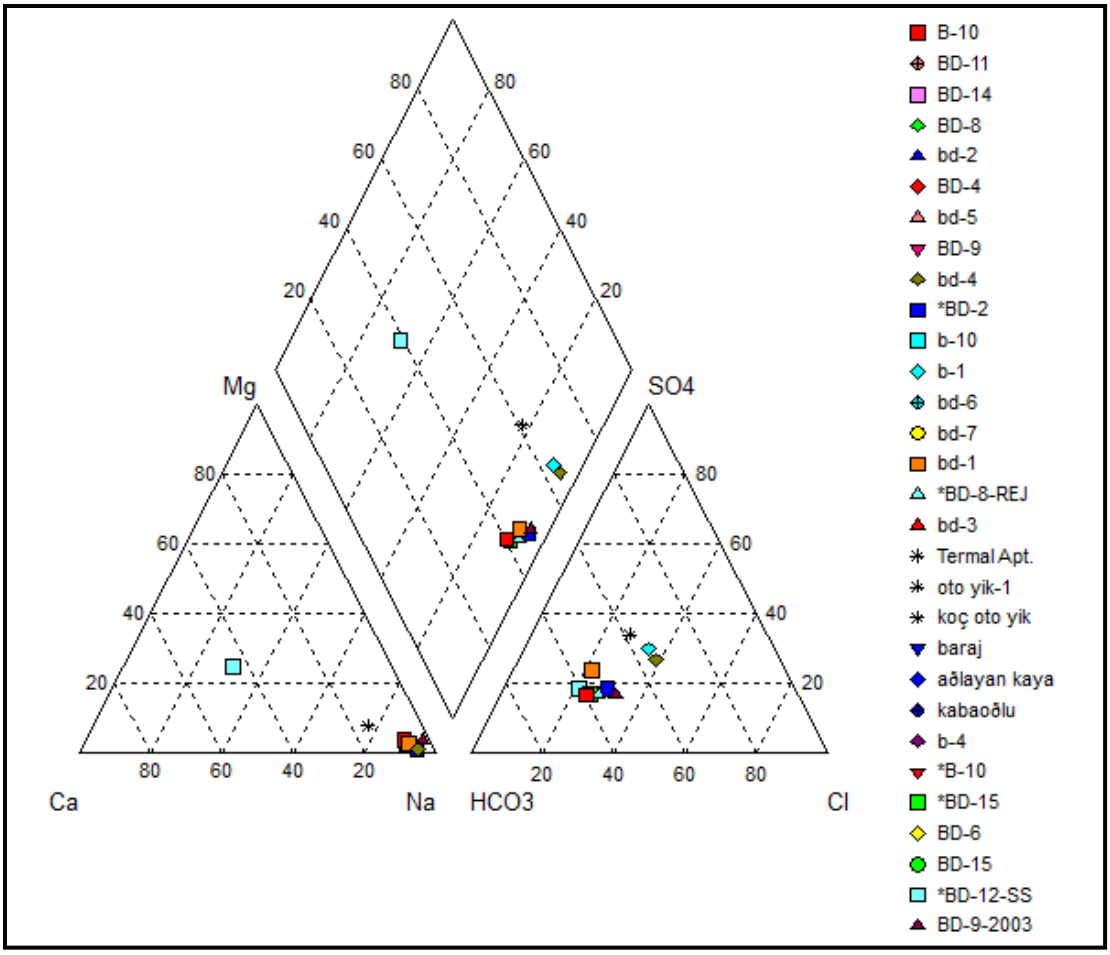
Hidrojeokimyasal analiz sonuçlarının Piper Diyagramına göre (Şekil 4.34.) belirlenen su tipleri Çizelge 4.11.'de verilmektedir.



Şekil 4.33. Çalışma alanı dışından alınan soğuk su örnek yerlerinin şematik görünümü

Piper diyagramına göre çalışma alanında baskın olan su tipi Na-Cl-HCO_3, sodyum klorürlü bikarbonatlı su tipidir (Şekil 4.34.). Bu çalışma kapsamında alınan tek soğuk su örneği olan BD-12-SS kodlu kuyuya ait hidrojeokimyasal analiz sonucu Piper Diyagramında sıcak su örneklerinden farklı bir alanda bulunmaktadır, zira Ca-Na-Mg-HCO_3 tipinde bir su olup, alkali toprak elementler toplamı (Ca+Mg) alkali elementler (Na+K) toplamından fazladır. Bu soğuk sular için olağan bir durumdur.

Tüm diğer su örneklerinde alkali elementler toplamı (Na+K), alkali toprak elementler toplamından (Ca+Mg) büyüktür.



Şekil 4.34. Çalışma alanından alınan soğuk ve sıcak su örneklerine ait Piper Diyagramı

Çalışma alanından alınan soğuk ve sıcak su örneklerinin tamamında zayıf asit kökleri toplamı (CO_3^{2-}+HCO_3^-), güçlü asit kökleri toplamından (Cl^-+SO_4^{2-}) büyüktür.
Piper diyagramı yardımı ile belirlenen su tipleri Çizelge 4.12.'de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Çalışma alanından alınan örneklerin Piper Diyagramına göre belirlenen su tipleri

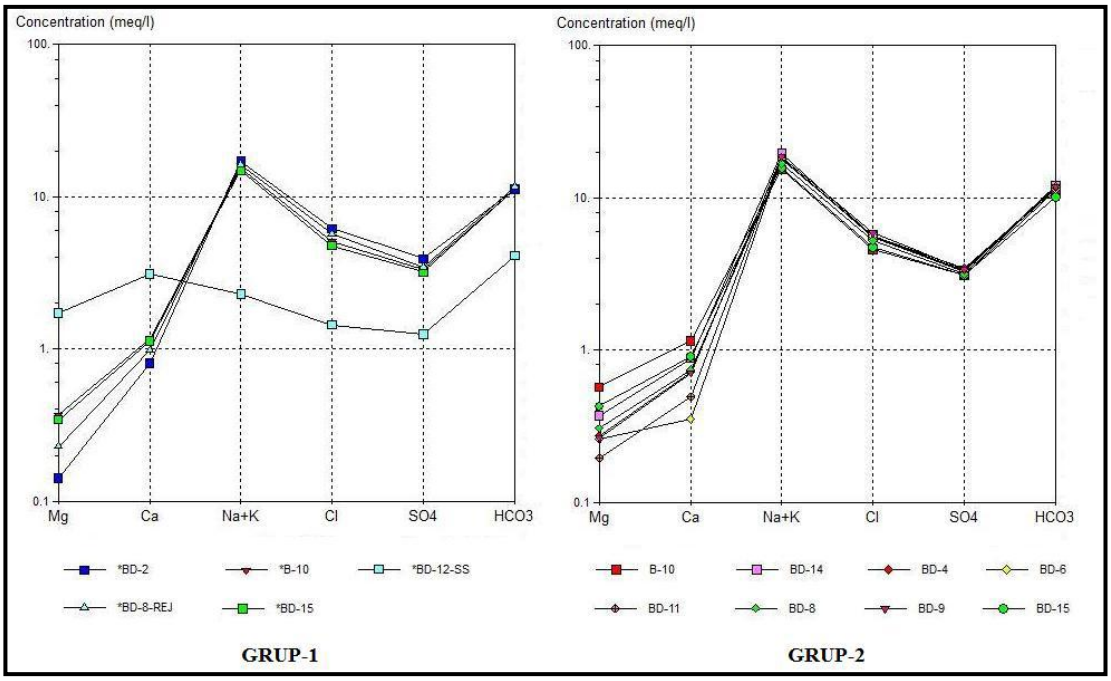
Örnek Adı	Alındığı tarih	Üretim Şekli	Su tipi	Referans
B-10	10.10.2009	Re-enj	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-12	10.10.2009	Soğuk su	Ca-Na-Mg-HCO_3	Bu çalışma
BD-15	10.10.2009	Re-enj	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-2	10.10.2009	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-8	10.10.2009	Re-enj	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-11	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-14	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-15	19.02.2011	Re-enj	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-4	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-6	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-8	19.02.2011	Re-enj	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
BD-9	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
B-10	19.02.2011	Üretim	Na-HCO_3-Cl	Bu çalışma
B-1	05.05.2005	Üretim	Na-HCO_3-Cl-SO_4	MTA,2005
B-10	05.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-2	05.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-4	05.05.2005	Üretim	Na-Cl-HCO_3-SO_4	MTA,2005
BD-5	05.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
B-4	06.05.2005	Üretim	Mg-HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-1	06.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-3	06.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-6	06.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl	MTA,2005
BD-7	06.05.2005	Üretim	HCO_3-Cl-CO_3	MTA,2005
Ağlayan Kaya	06.05.2005	---	Mg-Ca-HCO_3-CO_3	MTA,2005
Baraj	06.05.2005	---	Ca-Mg-HCO_3	MTA,2005
Kabaoğlu Çeşmesi	06.05.2005	---	Cl-HCO_3	MTA,2005
Koç Oto Yık	06.05.2005	---	Ca-HCO_3-Cl	MTA,2005
Oto Yık-1	06.05.2005	---	Ca-HCO_3-Cl	MTA,2005

Çizelge 4.12. (devam)

Örnek Adı	Alındığı tarih	Üretim Şekli	Su tipi	Referans
Termal Apt	06.05.2005	---	HCO_3-Cl	MTA,2005
ÖZ-2	15.07.2010	---	Na-Cl	Yıldırım,2011

4.5.3.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Scholler Diyagramına göre değerlendirilmesi

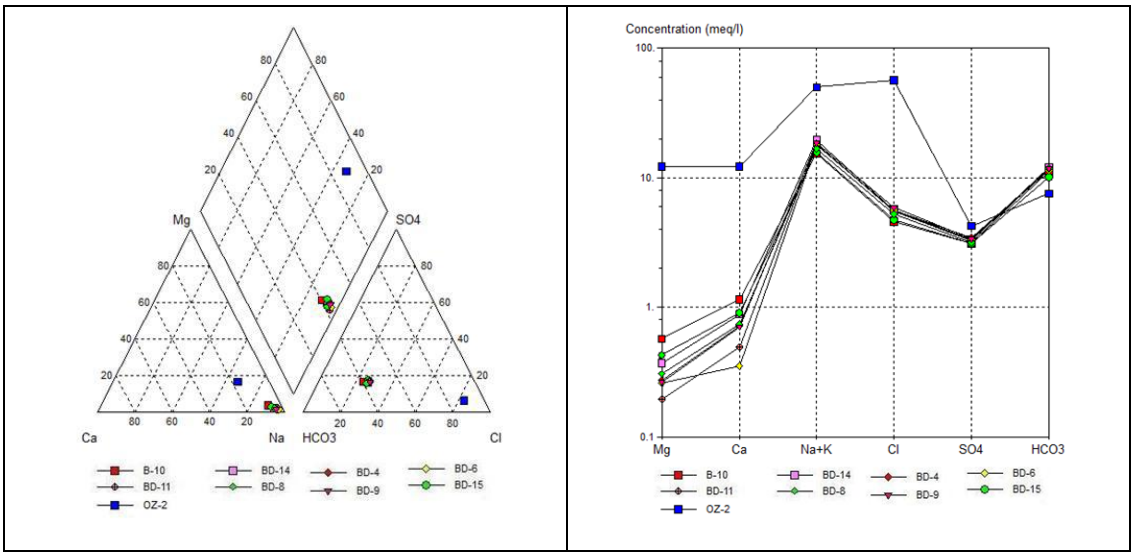
Suların klorür, sülfat ile karbonat miktarlarına, iyon baz değişimlerine ve anyon-katyon derişim ilişkilerine göre sınıflandırıldığı Schoeller diyagramı yardımı ile çalışma alanından alınan su örneklerini yorumlayacak olur isek, klorür derişimi açısından olağan klorürlü sular (Cl<15 meq/l), sülfat derişimi açısından olağan sülfatlı sular (SO_4^{2}<6 meq/l), karbonat+bikarbonat derişimi açısından hiperkarbonatlı sular (HCO_3^{-}+CO_3^{2-}>7 meq/l) olarak sınıflayabiliriz. Soğuk su örneğini temsil eden BD-12-ss kodlu örnek ise, diğer örneklerden farklı olarak karbonat+bikarbonat derişimi açısından olağan karbonatlı sulardandır (Şekil 4.35.). Özdilek gradyan kuyusundan alınan su örneği ise klorür derişimi olarak 2020 mg/l ile (56.98 meq/l) en yüksek değeri vermektedir ve orta klorürlü sular sınıfına girmektedir.



Şekil 4.35. Çalışma alanından alınan örneklere ait Schoeller Diyagramı

ÖZ-2 kodlu örnek kimyasal bileşimi ve elektriksel iletkenlik açısından, ilgili ruhsatın arama faaliyet raporunda denizsuyu bileşimine yakın olarak yorumlanmıştır (Yıldırım, 2011).

Çalışma alanından yağışlı mevsim sonunda alınan örneklerle ÖZ-2 gradyan kuyusundan alınan örneğin karşılaştırıldığı Piper ve Schoeller diyagramları aşağıda sunulmaktadır. ÖZ-2'ye ait Aquachem 3.70 (Calmbach, 1998) bilgisayar programı kullanılarak elde edilen karşılaştırmalı diyagramlar ve çizelgeden de anlaşılacağı gibi; ÖZ-2 kodlu sıcak su örneği, yüksek eletriksel iletkenliği (6340 µs/cm), yüksek klorür içeriği ile denizsuyu bileşimine oldukça yakın bir içeriğe sahiptir (Şekil 4.36. ve Çizelge 4.13.).



Şekil 4.36. Karşılaştırmalı Piper ve Schoeller diyagramları

Çizelge 4.13. ÖZ-2 örneğinin deniz suyu ile karşılaştırılması

Oranlar (ÖZ-2)			**Deniz suyu ile karşılaştırılması**	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1.661	1.007	0.319	0.194
Ca/SO_4	1.203	2.884	1.152	0.364
Na/Cl	0.564	0.87	0.556	0.858
Cl/Br	281.22	633.813	287.5	648.1

Özellikle yüksek Na/Cl oranı denizsuyu girişiminin olduğu jeotermal alanlar için tipik bir özellik olarak kabul edilmektedir. Bu durum, örnek alınan noktanın çalışma alanının en kuzey noktasında olduğu ve bu noktaya ait sondaj loğunda 60 m alüvyon birimi geçildikten sonra, 350 m'ye kadar ayrışmış metakumtaşı ve metasilttaşı geçildiği göz önünde bulundurulur ise, deniz suyunun bu sondaj noktasından elde edilen akışkana girişim yaptığı düşünülebilir.

Çalışma alanından alınan sıcak su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına göre; Mg^{+2} değerlerinin düşük olması, bu alan için alterasyon mineralleri olarak gözlenen illit, montmorillonit ve klorit grubu minerallerinden (klinoklor) $(Mg,Fe^{+2})2Al_4Si_2O_{10}(OH)_4$ mineralinin yapısına katılmış olması ihtimalinden kaynaklanabilir. Zira, Mg^{+2}'nin çözünürlüğü sıcaklık ile ters orantılıdır, bu yüzden çalışma alanından alınan örneklerden soğuk su (sıcaklığı düşük olan) örneklerine ait olan analizlerde daha yüksektir. Mg^{+2} doğal sularda dolomit kaynaklıdır. Mg^{+2} yüksek ise, Mg^{+2} ca zengin yeraltı suları karışımını ya da etkileşimde olduğu kayaçlardan akışkan-kayaç ilişkisi sonucu yıkanarak zenginleşmiş olabilir. Ayrıca çalışma alanında yer yer bulunan serpantinitlerin gözlendiği yerlerde alterasyon minerali olarak dolomit bulunmaktadır.

Na^+ ve K^+ katyonu açısından Na/K sıcaklıkla kontrol edilen bir orandır ve bu oranın yüksek oluşu sistemde soğumaya işaret edebilir. Her ne kadar her iki iyon da volkanik kayaçların ayrışması sonucu ortamda bulunsa da, Na^{+2} genellikle K^+'dan daha fazladır. Potasyumun çökelebileceği ortamlar, sodyumdan daha fazladır (Hounslow, 1995). Örneğin karbonat ayrışması söz konusu ise ve akifer kumtaşı ise, bu karbonat dolgunun ayrıştığını göstermektedir. Düşük çözünürlüğünden dolayı kuvarsın su kompozisyonuna etkisi oldukça az olacaktır (Hounslow, 1995). Burada da Na^+, K^+'dan daha fazladır, karbonatlı kayaçların ve karbonat dolguların ayrışmasından kaynaklanmaktadır.

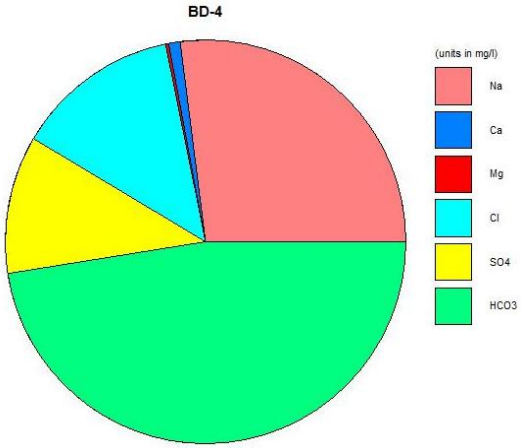
Ca^{+2} doğal sulardaki varlığı suların etkileşimde olduğu karbonatlı minerallerden kaynaklanabilir. Bu kaynaklar kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit ile halit grubu minerallerinden olan florittir. Ayrıca yapısında bulunduğu plajioklaslar, piroksenler

ve amfiboller de Ca^{+2} kaynağı olarak davranabilirler. Ayrıca silikat grubu minerallerinden montmorillonit ve prehnit ile jipsin de yapısında bulunmaktadır.

4.5.3.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Pie Diyagramlarına göre değerlendirilmesi

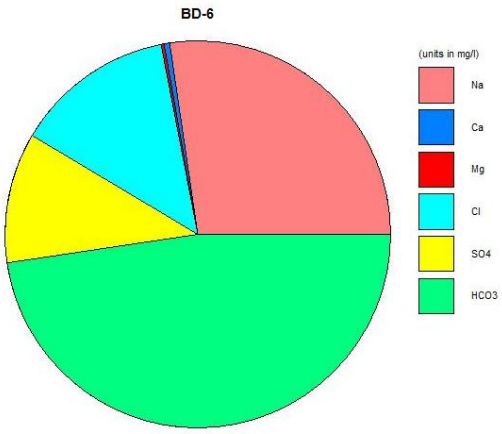
Bu çalışma kapsamında örnek alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait Pie Diyagramlarını içeren su kimyası bilgi formları aşağıda bulunmaktadır.
Formlarda yer alan pie diyagramları incelendiğinde hidrojeokimyasal analizler sonucu belirlenen iyonlardan HCO_3 anyonunun ve Na katyonunun baskın durumda olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. BD-4 Su kimyası bilgi formu

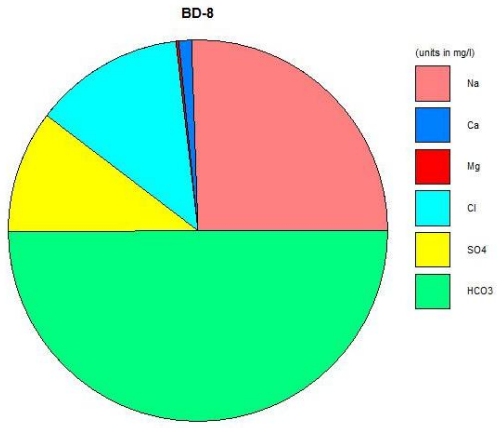
BD-4 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503083**	**Y:4249220**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**128**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.63**	**δD (‰)**	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2160**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**145**			
Sertlik (Fr)		**4.94**			
SAR	**%**	**24.87**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /1**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.17**	**2.17**	**SO_4^{2-}**	**166**	**3.456**
Na^{+}	**401.80**	**17.48**	**Cl^{-}**	**198.4**	**5.594**
K^{+}	**30.08**	**0.77**	**HCO_3^{2-}**	**707.6**	**11.598**
Mg^{++}	**3.33**	**0.27**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**14.31**	**0.71**	**NO_3^{-}**	**2.56**	**0.041**
Sr^{++}	**0.37**	**0.0084**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	
Mn^{2+}	**<0.01**	**0.00036**	**F^{-}**	**8.17**	**0.43**
Fe^{2+}	**<0.01**	**0.00036**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**0.00031**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**2.17**			
Si^{4+}	**63.19**	**2.17**			
As^{5+}	**0.17**	**0.00994**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: : Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					

Çizelge 4.15. BD-6 Su kimyası bilgi formu

BD-6 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503256**	**Y:4249244**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**129**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.52**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2180**	**^{3}H (‰)***	**--**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**248**			
Sertlik	**(Fr)**	**3.06**			
SAR	**%**	**31.30**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /1**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.23**	**2.23**	**SO_4^{2-}**	**159.98**	**3.33**
Na^{+}	**398.40**	**17.33**	**Cl^{-}**	**197.68**	**5.58**
K^{+}	**30.22**	**0.77**	**HCO_3^{2-}**	**695.4**	**11.398**
Mg^{++}	**3.15**	**0.56**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**7.09**	**0.35**	**NO_3^{-}**	**0.96**	**0.015**
Sr^{++}	**0.18**	**0.0041**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**0**	**F^{-}**	**7.37**	**0.39**
Fe^{2+}	**<0.01**	**0.0003**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**0.0003**			
Si^{4+}	**61.39**	**3.59**			
As^{5+}	**0.17**	**0.009**			
Su tipi Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



Çizelge 4.16. BD-8 Su kimyası bilgi formu

BD-8 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503896**	**Y:4249224**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**59**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.38**	**δD (‰)**	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**1972**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**119**			
Sertlik	**Fr**	**5.22**			
SAR	**%**	**22.17**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**1.97**	**1.97**	**SO_4^{2-}**	**166**	**3.164**
Na^{+}	**368.2**	**16.02**	**Cl^{-}**	**198.4**	**5.23**
K^{+}	**28.48**	**0.73**	**HCO_3^{2-}**	**707.6**	**11.79**
Mg^{++}	**3.71**	**0.31**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**14.8**	**0.74**	**NO_3^{-}**	**2.56**	**0.025**
Sr^{++}	**0.4**	**0.009**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**0.00036**	**F^{-}**	**7.42**	**0.39**
Fe^{2+}	**<0.01**	**0.00036**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**61.47**	**3.59**			
As^{5+}	**0.14**	**0.008**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					

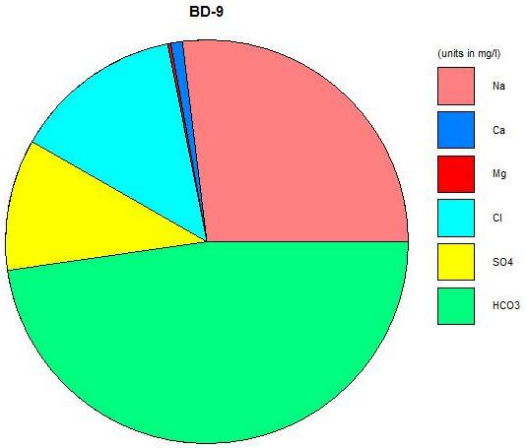
Çizelge 4.17. BD-9 Su kimyası bilgi formu

BD-9 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU

Koordinatlar			**X:35504260**	**Y:4249214**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**139**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.47**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2240**	**^{3}H (‰)***	**----**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**204**			
Sertlik	**Fr**	**4.87**			
SAR	**%**	**25.55**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.30**	**2.30**	**SO_4^{2-}**	**162.95**	**3.39**
Na^{+}	**409.80**	**17.83**	**Cl^{-}**	**208.02**	**5.87**
K^{+}	**30.89**	**0.79**	**HCO_3^{2-}**	**725.9**	**11.89**
Mg^{++}	**3.22**	**0.26**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**14.20**	**0.708**	**NO_3^{-}**	**<0.10**	**<0.0016**
Sr^{++}	**0.42**	**0.0096**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**	**F^{-}**	**7.17**	**0.377**
Fe^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**70.90**	**4.14**			
As^{5+}	**0.18**	**0.010**			

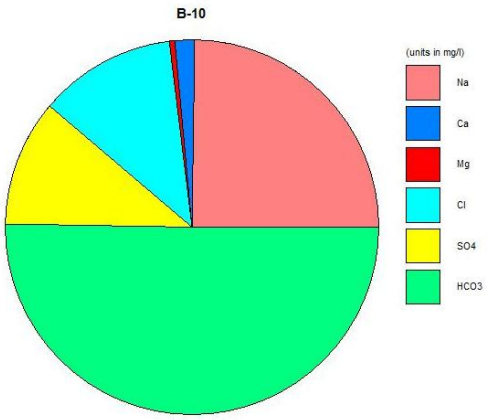
Su tipi: Na- Cl-HCO_3

Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}



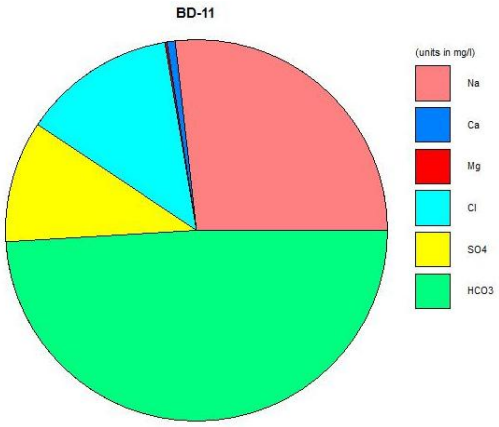
Çizelge 4.18. B-10 Su kimyası bilgi formu

B-10 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503083**	**Y:4249220**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**97.7**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.55**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**1944**	**^{3}H (‰)***		
Redoks potansiyeli	**mV**	**183**			
Sertlik	**Fr**	**8.59**			
SAR	**%**	**15.81**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /1**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**1.84**	**1.84**	**SO_4^{2-}**	**149.74**	**3.12**
Na^{+}	**337.00**	**14.66**	**Cl^{-}**	**198.4**	**4.59**
K^{+}	**27.08**	**0.69**	**HCO_3^{2-}**	**685.4**	**11.24**
Mg^{++}	**6.93**	**0.57**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**23.01**	**1.15**	**NO_3^{-}**	**0.88**	**0.012**
Sr^{++}	**0.42**	**0.0096**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**0.00036**	**F^{-}**	**6.58**	**0.35**
Fe^{2+}	**<0.01**	**0.00036**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**0.0003**			
Si^{4+}	**52.41**	**3.06**			
As^{5+}	**0.12**	**0.0016**			
Su tipi Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



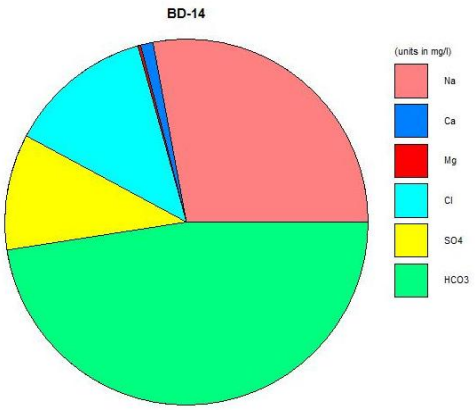
Çizelge 4.19. BD-11 Su kimyası bilgi formu

BD-11 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35504545**	**Y:4249265**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**140**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.64**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2270**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**140.0**			
Sertlik	**Fr**	**3.43**			
SAR	**%**	**29.95**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.34**	**2.34**	**SO_4^{2-}**	**156.43**	**3.26**
Na^{+}	**402.90**	**17.53**	**Cl^{-}**	**196.70**	**5.55**
K^{+}	**32.13**	**0.82**	**HCO_3^{2-}**	**738.1**	**12.09**
Mg^{++}	**2.37**	**0.19**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**9.82**	**0.49**	**NO_3^{-}**	**1.22**	**0.019**
Sr^{++}	**0.33**	**0.0075**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**	**F^{-}**	**7.83**	**0.42**
Fe^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**74.56**	**4.36**			
As^{5+}	**0.19**	**0.011**			
İyon Dengesi : -4,5					
Su tipi Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



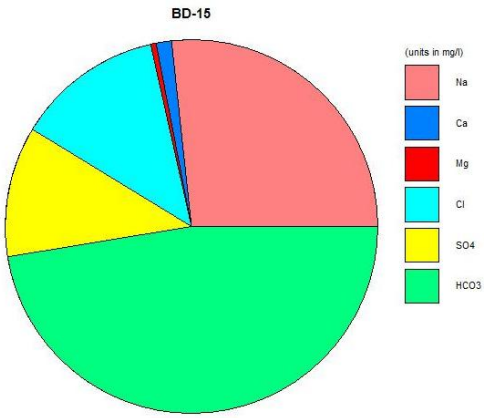
Çizelge 4.20. BD-14 Su kimyası bilgi formu

BD-14 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35275725**	**Y:4169760**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**112**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.36**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2200**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**186**			
Sertlik	**Fr**	**6.26**			
SAR	**%**	**23.79**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /1**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.52**	**2.52**	**SO_4^{2-}**	**160.32**	**3.34**
Na^{+}	**432.70**	**18.82**	**Cl^{-}**	**200.39**	**5.65**
K^{+}	**35.31**	**0.90**	**HCO_3^{2-}**	**738.1**	**12.098**
Mg^{++}	**4.39**	**0.37**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**17.68**	**0.88**	**NO_3^{-}**	**3.44**	**0.055**
Sr^{++}	**0.52**	**0.012**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**	**F^{-}**	**8.43**	**0.44**
Fe^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**60.97**	**3.56**			
As^{5+}	**0.18**	**0.0024**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Ca^{2+}+Mg^{2+}< Na^{+}+ K^{+} ve CO_3^{2-}+HCO_3^{-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



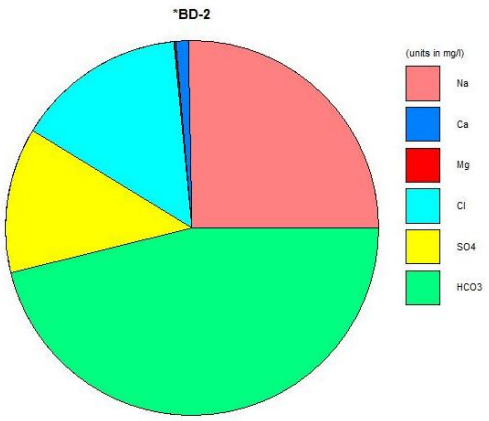
Çizelge 4.21. BD-15 Su kimyası bilgi formu

BD-15 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35502826**	**Y:4249129**	
Örnek Alım Tarihi			**19.02.2011**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**56**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**8.68**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**1877**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**75**			
Sertlik	**Fr**	**6.70**			
SAR	**%**	**18.41**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**1.86**	**1.86**	**SO_4^{2-}**	**148.23**	**3.08**
Na^{+}	**346.40**	**15.07**	**Cl^{-}**	**167.96**	**4.74**
K^{+}	**27.22**	**0.69**	**HCO_3^{2-}**	**616.1**	**10.98**
Mg^{2+}	**5.21**	**0.43**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{2+}	**18.26**	**0.91**	**NO_3^{-}**	**2.20**	**0.035**
Sr^{2+}	**0.42**	**0.0095**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	**<0.003**
Mn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**	**F^{-}**	**6.92**	**0.36**
Fe^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Cu^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**54.46**	**3.18**			
As^{5+}	**0.10**	**0.0006**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{2+}+ Mg^{2+} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



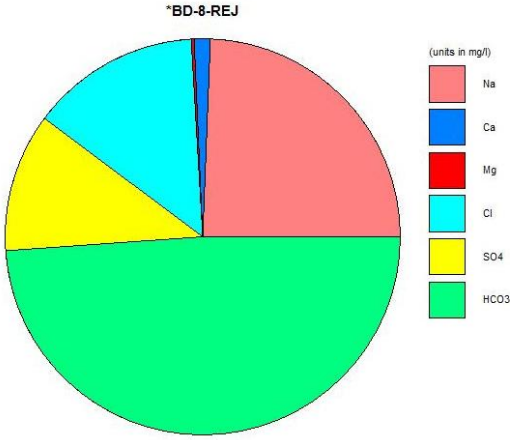
Çizelge 4.22. BD-2 Su kimyası bilgi formu

*BD-2 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35502859**	**Y:4259283**	
Örnek Alım Tarihi			**10.10.2009**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**128**	**δO (‰)***	**-5.29**	
pH		**8.63**	**δD (‰)***	**-33.3**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2160**	**δH (‰)***	**<1.0**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**145**			
Sertlik	**Fr**	**4.74**			
SAR	**%**	**23.66**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**1.78**	**1.78**	**SO_4^{2-}**	**166**	**3.92**
Na^{+}	**374.60**	**16.29**	**Cl^{-}**	**198.4**	**6.18**
K^{+}	**37.17**	**0.95**	**HCO_3^{2-}**	**707.6**	**11.198**
Mg^{++}	**1.72**	**0.14**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**16.17**	**0.80**	**NO_3^{-}**	**2.56**	**0.191**
Sr^{++}	**0.48**	**0.010**	**PO_4^{3-}**	**<0.20**	
Mn^{2+}	**0.03**	**0.0010**	**F^{-}**	**10.27**	**0.54**
Fe^{2+}	**0.04**	**0.0014**			
Cu^{2+}	**0.06**	**0.0018**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**62.15**	**3.63**			
As^{5+}	**0.12**	**0.007**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



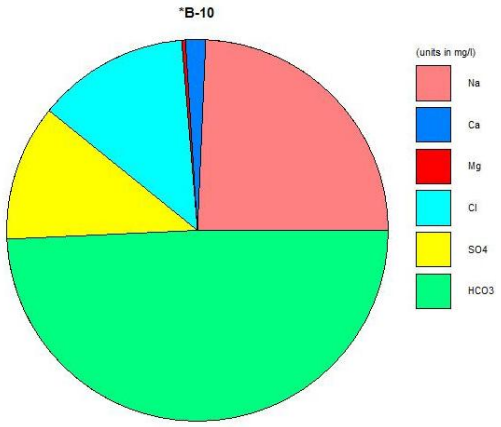
Çizelge 4.23. BD-8 Su kimyası bilgi formu

*BD-8 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503920**	**Y:4249206**	
Örnek Alım Tarihi			**10.10.2009**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**63.6**	**δO (‰)***	**---**	
pH		**6.86**	**δD (‰)***	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2002**	**δH (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**119**			
Sertlik	**Fr**	**6.04**			
SAR	**%**	**19.69**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ 1	**meq /1**		**mg/ 1**	**meq / l**
Li^{+}	**1.40**	**1.4**	**SO_4^{2-}**	**165.62**	**3.49**
Na^{+}	**351.90**	**15.3**	**Cl^{-}**	**201.00**	**5.67**
K^{+}	**35.68**	**0.9**	**HCO_3^{2-}**	**707.6**	**11.59**
Mg^{++}	**2.78**	**0.23**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**19.64**	**0.98**	**NO_3^{-}**	**15.00**	**0.24**
Sr^{++}	**0.50**	**0.011**	**PO_4^{3-}**	**<0.01**	**<0.0002**
Mn^{2+}	**0.03**	**0.0010**	**F^{-}**	**9.15**	**0.48**
Fe^{2+}	**0.65**	**0.023**			
Cu^{2+}	**0.06**	**0.0019**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**57.18**	**3.3**			
As^{5+}	**0.05**	**0.0067**			
Su tipi: Na- Cl-HCO_3					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



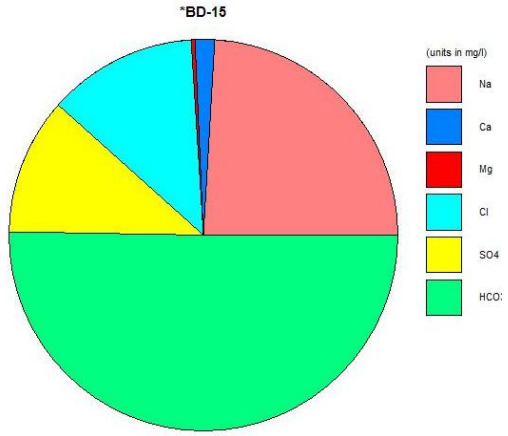
Çizelge 4.24. B-10 Su kimyası bilgi formu

*B-10 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35502822**	**Y:4249035**	
Örnek Alım Tarihi			**10.10.2009**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**102.5**	**δO (‰)***	**-5.52**	
pH		**7.46**	**δD (‰)***	**-34.6**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**1988**	**^{3}H (‰)***	**<1.1**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**42**			
Sertlik (Fr)		**4.94**			
SAR	**%**	**16.74**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**2.17**		**SO_4^{2-}**	**166**	
Na^{+}	**401.80**		**Cl^{-}**	**179**	
K^{+}	**30.08**		**HCO_3^{2-}**	**683.2**	
Mg^{++}	**3.33**		**CO_3^{2-}**	**0**	
Ca^{++}	**14.31**		**NO_3^{-}**	**13.23**	
Sr^{++}	**0.37**		**PO_4^{3-}**	**<0.01**	
Mn^{2+}	**<0.01**		**F^{-}**	**7.65**	
Fe^{2+}	**<0.01**				
Cu^{2+}	**0.06**				
Zn^{2+}	**<0.01**				
Si^{4+}	**53.04**				
As^{5+}	**0.10**				
Su tipi: Na- Cl -HCO_3-					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



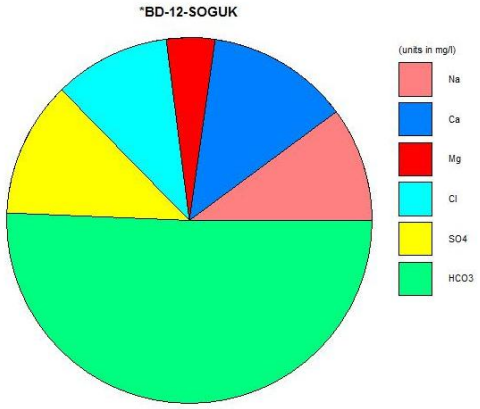
Çizelge 4.25. BD-15 Su kimyası bilgi formu

BD-*15 KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35503083**	**Y:4249220**	
Örnek Alım Tarihi			**10.10.2009**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**128**	**δO (‰)***		
pH		**8.63**	**δD (‰)**		
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**2160**			
Redoks potansiyeli	**mV**	**145**			
Sertlik (Fr)		**4.94**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ 1	**meq /1**		**mg/ 1**	**meq / l**
Li^{+}	**1.64**	**1.64**	**SO_4^{2-}**	**154.27**	**3.2**
Na^{+}	**325.60**	**14.16**	**Cl^{-}**	**169.48**	**4.78**
K^{+}	**32.81**	**0.84**	**HCO_3^{2-}**	**683.2**	**11.19**
Mg^{++}	**4.16**	**0.0.34**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**22.61**	**1.13**	**NO_3^{-}**	**<0.01**	**<0.00016**
Sr^{++}	**0.46**	**0.01**	**PO_4^{3-}**	**<0.01**	**<0.0002**
Mn^{2+}	**0.06**	**0.002**	**F^{-}**	**4.92**	**0.26**
Fe^{2+}	0.58	**0.002**			
Cu^{2+}	**0.06**	**0.0019**			
Zn^{2+}	**<0.01**	**<0.0003**			
Si^{4+}	**1.64**	**0.096**			
As^{5+}	**0.05**	**0.00067**			
İyon Dengesi : -4,5					
Su tipi: Na- Cl -HCO_3-					
Baskın iyonlar: Na^{+}+ K^{+}> Ca^{++}+ Mg^{++} ve CO_3^{2-}+ HCO_3^{2-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



Çizelge 4.26. BD-12 Su kimyası bilgi formu

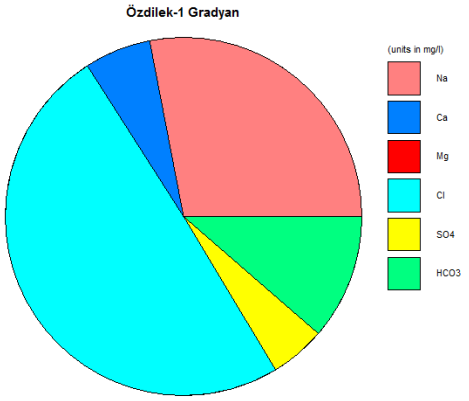
BD-12 SOĞUKSU KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35504921**	**Y:4249205**	
Örnek Alım Tarihi			**10.10.2009**		
Analiz Yeri			**Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi- *Almanya Neuherberg Hidroloji Enstitüsü**		
Sıcaklık	**°C**	**28**	**δO (‰)***	**-5.73**	
pH		**7.39**	**δD (‰)***	**-35.2**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**755**	**^{3}H (‰)***	**2.5**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**211**			
Sertlik	**Fr**	**24.19**			
SAR	**%**	**1.39**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**0.04**	**0.04**	**SO_4^{2-}**	**60.01**	**0.0089**
Na^{+}	**49.84**	**2.17**	**Cl^{-}**	**51.05**	**1.44**
K^{+}	**5.12**	**0.13**	**HCO_3^{-}**	**250.1**	**4.09**
Mg^{++}	**20.98**	**1.73**	**CO_3^{2-}**	**0**	**0**
Ca^{++}	**62.35**	**3.11**	**NO_3^{-}**	**64.36**	**1.038**
Sr^{++}	**0.15**	**0.00342**	**PO_4^{3-}**	**<0.01**	**<0.0002**
Mn^{2+}	**0.02**	**0.00073**	**F^{-}**	**0.17**	**0.0089**
Fe^{2+}	**0.09**	**0.0032**			
Cu^{2+}	**0.07**	**0.0022**			
Zn^{2+}	**0.79**	**0.024**			
Si^{4+}	**5.99**	**0.35**			
As^{5+}	**<0.01**	**<0.0002**			
Su tipi: Ca-Na-Mg-HCO_3					
Baskın iyonlar: Ca^{2+}+Mg^{2+}> Na^{+}+ K^{+} ve CO_3^{2-}+HCO_3^{-}> Cl^{-}+ SO_4^{2-}					



Çalışma alanının kuzeyinde bulunan ÖZDİLEK-1 gradyan kuyusuna ait örneğin su kimyası analizi, güney kesiminde bulunan örneklerden daha farklı özellikler sunmaktadır (Çizelge 4.27.).

Çizelge 4.27. ÖZ-2 Su kimyası bilgi formu

ÖZDİLEK-1 GRADYAN KUYUSU SU KİMYASI BİLGİ FORMU					
Koordinatlar			**X:35502798**	**Y:4252433**	
Örnek Alım Tarihi			**15.07.2010**		
Analiz Yeri			**ACME Lab. Ltd. - Kanada**		
Sıcaklık	**°C**	**41.4**	**δO (‰)**	**---**	
pH		**7.00**	**δD (‰)**	**---**	
Elektriksel iletkenlik	**µS/ cm**	**6340**	**^{3}H (‰)***	**---**	
Redoks potansiyeli	**mV**	**---**			
Sertlik (Fr)		**---**			
K ATYONLAR			**ANYONLAR**		
	mg/ l	**meq /l**		**mg/ l**	**meq / l**
Li^{+}	**0.769**	**0.769**	**SO_4^{2-}**	**204**	**4.247**
Na^{+}	**1139.1**	**49.6**	**Cl^{-}**	**2020**	**56.98**
K^{+}	**19.6**	**0.50**	**HCO_3^{-}**	**461.1**	**7.558**
Mg^{++}	**147.8**	**12.2**	**CO_3^{2-}**	**---**	**---**
Ca^{++}	**245.5**	**12.3**	**NO_3^{-}**	**---**	**---**
Sr^{++}	**1.477**	**0.24**	**PO_4^{3-}**	**---**	**---**
Mn^{2+}	**0.128**	**0.0047**	**F^{-}**	**---**	**---**
Fe^{2+}	**1.8**	**0.0645**			
Cu^{2+}	**---**	**---**			
Zn^{2+}	**0.017**	**0.00052**			
Si^{4+}	**---**	**---**			
As^{5+}	**0.008**	**0.0001**			
Su tipi: Na-Cl					
Baskın iyonlar: Na^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}>K^{+} ve Cl^{-} >HCO_3^{-}+SO_4^{2-}					



Su kimyası bilgi formunda da açıkça görüldüğü gibi, su tipi olarak sodyum- klorürlü Na-Cl su tipindedir ve baskın iyonlar sırası ile Na^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}>K^{+} ve Cl^{-} >HCO_3^{-} $^{+}SO_4^{2-}$ olarak belirlenmiştir.

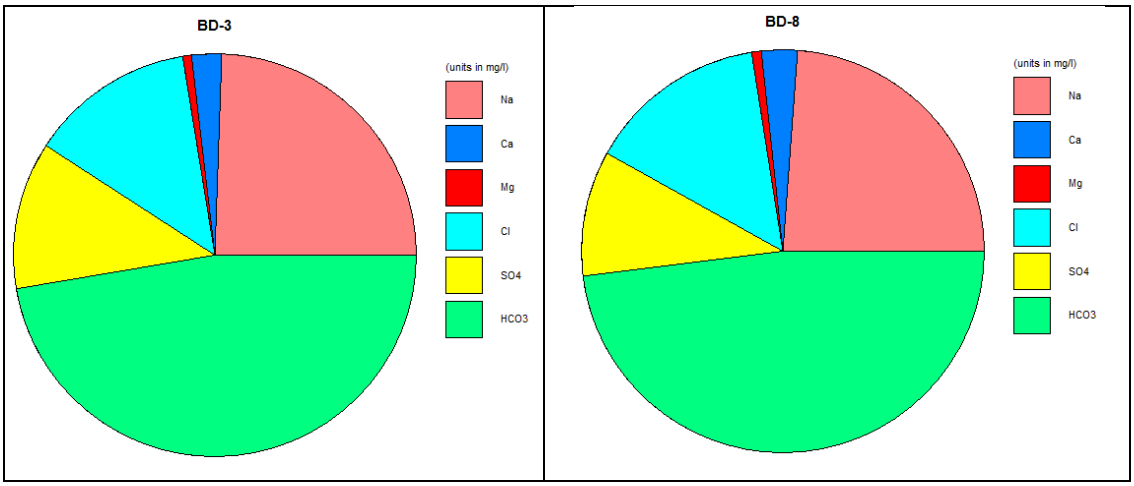
Dededağı'nın kuzey yamacında bulunan Kabaoğlu Çeşmesi'nden 2005 yılında alınan örnekte ise Cl^- iyonları baskın durumdadır (152 mg/l).

Ayrıca B-10, BD-8, BD-9 ve BD-15 kodlu kuyuların aralık 2009 döneminde yapılmış olan İzmir Jeotermal A.Ş.'den alınan kaynak başı analiz sonuçları da aşağıdaki tabloda sunulmaktadır (Çizelge 4.28.). Üç adedi derin, diğeri sığ kuyulardan olan bu noktalara ait anyon-katyon diyagramları da aşağıdaki gibidir.

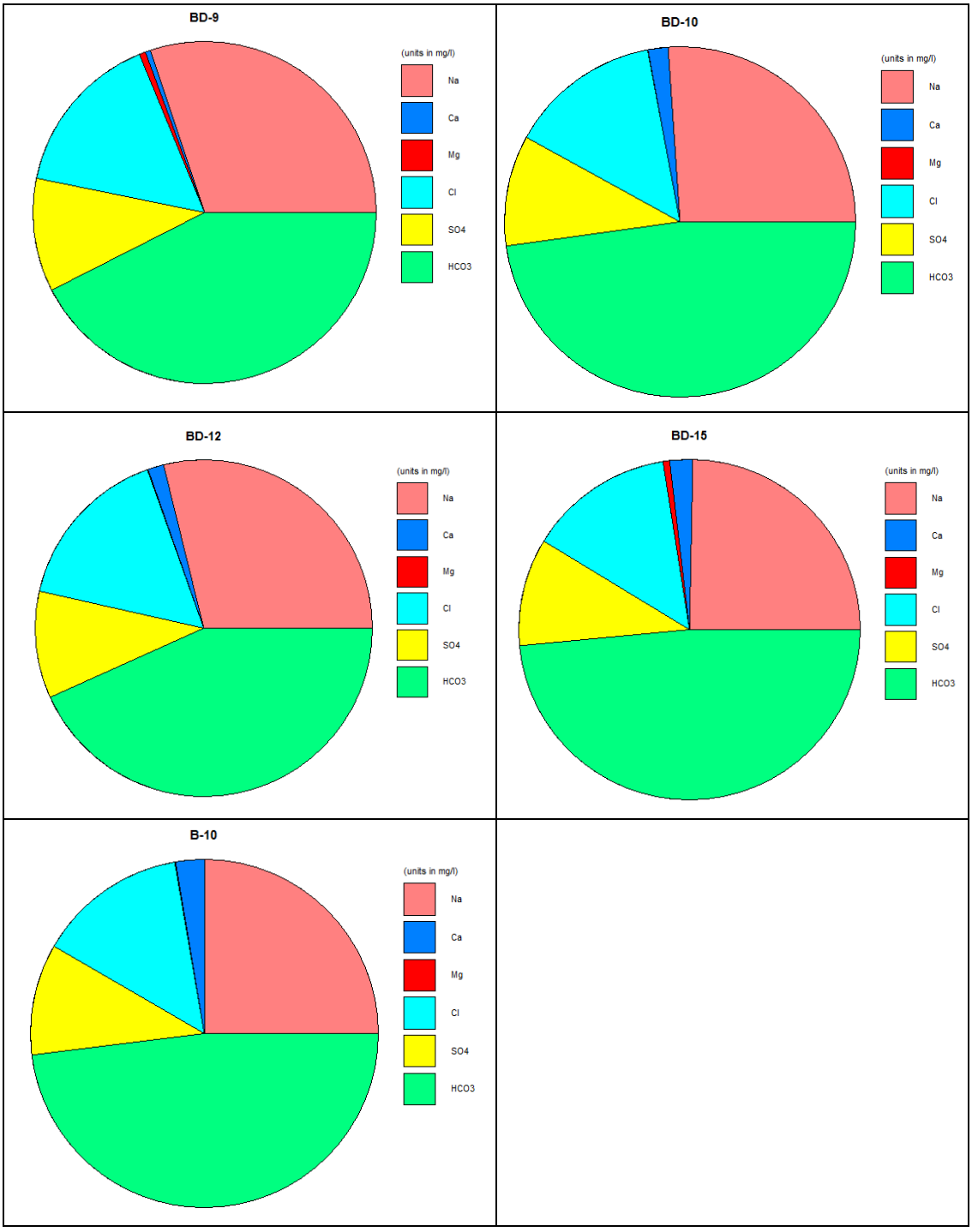
Çizelge 4.28. Aralık 2009 döneminde yapılan 7 sıcak su kuyusuna ait kaynak başı analiz sonuçları (İZJAŞ,2011)

Kuyu adı	pH	T (^{0}C)	EC (µmho/cm)	Na^+ (mgl)	K^+ (mgl)	Mg^{+2} (mgl)	Ca^{+2} (mgl)	Mn (mgl)	Fe^{+2} (mgl)	NH_4^{+2} (mgl)	Cu (mgl)	Ni (mgl)	F^- (mgl)	Cl^- (mgl)
B-10	7.64	99.8	2040	314	32	1	35.6	0.22	0.08	1.89	<0.10	<0.10	0.54	176
BD-3	6.55	62	2920	327	32.3	8.9	32	0.29	0.37	1.85	<0.10	<0.10	1.24	179
BD-8	6.42	63.8	1917	306	32.2	10	36.4	0.31	0.45	2.17	<0.10	<0.10	0.95	186
BD-9	8.66	100.9	2380	419	37.9	8.4	6.8	0.23	0.08	1.91	<0.10	<0.10	0.87	218
BD-10	6.75	51.1	2896	372	32.9	0.48	26	0.22	0.79	2.37	<0.10	<0.10	0.62	201
BD-12	8.40	102	2230	420	39.3	0.24	23.2	0.24	0.11	1.72	<0.10	<0.10	1.03	236
BD-15	6.44	52.5	2948	335	33.9	8.9	29.6	0.22	0.81	2.30	<0.10	<0.10	1.48	188

Bu analiz sonuçları, İzmir Jeotermal A.Ş.'den alınan kaynak başı analiz sonuçlarından elde edilen Pie Diyagramlardaki anyon-katyon ilişkileri açısından da uyumluluk göstermektedir (Şekil 4.37.).



Şekil 4.37. Aralık 2009 döneminde alınan 7 sıcak su kuyusuna ait Pie Diyagramı



Şekil 4.37. (devam)

4.5.4. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların sertlik açısından değerlendirilmesi

Pratik olarak kalıcı sertlik kalsiyum ve magnezyum iyonlarının toplamı şeklinde gösterilmektedir ve ülkemizde suların sertliklerinin belirtilmesinde Fransız sertliği (Fr^0) kullanılmaktadır.

$$\text{Toplam sertlik} = 5[\text{Ca (mek/l)} + \text{Mg (mek/l)}]$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Suların sertliklerine göre sınıflamaları aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Şahinci, 1991a) (Çizelge 4.29.).

Çizelge 4.29. Suların sertliklerine göre sınıflandırılmaları (Şahinci, 1991a)

Fransız Sertliği	**Alman Sertliği**	**İngiliz Sertliği**	**Suyun Sınıfı**
0.0-7.2	0.00-4.00	0.00-5.00	Çok yumuşak
7.2-14.5	4.00-8.12	5.00-10.15	Yumuşak
14.5-21.5	8.12-12.04	10.15-15.05	Az sert
21.5-32.5	12.04-18.20	15.05-22.75	Oldukça sert
32.5-54.0	18.20-30.24	22.75-37.80	Sert
<54	<30.24	<37.80	Çok sert

Aşağıdaki çizelgede örneklerin SAR değerleri, içerdikleri Ca ve Mg iyonlarından ileri gelen bir özellik olan sertliklerine göre sınıflamaları verilmektedir (Çizelge 4.30 ve 4.32.).

Bu durumda, Onur Isı Merkezi'nde bulunan BD-12 sıcak su kuyusunun yanındaki, Onur Isı Merkezi'nin ihtiyaçlarını karşılamak üzere açılmış olan soğuk su kuyusundan alınan örnek sulama suyu açısından en uygun nitelikte olan sudur ancak içme sularını niteleyen bir özellik olan sertlik bakımından en sert olan su örneğidir.

Çizelge 4.30. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait SAR değerleri ve Fransız sertlikleri

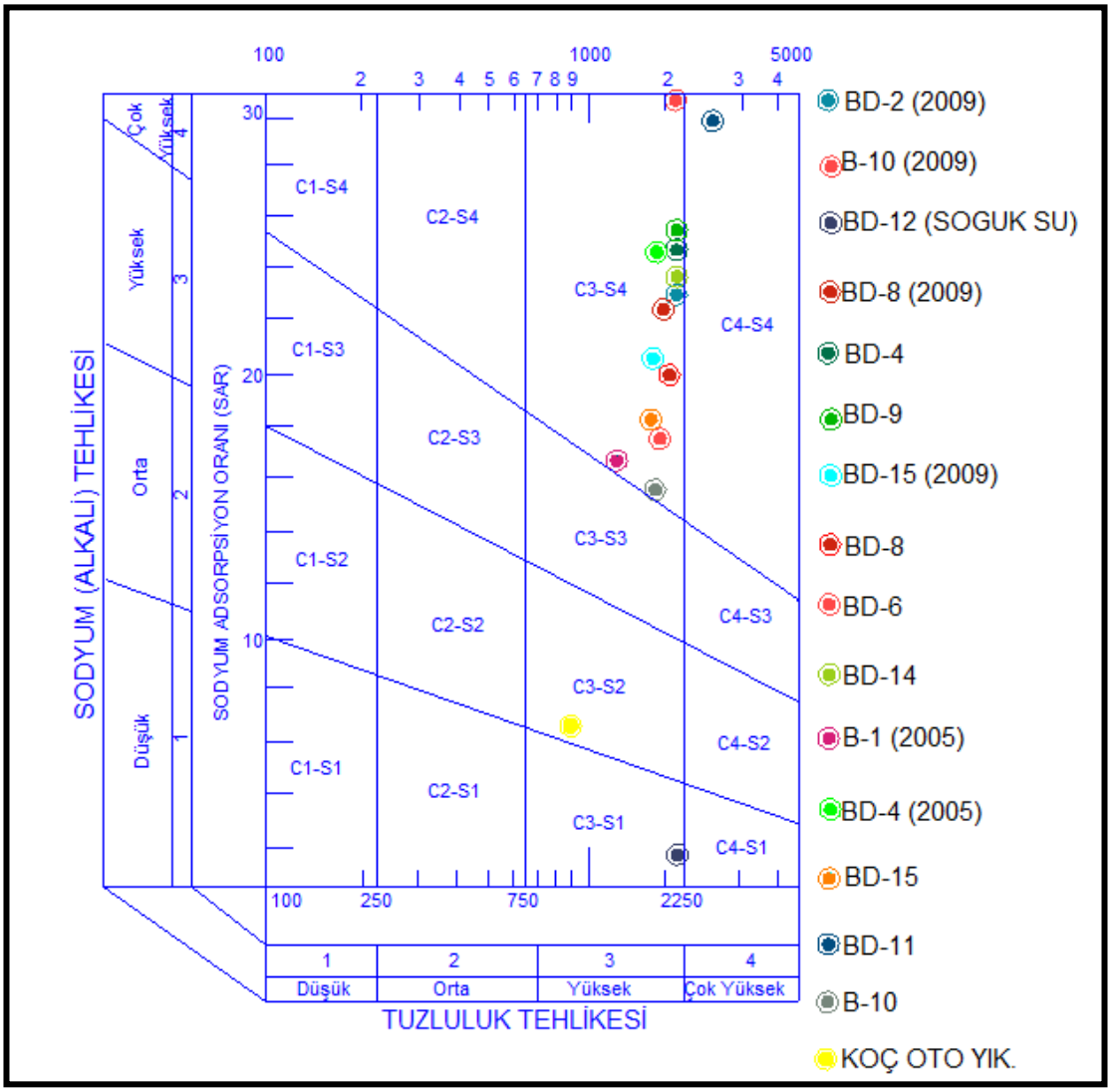
Örnek Adı	Örnek alım tarihi	SAR oranı	Sertlik (Fr)	Sertliğine göre sınıfı
BD-4	19.02.2011	24.87	4.94	Çok yumuşak
BD-6	19.02.2011	31.30	3.06	Çok yumuşak
BD-8	19.02.2011	22.17	5.22	Çok yumuşak
BD-9	19.02.2011	25.55	4.87	Çok yumuşak
B-10	19.02.2011	15.81	8.59	Yumuşak
BD-11	19.02.2011	29.95	3.43	Çok yumuşak
BD-14	19.02.2011	23.79	6.26	Çok yumuşak
BD-15	19.02.2011	18.41	6.70	Çok yumuşak
BD-2	10.10.2009	23.66	4.74	Çok yumuşak
BD-8	10.10.2009	19.69	6.04	Çok yumuşak
B-10	10.10.2009	16.74	7.64	Yumuşak
BD-15	10.10.2009	20.67	7.35	Yumuşak
BD-12(ss)	10.10.2009	1.39	24.19	Oldukça sert

Üst sınıra yakın seyretmekle birlikte B-10 kuyusuna re-enjekte edilen su da iyi özellikte sulama suyu sınıfına girmektedir. Üretim amaçlı kullanılan kuyulardan BD-2, BD-4, BD-6, BD-9, BD-11 ve BD-14 ile re-enjeksiyon yapılan BD-8 ve BD-15 kodlu kuyulardan alınan örnekler oldukça yumuşak su sınıfına girmektedir. Hem üretim amaçlı kullanılan zaman zaman da re-enjeksiyon yapılan kuyulardan B-10 ve BD-15 kodlu kuyuların örnekleri ise yumuşak su sınıfına dahil olup, soğuk su kuyusu olarak kullanılan BD-12-SS kodlu örnek ise örnekler arasında en sert su niteliğinde olup, Fransız sertliğine göre oldukça sert su sınıfına girmektedir.

4.5.5. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk suların Na içeriğinin değerlendirilmesi

Çalışma alanında analizi yapılan su örneklerinden BD-11, Koç Oto Yık. ve BD-12 (soğuk su) örnekleri hariç, diğer tüm suların, yatay ekseninde sulara ait elektriksel iletkenliğin (EC), düşey eksende ise sodyum adsorpsiyon (SAR) oranının yer aldığı

ABD tuzluluk diyagramında çok yüksek sodyum içerikli, yüksek tuzlu su tipini tarifleyen C3-S4 sınıfında oldukları tespit edilmiştir. Koç Oto Yık. kodlu örnek ise orta sodyum içeriğine sahip ancak yüksek miktarda tuzlu su tipini ifade eden C3-S2, BD-12 (soğuk su) kodlu su örneği ise düşük sodyumlu, yüksek tuzlu su tipini kapsayan C3-S1 sınıfına girmektedir ve sulama suyu olarak kullanılmasında sodyum içeriği ve tuzluluk oranı açısından herhangi bir sorun bulunmamaktadır (Çizelge 4.31.). BD-11 kodlu su örneği ise; hem sodyum hem de tuz içeriği bakımından en yüksek su tipini temsil eden C4-S4 sınıfına girmektedir (Şekil 4.38.). Bu durumda; sıcak su kuyularından alınan örneklerden hiçbirisi sulama suyu için uygun nitelikte değildir.



Şekil 4.38. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait ABD Tuzluluk Diyagramı

Yüksek sodyum içeriğinin toprak yüzeyinde oluşturacağı sert kabuğumsu tabakadan dolayı bitkiler için uygun olmayacağından, gelişmelerini yavaşlatır; bu nedenle sulama suyu olarak kullanılmaları önerilmemektedir.

Çizelge 4.31. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri (Teknik Usuller Tebliği, 1991)

	Sulama suyu sınıfı				
Kalite kriteri	I. Sınıf su (Çok iyi)	II. Sınıf su (İyi)	III. Sınıf su (Kullanılabilir)	IV. Sınıf su (Dikkati kullanılmalı)	V. Sınıf su (Zararlı) Uygun değil
Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)	<10	10-18	18-26	>26	
Klorür (Cl^-) mg/l	0-142	142-249	249-426	426-710	>710
Sülfat (SO_4^{-2}) mg/l	0-192	192-336	336-575	575-960	>960
Bor (B) mg/l	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	>2.0	-
(NO_3^-) veya ($NH4^+$) mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	>50

Çizelge 4.32.Çalışma alanından alınan örneklerin SAR'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991a)

Suyun niteliği	**SAR (%)**	**Örnek Adı**
Çok iyi özellikte sulama suları	<10	BD-12 (soğuk su)
İyi özellikte sulama suları	10-18	B-10
Orta özellikte sulama suları	18-26	BD-2, BD-8, BD-15, BD-4, BD-9, BD-14
Kötü özellikte sulama suları	>26	BD-6, BD-11

Ayrıca çalışma alanından alınan su örneklerine ait bazı majör iyonların karşılaştırılması yapılır ise; Hounslow (1995)'a göre Na-Cl karşılaştırmalarında:

$Na^+ = Cl^-$ halit çözünmesi
$Na^+ > Cl^-$ Albit (plajioklas) gibi halit harici bir Na^+ kaynağı veya doğal yumuşama
$Na^+ < Cl^-$ tuzlu su veya denizsuyu girişimini göstermektedir (Hounslow, 1995).

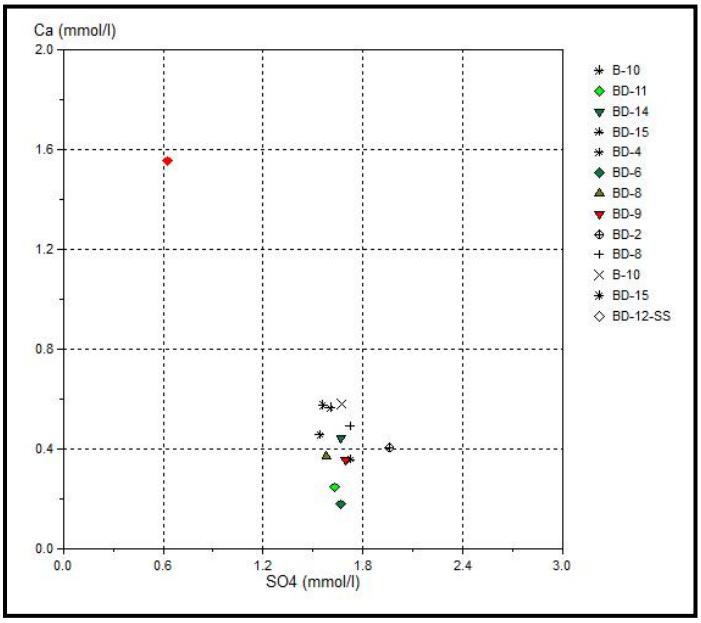
Bu durumda; sahadan alınan örneklerde $Na^+ > Cl^-$ olduğu görülmektedir ve albit (plajioklas) çözünmesinden bahsetmek mümkündür. Bu durumda örneklerdeki Na^+ iyonu kaynağı albit ($NaAl\ Si_3O_8$) difraktometre sonuçlarında da gözlenmektedir. Bu çalışma kapsamında alınan su örneklerinde Na^+ konsantrasyonu en yüksek olan örnek noktası, 401.80 mg/l ile üretim kuyusu olan BD-4, en düşük olan 325 mg/l ile BD-15 re-enjeksiyon kuyularıdır. Cl^- konsantrasyonu açısından ise en yüksek değeri 208.02 mg/l ile BD-9, en düşük değeri ise 62.84 mg/l ile B-10 üretim kuyularında görmekteyiz. Toplam çözünmüş madde miktarı en yüksek olan nokta BD-11 kodlu sıcak su kuyusudur.

Ayrıca MTA'dan alınan bilgilere göre (MTA, yayınlanmamış rapor, 2005) soğuk su çıkışlarından Mersin Pınar Cl iyonu değerleri 17 mg/l, çalışma alanının güneyinde kalan soğuk su çıkışlarının Cl iyonu değerleri Kanlı Pınar için 8.4 mg/l, Tozlu Pınar için 6.7 mg/l ve Radar Çeşmesi için 6.7 mg/l arasında değişim göstermektedir.

Aşağıda da görüleceği gibi sahadan alınan su örneklerinde SO_4^{-2} değerleri, Ca^{+2} değerlerinden çok daha yüksektir (Şekil 4.39.). Bu iyonlarının karşılaştırılmasında değerlerinin eşit olması jips çökelimini, SO_4^{-2} daha fazla olması kalsit çökelimini ya da Ca^{+2}'nin ortamdan uzaklaşmasını, SO_4^{-2} az olması durumunda ise kalsit/dolomit ya da silikatlar gibi Ca^{+2} kaynağının ortamda varlığını işaret etmektedir (Hounslow, 1995). Bu durumda kalsiyum iyonlarından oldukça yüksek değerler sunan SO_4 iyonları saha için kalsit çökelimine uygunluğu işaret etmektedir. Bu durum kalsit doygunluk indeksleri hesaplarında da desteklenmektedir ancak sadece BD-12-SS soğuk su noktasından alınan örnek bunların dışında kalsiyumca daha zengindir. Soğuk su örneği için bu durum son derece doğaldır.

Balçova Jeotermal Sahası'ndan alınan su örnekleri Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonları açısından irdelendiğinde, en yüksek Ca^{+2} değeri 23.27 mg/l ile B-10 kodlu kuyuda,

en düşük Ca^{+2} değeri ise 7.09 mg/l ile BD-6 kodlu kuyularda gözlenmektedir. En yüksek Mg^{+2} değeri ise 5.21 mg/l ile BD-15 kodlu kuyuda, en düşük 1.71 mg/l ile BD-2 kodlu kuyuda ölçülmüştür. Mg^{+2} iyonunun yüksek oluşu, doğal kaynağı olan dolomitlerin çözünmesi, hidrotermal alterasyon minerallerinden olan montmorillonit mineralinin yapısında yer almasından dolayı olabilir.



Şekil 4.39. Bu çalışma kapsamında alınan örneklere ait Ca-SO_4 ilişkisini gösteren diyagram

Ayrıca hidrojeokimyasal analizlerdeki Na/K oranları da aşağıdaki çizelgede görüleceği gibi, (Çizelge 4.33.) (~<15)'dir ve özellikle BD-4, BD-6, BD-8, BD-9, BD-11, BD-14 ve BD-15 kodlu sıcak su kuyularından alınan örneklerde ortalama 12.894 oranındadır ve bu kuyuların çizgisel bir şekilde bulunduğu bölge yükselim zonu olarak yorumlanabilir (Nicholson, 1993).

Çizelge 4.33. Na/K oranları

Sıra no	Örnek no	Örnek Alım Tarihi	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Na^+/K^+	
1	BD-4	19.02.2011	401,8	30	13,36	<15
2	BD-6	19.02.2011	398	30	13,18	
3	BD-8	19.02.2011	368	28	12,93	
4	BD-9	19.02.2011	410	31	13,27	
5	B-10	19.02.2011	337	41	8,19	
6	BD-11	19.02.2011	403	32	12,54	
7	BD-14	19.02.2011	433	35	12,25	
8	BD-15	19.02.2011	346	27	12,73	
9	BD-2	10.10.2009	374,6	37,17	10,08	
10	BD-8	10.10.2009	351,9	35,68	9,86	
11	B-10	10.10.2009	336,4	33,67	9,99	
12	BD-15	10.10.2009	325,6	32,81	9,92	
13	BD-12	10.10.2009	49,84	5,12	9,73	

4.5.6. Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk sularda bulunan ağır metaller ve toksik elementler

Türkiye'de bulunan sıcak sularda yüksek miktarlarda bulunan arsenik (As), bor (B), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) kabuklaşma ve korozyona sebep olmaktadır (Baba, 2006). Batı Anadolu'daki sıcak sularda değişik tarihlerde yapılan çeşitli çalışmalardaki analiz sonuçları da bunu doğrular niteliktedir (Deniz, 2010; Özkan vd., 2011; Camgöz vd., 2010; Özen vd.,2008; Tokçaer, 2007; Çakın, 2003; Aksoy, 2001; Yılmazer, 1989; Erentöz vd., 1968).

Su kimyası analizi yapılan sıcak ve soğuk su örneklerinin içerdiği Li, Pb, Zn, Cu, Mn, Sr, As, B ve F değerleri yağışlı mevsim sonu ve kurak mevsim sonu olarak irdelenmiş, Teknik Usuller Tebliği'ndeki üst sınır değerleri açısından

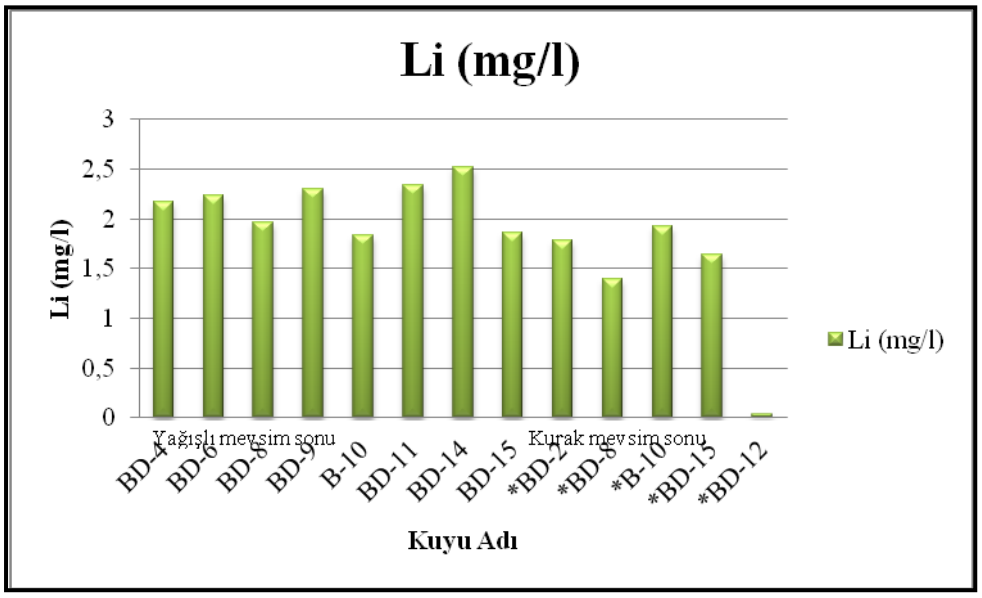
değerlendirilmiştir. Ayrıca daha önceki çalışmalarda elde edilen analiz sonuçları ile bu çalışma kapsamında elde edilen veriler karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.34.).

Çizelge 4.34. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Teknik Usulfler Tebliği, 1991)

Elementler	İzin verilen en yüksek yoğunluklar (mg/l)	
	Her türlü zemin Sürekli sulama	pH:6.0.-8.5 (killi zemin) Sulama <24 yıl
Aluminyum	5.0	20.0
Arsenik	0.1	2.0
Bor	10^{-3}	2.0
Bakır	0.2	5.0
Florür	0.1	15.0
Demir	5.0	20.0
Kurşun	5.0	10.0
Lityum	2.5	2.5
Manganez	0.2	10.0
Çinko	2.0	10.0

Lityum (Li): Analizi yapılan örneklerdeki lityum miktarı limitlerin altında seyretmektedir. BD-14 kodlu sıcak su kuyusundan alınan örneğe ait değer 2.52 mg/l ile en yüksek değer olarak tespit edilmiş olup, sulama sularının lityum içeriğine ilişkin limitinin üzerinde (2.5 mg/l) kalmaktadır. Yağışlı mevsim sonundaki ortalama lityum değeri 2.15 mg/l, kurak mevsim sonu ortalama lityum değeri 1.358 mg/l'dir. Kil minerallerinin bünyesinde de bulunan lityum elementindeki yağışlı mevsim sonrasındaki artış, yüzey sularının da etkisi ile kil minerallerinden yıkanarak zenginleşmiş olduğu söylenebilir (Şekil 4.40.).

Kurşun (Pb): Çalışma alanından alınan örneklerdeki kurşun (Pb) değerleri <0.01, yani optik emisyon spektrometresi ölçüm limitlerinin altında bir değerdedir.



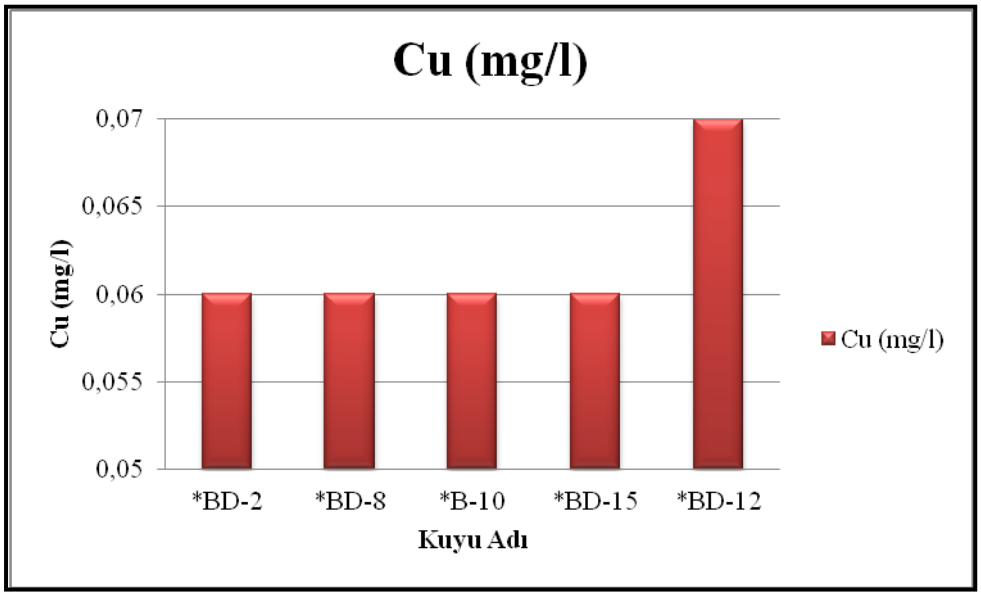
Şekil 4.40. Yağışlı ve kurak mevsim sonu Li (mg/l) değerleri

Çinko (Zn): Alkali kayaçlardaki demir (monzonit, siyenit ve trakit), genellikle bazalt ve gabroda bulunan demirin yarısından azdır, fakat çinko ortalama 50 ppm'den fazladır. Bu da, ergime olayı ile demire oranla daha fazla çinko yığışmasını sağlamış olduğunu gösterir. Ergime halinde alkali magmatik kayaçların kireçtaşı ve dolomitleri assimile etmesi sonucunda çinko miktarında seyreltme izlenir çünkü bu gibi karbonatlı kayaçlarda çinko çok az bulunur (Şahinci, 1991a).

Çalışma alanından alınan su örneklerinde de çinko konsantrasyonu kullanılan cihazın ölçüm limitlerinin altındadır (<0.01 mg/l) ve sulama sularına ilişkin limitlerin de altında kalmaktadır. Yalnızca BD-12 kodlu kuyudan alınan su örneği kurak mevsim sonu çinko değeri 0.79 mg/l olarak en yüksek değeri sunmaktadır.

Bakır (Cu): Kalkofil, kükürte karşı duyarlı bir element olan bakır, volkanojenik kökenli masif sülfid oluşuklarında, porfir tipi bakır yataklarında, ultrabazik platin oluşuklarında, bakırlı şeyllerde çoktur. Bakırın suda derişimi, taşınma uzaklığı, soğurma, sülfidlerin, fosfatların, hidrosülfürlerin oksitleşmesine bağlı olarak, önemli miktarlara erişebilir (Şahinci, 1991a).

Çalışma alanında yapılan, özellikle yağışlı mevsim sonundaki, ölçümlerde bakır konsantrasyonları ölçüm limitlerinin altında kalmaktadır. Örneklere ait ölçülebilen bakır değerleri kurak mevsimde alınan örneklere aittir ve maksimum 0.07 mg/l'dir (Şekil 4.41.). Çalışma alanından alınan su örneklerinin bakır konsantrasyonları sulama sularına ait izin verilebilir bakır konsantrasyonu limitinin altında kalmaktadır.

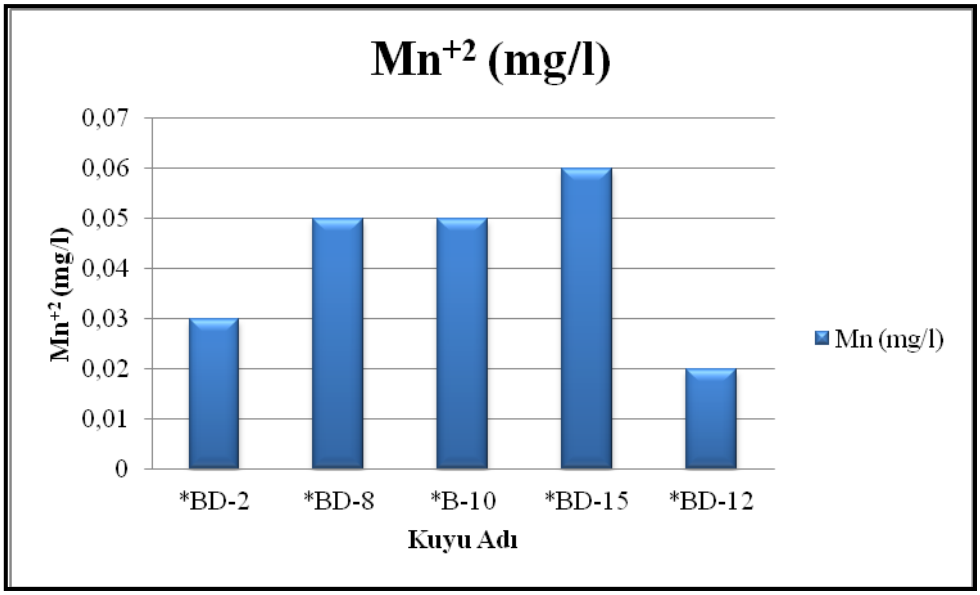


Şekil 4.41. Kurak mevsim sonuna ait Cu (mg/l) değerleri

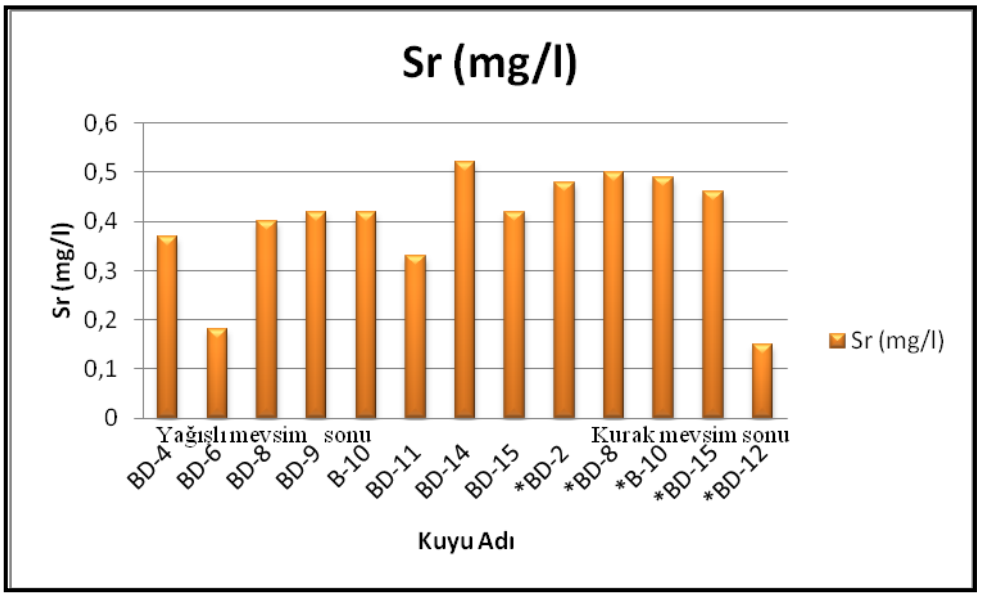
Manganez (Mn): Yer altı sularında genellikle 0.02 mg/l'den az bulunan manganez, bitkilerin metabolizması için önemli bir elementtir (Şahinci, 1991a).

Çalışma alanından alınan örneklerin yağışlı mevsim sonunda yapılan hidrojeokimyasal analizlerinde manganez miktarı cihaz ölçüm limitlerinin altında (<0.01 mg/l) kalmakla birlikte, kurak mevsim sonudaki değerleri; minimum 0.02 mg/l ile maksimum 0.06 mg/l olmak üzere ortalama 0.042 mg/l'dir (Şekil 4.42.).

Stronsiyum (Sr): Stronsiyumun kimyasal ve göç özellikleri kalsiyuma benzer. Kalsiyumun bulunduğu jeotermal sistemlerde, genellikle stronsiyum da bulunur (Şahinci, 1991a). Çalışma alanından alınan 0.33 mg/l, kurak mevsim sonunda ise 0.416 mg/l'dir. BD-12-ss kodlu kuyudan alınan soğuk su örneği 0.15 mg/l ile en düşük stronsiyum değerini vermektedir (Şekil 4.43.).



Şekil 4.42. Kurak mevsim sonuna ait Mn (mg/l) değerleri

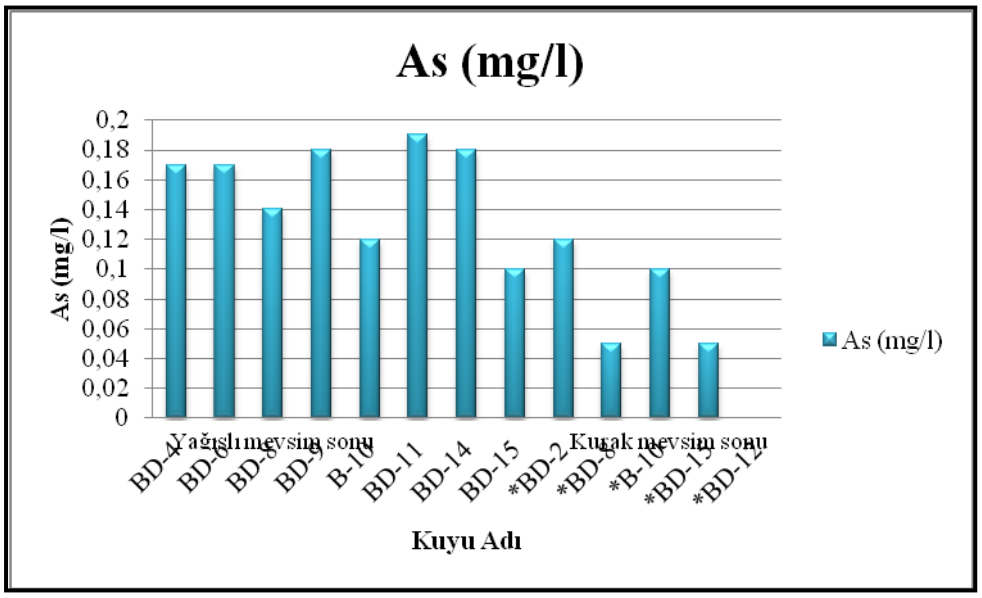


Şekil 4.43. Yağışlı ve kurak mevsim sonu Sr (mg/l) değerleri

Arsenik (As): Kurak mevsim sonunda alınan örneklerdeki arsenik miktarı 0.05-0.12 mg/l arasında değişmektedir. BD-12SS kodlu soğuk su kuyusundan alınan su örneği ise <0.01 mg/l, yani optik emisyon spektrometresi ölçüm limitlerinin altında bir değerdir. Yağışlı mevsim sonunda alınan örneklerin arsenik değerleri 0.10-0.19 mg/l arasında değişim göstermektedir.

BD-8 ve B-10 kodlu sıcak su kuyularından her iki mevsimde de örnekleme yapılmıştır. BD-8 kodlu kuyuya ait hidrojeokimyasal analizlerinde As değeri yağışlı mevsim sonunda daha yüksek iken (0.14 mg/l), kurak mevsim sonunda bu değer 0.05 mg/l'ye düşmektedir (Şekil 4.44.).

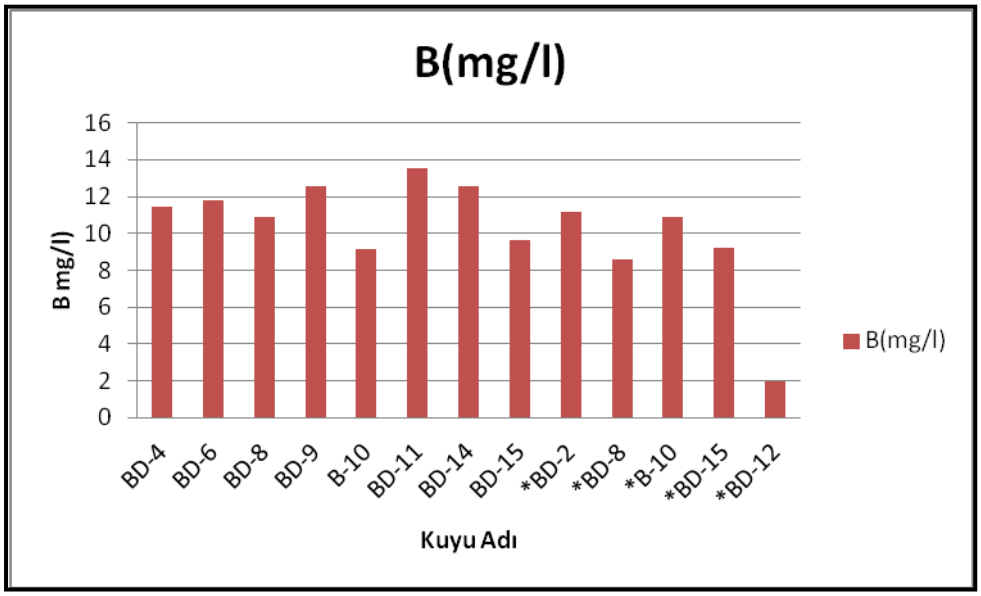
B-10 kodlu sıcak su kuyusuna ait örneğin yağışlı mevsim sonunda yapılan analiz sonucuna göre As değeri 0.10 mg/l iken, kurak mevsim sonunda bu değer 0.12 mg/l'dir.



Şekil 4.44. Yağışlı ve kurak mevsim sonu As (mg/l) değerleri

Bor (B): Türkiye'deki sıcak sularda bor oranı genellikle yüksektir (Baba ve Ármannsson, 2006). Bor, mikalarda ve serpantinlerde oldukça boldur. Piroksenlerdeki bor ile alüminyum arasında doğrusal bir ilişki vardır. Filosilikatlar, diğer silikatlara oranla daha fazla bor içerir; özellikle muskovit, paragonit, serizit, illit, montmorillonit ve serpantin borca zengindir (Şahinci, 1991b). Yağışlı mevsim sonunda analizi yapılan su örneklerindeki bor miktarı 9.13-13.53 mg/l arasında, kurak mevsim sonunda analizi yapılan su örneklerindeki bor miktarı ise 1.96-11.20 mg/l arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.45.). Bor miktarı ile ortamdaki kil oranı arasında güçlü bir ilişki vardır (Şahinci, 1991b). Bor elementinin yüksek değerler sunması, çalışma alanından alınan kırıntı örneklerinin difraktometre

sonuçlarında analiz edilen kil minerallerinin varlığı göz önünde bulundurulur ise, olağandır (Çizelge 4.7.). Bor elementinin hidrojeokimyasal analiz sonucu elde edilen değerleri sulama sularına ilişkin tebliğde belirtilen sınır değerlerin üzerindedir.



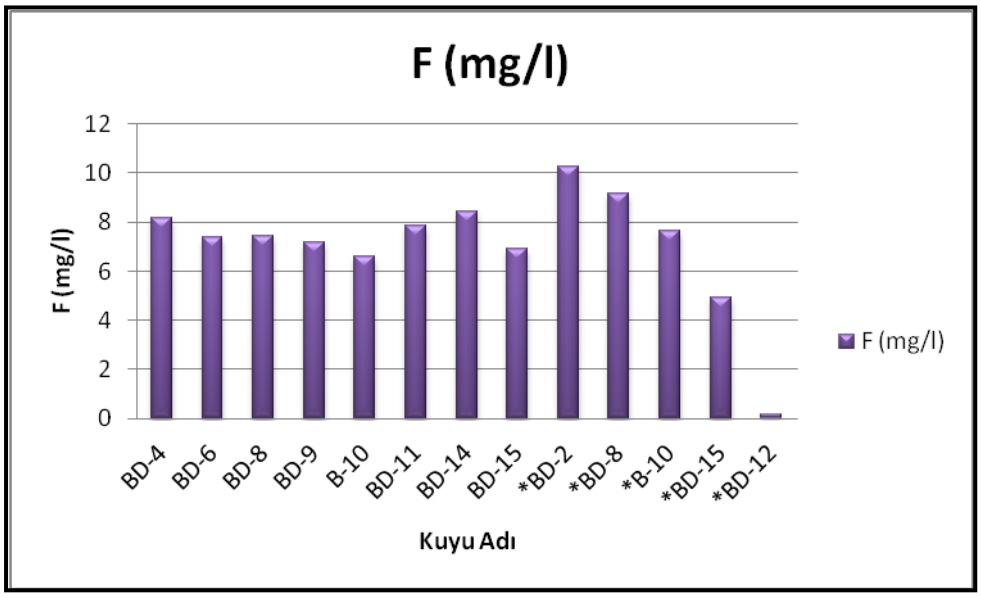
Şekil 4.45. Yağışlı ve kurak mevsim sonu B (mg/l) değerleri

Çizelge 4.35. Bazı tortul kayalarda bor miktarı (Şahinci, 1991a)

Kayaç Adı	ppm	Ortalama ppm
Çamur ve şeyller	25-800	130
Tuzlu çamurlar	230-2500	
Kumtaşı ve kum	5-70	30
Grovak	18-37	35
Kireçtaşı	2-95	20
Silisli kayaçlar (çört, radyolarit)	5-100	
Dolomit	10-400	60 (?)
Fe- kayaçlar	20-200	
Mangan nodülü	350-2000	
Glokonitli kayaçlar	350-2000	

Florür (F): Çalışma alanından alınan su örneklerindeki florür miktarı yağışlı mevsim sonunda en yüksek değer 8.43 mg/l ve en düşük değer 6.58 mg/l olmak üzere, ortalama 7.486 mg/l, kurak mevsim sonunda ise en yüksek 10.27 mg/l (BD-2) ve en düşük 0.17 mg/ll (BD-12 soğuk su örneği) olmak üzere ortalama 6.43 mg/l olarak analiz edilmiştir. Yüksek florür içeriği-düşük kalsiyum içeriği

ilişkilendirmesini doğrular bir şekilde (Şahinci, 1991a), BD-12 soğuk su kuyusundan alınan örneğin en düşük florür içeriğine karşılık, kalsiyum konsantrasyonu 62.35 mg/l ile en yüksek değeri sunmaktadır (Şekil 4.46.).

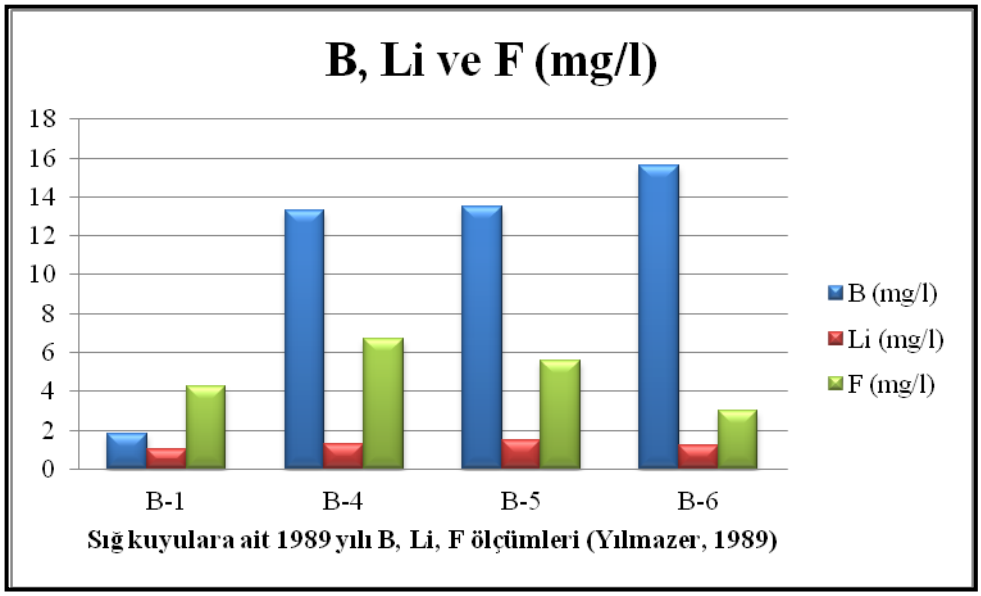


Şekil 4.46. Yağışlı ve kurak mevsim sonu F (mg/l) değerleri

Analiz edilen örneklerin florür konsantrasyonları her ne kadar izin verilebilir limitler içerisinde olmakla birlikte, üst sınıra yakın seyretmektedir ve florür zenginleşmesi söz konusudur.

Yılmazer (1989) doktora çalışmasında, sığ kuyulardan alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına dayanarak, bor miktarının K'ya doğru azaldığını belirtmektedir (Şekil 4.47.).

Arsenik konsantrasyonu açısından B-10, BD-8 kodlu sıcak su kuyularından ve BD-12 kodlu soğuk su kuyusundan alınan örnekler hariç, diğer örneklerdeki As değerleri, her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumundaki sınır değerlerin üzerindedir. Bor konsantrasyonu BD-12 soğuk su kuyusundan alınan örnek hariç (1.96 mg/l), diğer tüm sıcak su örneklerinde izin verilen maksimum konsantrasyonların üzerinde kalmaktadır. Florür konsantrasyonu da BD-12-SS soğuk su örneği dışında (0.17 mg/l), tüm örneklerde izin verilen maksimum konsantrasyonun üzerinde kalmaktadır.

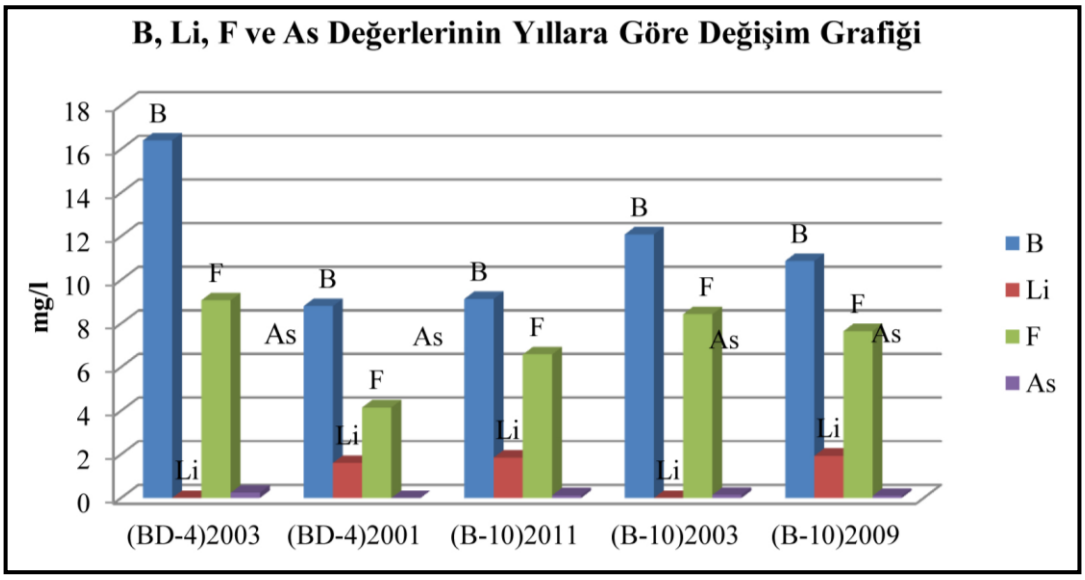


Şekil 4.47. B-1, B-4, B-5 ve B-6 kuyularına ait 1989 yılı B, Li ve F analizi sonuçları

Özellikle yüksek bor ve arsenik konsantrasyonu bu suların sulama suyu olarak kullanımlarının uygun olmadığını işaret etmektedir (Yılmazer, 1989; Şahinci, 1991a; Baba, 2006).

Aşağıdaki grafikte Aksoy (2001), Çakın (2003) ve bu çalışma kapsamında alınan su örneklerine ait analiz sonuçları yer almaktadır (Şekil 4.48.). BD-4 ve B-10 kodlu sıcak su kuyularından her üç çalışma kapsamında da B, Li, F ve As değerlerine ait analiz sonuçları bulunmaktadır. BD-4 kuyusuna ait en yüksek bor değeri 2003 yılındaki analizlerde 16.4 mg/l olarak tespit edilmiştir ancak bu çalışmada aynı kuyudan alınan su örneğinde bor miktarı 11.42 mg/l'dir. B-10 kodlu sıcak su kuyusunda 2003 yılındaki 12.09 mg/l değeri, bu çalışmada yağışlı mevsim sonu ölçümlerde 9.13 mg/l, kurak mevsim sonu ölçümlerde ise 10.87 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Analiz sonuçları daha önceki çalışmalar ile uyum göstermektedir. Tüm bu analizlerin ışığında, çalışma alanındaki sulardan elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının çevre kirliliği açısından önem arz ettiği görülmektedir.



Şekil 4.48. B-10 ve BD-4 kuyularına ait B, Li, F ve As değerlerinin karşılaştırılması

Bölgedeki sıcak sular, yüksek B ve As içeriklerinden dolayı, Balçova Jeotermal Sisteminde yapılan geri basım işlemi daha da önem kazanmaktadır.

4.5.7. İzotop Jeokimyası

İzotop, bir elementin eşit sayıda protona, farklı sayıda nötrona sahip olan atomlarını tanımlamak için kullanılmaktadır. İzotoplar (a)duraylı (O, H, C, S, N elementlerinin izotopları), (b) duraysız (U, Th, Ac ve Np gibi ağır elementlerin izotopları), (c) yapay izotoplar olmak üzere üç ayrı türdür. İzotopların oransal ayrımlaşmalı kümelenmeleri, mantodan yüzeye doğru artar. Bir elementin hafif izotopları, bileşiklerinden ağır izotoplarına göre daha kolay çözünmektedir. Atomun ağırlığı yani kütle sayısı, proton ve nötronlarının toplamı ile ifade edildiği için, aynı atomun farklı izotopları fiziksel ve kimyasal süreçlerde farklı davranışlarda bulunmaktadırlar. İzotopların bu özelliği sonucu, su molekülünü örneklemek gerekir ise; hidrojen ve oksijen atomlarının farklı izotoplarının birbirlerine olan oranları değişim sunmaktadır. Bu durumda, bu değişimin incelenmesi ile herhangi bir suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal şartlar belirlenebilmekte, farklı suların olası karışımlarına da yorum getirilebilmektedir. Yani; yeraltısuyunun izotop analizi ile

akiferde etkili olan fiziksel ve kimyasal süreçler hakkında bilgi edinilebilmektedir. Doğal su molekülünün yapısında bulunan oksijen-18 (^{18}O), döteryum (^{2}H) ve trityum (^{3}H) izotopları hidrojeolojik araştırmalarda kullanılan başlıca izotoplardır. Bu çalışmada da ^{18}O, ^{2}H ve ^{3}H izotopları analizleri ile çalışma alanındaki suyun kökeni ve olası karışımları irdelenmeye çalışılmıştır.

İzotopların derişimlerinin ölçülmesi oldukça pahalı ve güç bir işlem olduğu için, çok gerekli olmadıkça, izotoplarının oranları ölçülmektedir ve bu oranların belirlenmesinde Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından Kuzey Atlantik'ten alınan deniz suyundan hazırlanan V-SMOW (Vienna-Standart Mean Ocean Water) standardı kullanılmaktadır. Doğadaki örnekler ve standart izotop oranı arasındaki farkın oldukça düşük olmasından dolayı; çıkan sapma miktarı 1000 ile çarpılmaktadır. Örneğin $\delta^{18}O$ için kullanılan formül aşağıda verilmektedir:

$$\delta^{18}O=[((\delta^{18}O_{örn} / \delta^{16}O_{örn})-(\delta^{18}O_{std}- \delta^{16}O_{std}))/(\delta^{18}O_{std}- \delta^{16}O_{std})]*1000$$

Yerkürede $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ izotop oranları arasında Craig (1961) tarafından geliştirilen

$$\delta^{2}H = 8*\delta^{18}O + E$$

bağıntısı ile gösterilen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Eşitliğin sağ tarafında kullanılan E sabit sayısı, döteryum fazlalığını ifade etmek için kullanılmaktadır ve yerküre yağışları için ağırlıklı ortalama değeri 10'dur. Yağışa kaynak oluşturan suyun etkilendiği buharlaşma şiddeti arttıkça E değeri de artmaktadır. Yüksek düzeyde buharlaşmaya uğrayan Doğu Akdeniz kaynaklı atmosferik nemden itibaren oluşan yağışlarda E değeri +22, Orta Atlantik nemlerinin karışımından oluşan Akdeniz yağışları için ise +16'dır. Meteorik suların $\delta^{18}O$ değerleri 0 ile -60 ‰, $\delta^{2}H$ değerleri ise +10 ile -400 ‰ arasında değişmektedir. Meteorik suların $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ değerleri bölgenin yıllık ortalama hava sıcaklığına ve bulunduğu enlemine, denizden yüksekliğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık düşüşü; izotop ayrımlaşma faktörüne bağlı olarak doğal suların ağır izotop/hafif izotop oranı

artmakta, enlem ve yükseklik arttıkça da; $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ değerleri düşmektedir (Dangsgaard, 1964; Faure, 1986, Şahinci, 1991b).

İzotopik zenginleşmeden dolayı örneklerin çoğu kıtasal meteorik su çizgisinin etrafında konumlanmıştır. Bu izotopik zenginleşme, su-kayaç ilişkisine bağlı olarak gelişmiş olabilir. Oksijen izotopu zenginleşmesi en yüksek BD-2 ve BD-5 kodlu kuyularda gözlenmektedir. $\delta^{2}H$ izotopu açısından ise; çalışma alanının en kuzeyinde bulunan Koç Oto Yıkama'dan alınan su örneği ve BD-7 kodlu kuyudan alınan su örneğinde görülmektedir. Çalışma alanında yer alan soğuk ve sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait izotop analizi sonuçları Çizelge 4.36.'da verilmektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan sıcak su ve soğuk su örnekleri doğrudan meteorik su çizgisi ile çakışmaktadır ve meteorik kökenlidir.

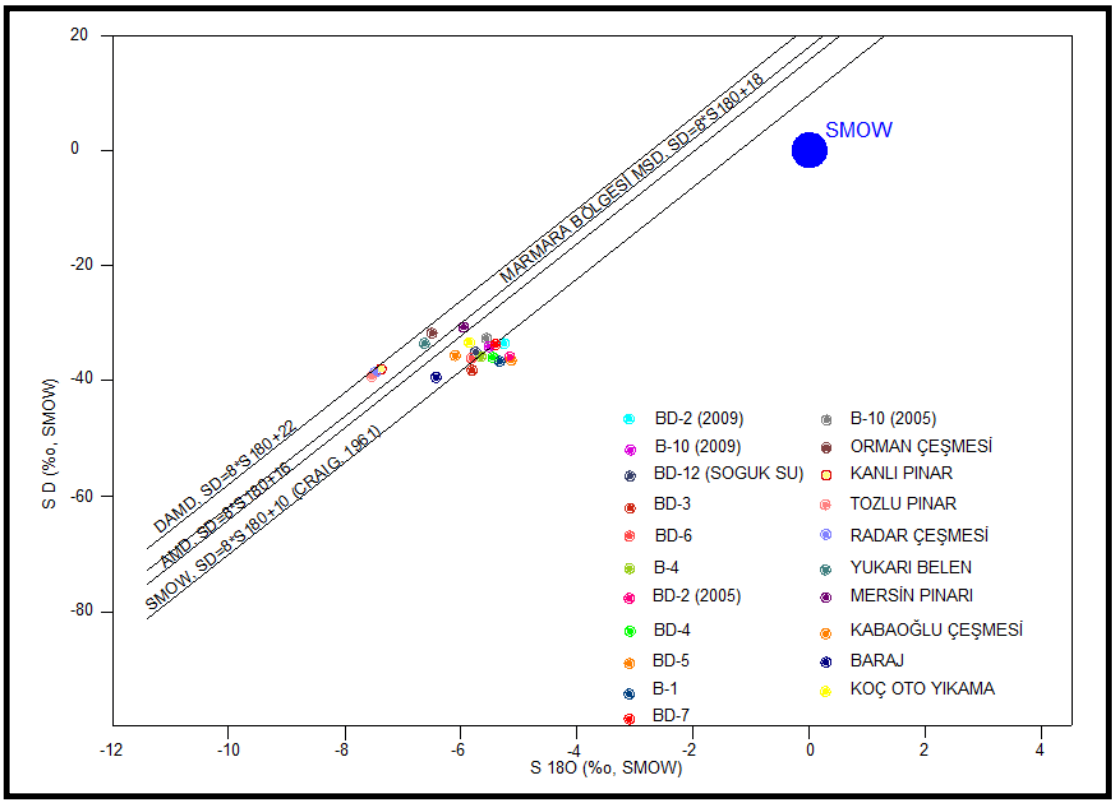
Çizelge 4.36. Çalışma alanı ve çevresinde yer alan soğuk ve sıcak su kaynaklarından alınan sulara ait izotop analiz sonuçları ($\delta^{18}O$, δD ve ^{3}H)

Örnek no	Örnek adı	Tarih	$d^{18}O$	dD	^{3}H	Excess (‰)	Referans
1	**BD-2**	10.10.2009	-5,29	-33,3	<1,0	9,10	Bu çalışma
2	**B-10**	10.10.2009	-5,52	-34,6	<1,1	9,60	Bu çalışma
3	**BD-12 (Soğuk su)**	10.10.2009	-5,73	-35,2	2,5	10,70	Bu çalışma
4	**BD-7**	06.05.2005	-5.4	-33.5	2.10		MTA,2005
5	**BD-3**	06.05.2005	-5.79	-38.03	1.30		MTA,2005
6	**BD-6**	06.05.2005	-5.83	-36.53	0.00		MTA,2005
7	**B-4**	06.05.2005	-5.63	-35.53	1.10		MTA,2005
8	**BD-2**	05.05.2005	-5.17	-36.59	3.00		MTA,2005
9	**BD-4**	05.05.2005	-5.45	-35.29	0.00		MTA,2005
10	**BD-5**	05.05.2005	5.19	-35.65	0.00		MTA,2005
11	**B-1**	05.05.2005	-5.32	-35.56	1.45		MTA,2005
12	**B-10**	05.05.2005	-5.73	-34.87	0.00		MTA,2005
13	**Orman Çeşmesi (Soğuk su)**	09.05.2005	-6.51	-31.59	3.25		MTA,2005
14	**Kanlı Pınar (Soğuk su)**	09.05.2005	-7.41	-37.57	2.95		MTA,2005
15	**Tozlu Pınar (Soğuk su)**	09.05.2005	-7.55	-38.98	3.10		MTA,2005

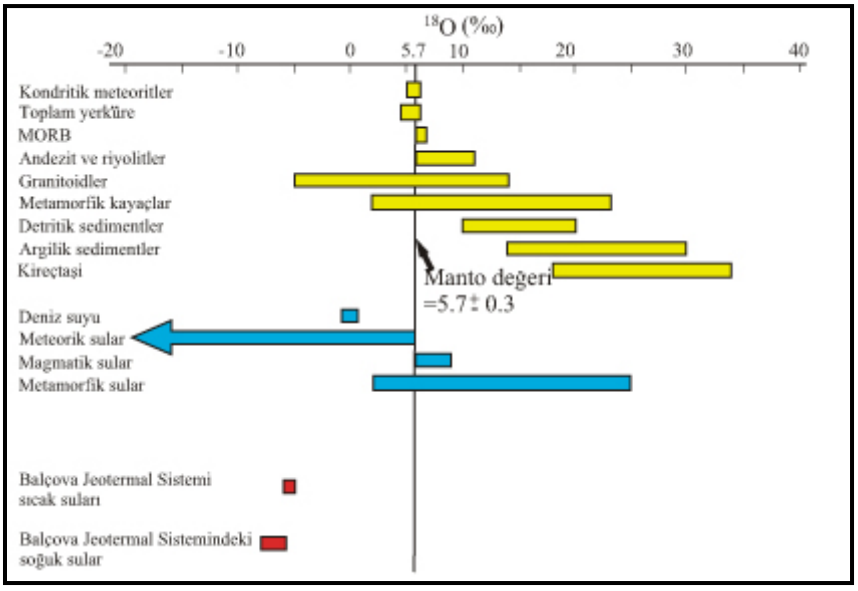
Çizelge 4.16. (devam)

Örnek no	Örnek adı	Tarih	$d^{18}O$	dD	^{3}H	Excess (‰)	Referans
16	**Radar Çeşme (Soğuk su)**	09.05.2005	-7.5	-38.76	4.95		MTA,2005
17	**Yukarıbelen (Soğuk su)**	09.05.2005	-6.65	-33.27	5.60		MTA,2005
18	**Mersin Pınarı (Soğuk su)**	09.05.2005	-5.97	-31.39	3.75		MTA,2005
19	**Kabaoğlu Ç. (Soğuk su)**	09.05.2005	-6.1	-35.8	-		MTA,2005
20	**Baraj (Soğuk su)**	09.05.2005	-6.41	-39.79	4.70		MTA,2005
21	**Koç Oto Yıkama (Soğuk su)**	09.05.2005	-5.82	-33.35	2.85		MTA,2005

Bu analiz sonuçlarına göre hazırlanan ve çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların δD ve $\delta^{18}O$ ilişkisini gösteren grafik (Şekil 4.49.) aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 4.49. Çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan sıcak ve soğuk suların δD ve $\delta^{18}O$ değişim grafiği (Tamgaç vd. 2005'den yararlanılarak)



Şekil 4.50. Çalışma alanı ve yakın çevresinden alınan sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}O$ grafiği (Rollinson, 1993)

Ayrıca $\delta^{18}O$ diyagramı kullanılarak da suların kökeninin meteorik olduğu da belirlenebilmektedir (Rollinson, 1993) (Şekil 4.50.). Çalışma alanından alınan sıcak suların $\delta^{18}O$ değerleri (-5.83) ile (-5.19) arasında, soğuk su örneklerine ait $\delta^{18}O$ değerleri ise (-7.55) ile (-5.82) arasında değişim sunmaktadır.

4.5.8. Jeotermometre Uygulamaları

Balçova Jeotermal Alanı'ndan alınan su örneklerinden elde edilen hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına göre, jeotermometre yöntemlerinden çözünürlüğe ve iyon değişimine bağlı olan jeotermometreler kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında örnek alınan noktalardan 5 adedi re-enjeksiyon kuyusu, 7 adedi üretim kuyusu olarak jeotermal sisteme dahil edilmiş olan sıcak su kuyusu ve 1 adedi de soğuk su kuyusu olarak kullanılan su noktalarıdır. Sonuçlar incelendiğinde; eğer bu (BD-12-SS) soğuk su kuyusundan alınmış olan örneğin verdiği sıcaklıklar dikkate alınacak olur ise; şaşırtıcı bir şekilde Na/K iyon değişimine dayalı jeotermometre hesaplamalarında gerek manuel hesaplanarak hazırlanan, gerek ise Aquachem 3.70 bilgisayar programı ile hesaplanarak hazırlanan tabloda en yüksek

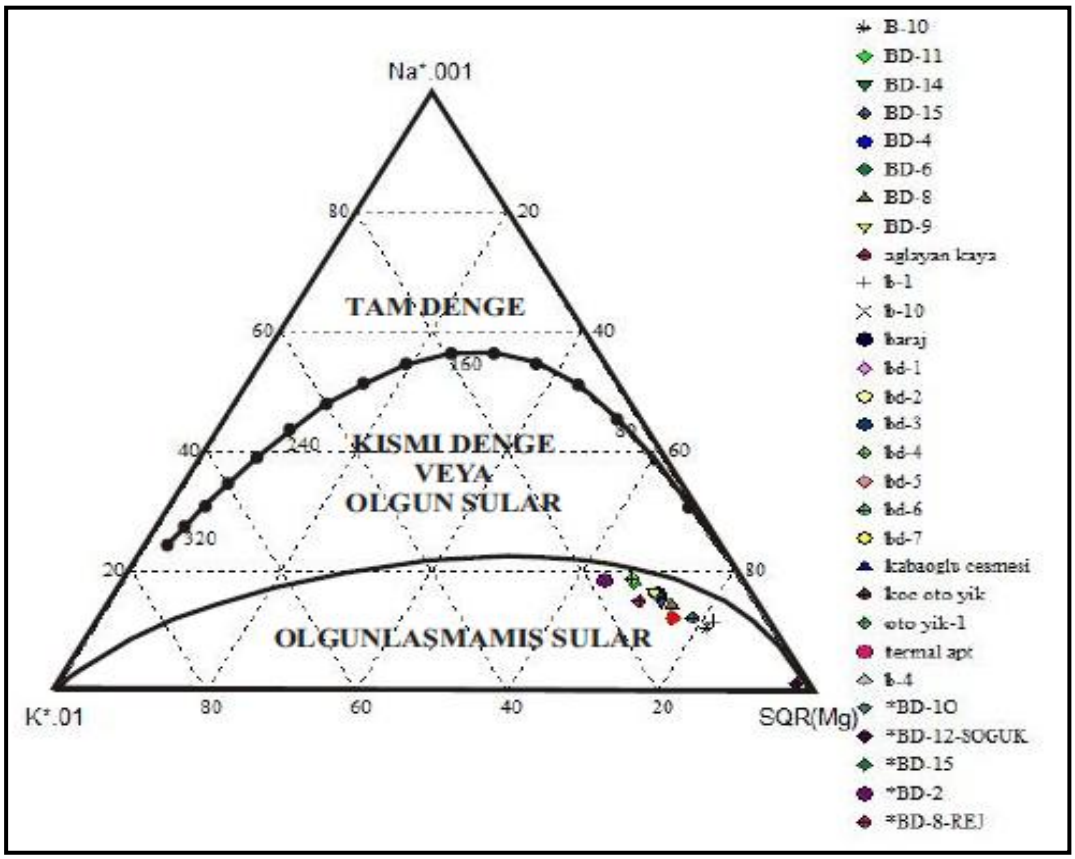
hazne kaya sıcaklığını işaret etmektedir ve Mg/Li ile Na/Li jeotermetrelerinde de tam tersine minimum hazne kaya/rezervuar sıcaklığını vermektedir.

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometre hesaplarında; amorf silis, α ve β kristobalit için kullanılan formüller dışında, tümünde BD-4 adlı üretim kuyusunda alınan su örneği en yüksek, BD-6 adlı üretim kuyusu da en düşük rezervuar sıcaklığını vermektedir. Silis jeotermometre uygulamalarından Si_2O (kalsedon), Si_2O (kuvars), Si_2O (kuvars buhar kaybı) gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Bu jeotermometrelerin hesaplanması sonucu, çalışma alanında rezervuar sıcaklığı olarak maksimum 154.6^0C sıcaklık BD-4 kodlu sıcak su kuyusundan elde edilmiştir.

İyon değişim jeotermometrelerinin uygulanmasında ise; Na-K (Truesdelli 1976), Li-Mg (Kharaka ve Mainer, 1989), Na-K-Ca (Fournier ve Truesdell, 1973), Na-K-Ca (R) (Fournier ve Potter, 1979) gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Bu jeotermometre hesaplamalarından çalışma alanına yönelik elde edilen en yüksek olası rezervuar sıcaklığı 272.6^0C ile BD-8 kodlu sıcak su kuyusunda gözlenmektedir. Na-K-Ca jeotermometre hesaplamalarında düzeltme sıcaklığının negatif çıktığı durumlar göz önünde bulundurularak; bulunan sıcaklık hazne kaya/rezervuar sıcaklığından çıkarılmamıştır. Ancak Na-K-Ca jeotermometre sonuçları, haznede kaynama işlemi başladığında Ca^{+2} iyonlarının kalsit şeklinde çökelmeye geçmesinden dolayı, diğer bir deyişle denge durumu söz konusu olmadığı için, gerçekten daha yüksek değerler vermesi normaldir.

K-Mg jeotermometresinde ön kabul, akışkanın K-feldispat (adularya), K-mika (illit ve muskovit), klorit (klinoklor) ve kalsedon (kuvarsdan biraz daha düşük sıcaklıkta kristalleşen bir silika) ile dengede olduğudur. Bu jeotermometrenin en güvenilir sonuç vereceği tip sular derinlerden gelen klorürlü sulardır. Derin klorürlü suların Mg içeriği 1.0 ppm'den daha az olduğundan, yüzey sularından derin kökenli sulara olabilecek çok az bir Mg eklentisi sonucu, bu jeotermometre uygulaması ile daha soğuk sıcaklık sonuçları elde edilebilir. Çalışılan bölgedeki suların daha çok bikarbonatlı oldukları göz önünde bulundurulur ise, K-Mg jeotermometre sonuçlarına pek önem vermemek daha doğru olacaktır.

Çalışma alanından alınan örneklere ait jeotermometre diyagramı incelendiğinde; bölgedeki suların tam olarak dengeye ulaşmamış, ham sular bölgesinde bulunduğunu görmekteyiz (Şekil 4.51.). Katyon jeotermometreler kullanılarak yapılabilecek rezervuar sıcaklığı tahminlerinin gerçek rezervuar sıcaklığını yansıtamayacağı, dolayısı ile yanıltıcı sonuçlar elde edebileceğimizi söyleyebiliriz (Giggenbach, 1988).



Şekil 4.51. Çalışma alanından alınan örneklere ait Jeotermometre Diyagramı

4.5.9. Doygunluk İndeksi

Suların mineral doygunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri (ΔG^0) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Su içindeki kimyasal bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki şu şekilde yazılabilir (Tarcan, 2002):

$$(\Delta G^0) = -RTlnK$$

R: Gazların sabiti (0.001987 kcal/mol)

T: Sıcaklık (Kelvin)

ln: Doğal logaritma

K: Tepkime sabiti

Kimyasal tepkimelerin serbest enerjilerinin bilinmesi, kimyasal denge sabitleri, çözünmüş iyonların çökelebilme özellikleri, iyon değişimi ve kimyasal bozunum şekillerinin önceden tahmin edilebilmesine yardımcı olur. Standart koşullarda tepkimelerin standart serbest enerji değişim miktarları tepkime sonucu ortaya çıkan maddelerin serbest enerjileri toplamı ($\Sigma\Delta G^0_{ts}$) ile tepkime başlangıcındaki maddelerin serbest enerjileri ($\Sigma\Delta G^0_{tb}$) farkına eşittir (Tarcan, 2002).

Kimyasal tepkimelerde denge durumunun değişmesi ile eşitlik bozularak, tepkimeye girenler ya da çıkanlar yönünde değişmesi söz konusu olacaktır. Bu değişim yönünün tahmin edilmesi mineral doygunluk hesaplamalarının temelidir. Doygunluk indeksi (Dİ), saturation index (SI), log (Q/K) veya log (AP/K) şeklinde ifade edilebilen logaritmik bir kavramdır ve her mineral için sıcaklık ve kısmen basınç ile değişmektedir. Metin içinde ve tabloda doygunluk indeksi gösterimi uluslararası tanımı olan (SI) kullanılarak yapılmıştır.

SI = 0 ise; su ile ilgili mineral dengededir yani doygunluk söz konusudur.
SI>0 ise; su ile ilgili mineralle aşırı doygundur, bu minerali çökeltici özelliktedir.
SI<0 ise; su ilgili mineralce doygun değildir ve bu minerali çözündürücü özelliktedir.

Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi, üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından önem arz etmektedir (Tarcan, 2002).

Çalışma alanından alınan örneklere ait doygunluk indeksleri Solmineq Bilgisayar programı (Kharaka vd., 1988) ile yüzeydeki pH'ları ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak hesaplanmıştır ve bu tabloya göre; kalsit doygunluk indeksi açısından örneklerden

soğuk su kuyusu olan BD-12-SS kodlu kuyuya ait su örneğinde, örnek kalsit minerali açısından denge durumundadır, yani kalsitçe doygundur (Çizelge 4.37.). BD-8, BD-10, BD-14, BD-15, BD-2 ve BD-8 kodlu sıcak su kuyularından alınan su örnekleri ise verdikleri negatif değer itibariyle; sularının kalsitçe doygun olmadığını ve kalsiti çözündürücü etkileri olduğunu ifade etmektedir. BD-4, B-6, BD-9, BD-11 ve B-10 kodlu sıcak su kuyularından alınan örnekler ise verdikleri pozitif değerler itibariyle; sularının kalsit mineralince aşırı derecede doygun olduklarını ve kalsiti çökeltici özellikte olduklarını ifade etmektedir.

Çizelge 4.37. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait doygunluk indeksleri.

Örnek no	**Örnek adı**	**Alındığı tarih**	**SI_c**	**SI_d**	**SI_q**	**Olası reaksiyon**
1	BD-4	19.02.2011	0.001	1.726	---	**Kalsit ve dolomit çökelimi**
2	BD-6	19.02.2011	0.002	2.023	0.232	**Kalsit, dolomit ve kuvars çökelimi**
3	BD-8	19.02.2011	-0.009	1.073	0.933	**Kalsit çözünmesi, dolomit ve kuvars çökelimi**
4	BD-9	19.02.2011	0.001	1.814	0.214	**Kalsit, kuvars ve dolomit çökelimi**
5	B-10	19.02.2011	-0.367	0.000	0.451	**Kalsit çözünmesi, kuvars ve dolomit çökelimi**
6	BD-11	19.02.2011	0.044	3.984	0.227	**Kalsit, kuvars ve dolomit çökelimi**
7	BD-14	19.02.2011	-0.044	1.544	0.380	**Kalsit çözünmesi, dolomit ve kuvars çökelimi**
8	BD-15	19.02.2011	-0.020	1.071	0.916	**Kalsit çözünmesi, dolomit ve kuvars çökelimi**
9	BD-2	10.10.2009	-0.045	1.191	0.339	**Kalsit çözünmesi, dolomit ve kuvars çökelimi**
10	BD-8	10.10.2009	-0.022	0.814	0.853	**Kalsit çözünmesi, kuvars ve dolomit çökelimi**
11	B-10	10.10.2009	0.046	1.518	0.407	**Kalsit, kuvars ve dolomit çökelimi**

Çizelge 4.17. (devam)

Örnek no	Örnek adı	Alındığı tarih	SI_c	SI_d	SI_q	Olası reaksiyon
12	BD-15	10.10.2009	-0.001	0.898	0.919	**Kalsit çözünmesi, kuvars ve dolomit çökelimi**
13	BD-12	10.10.2009	0	0.876	0.305	**Kalsit dengesi, kuvars ve dolomit çökelimi**

Kalsit, aragonit gibi kalsiyum karbonatlı mineraller tüm soğuk sularda doygunluk üstü değerler verirler. Karbonatlardan türeyen yeraltı suları için bu olağan bir sonuçtur. BD-4 kodlu kuyuya ait (---) ile verilen SIq değeri hesaplanamamıştır.

Dolomit minerali açısından ise; tüm örnek alınan sular doygunluk üzeri değerler vermektedir, yani çalışma alanındaki sıcak sular dolomit minerali açısından doygundur. Dolomit mineralinin en önemli kaynağının magnezyumca zengin kireçtaşları olduğu düşünülür ise, bu kuyulardaki su örneklerinin daha çok magnezyumca zengin kireçtaşlarından geldiğini söylemek mümkündür.

Çalışma alanındaki sıcak suların bu özelliğinden dolayı, jeotermal ısıtma sisteminden sorumlu kurum, kabuk yapıcı özelliği önlemek amacı ile jeotermal suya kimyasal (inhibitör) eklemektedir.

4.6. Jeotermal Sistemin Isı Kaynağı

Batı Anadolu'nun genleşme tektoniğine maruz kaldığı süreçte, yükselerek aşınan Mendere Masifi ve gelişen grabenler ile bölgenin genişlemesi kıtasal kabukta bir incelmeye neden olmuştur (Akyol vd., 2006). Bu durumda, kıtasal kabuktaki bu incelme, ana ısı kaynağına yaklaşım sonucu jeotermal gradyanı yükseltmelidir. Koçak vd., (2004), Curie noktası eş-sıcak derinliği haritası çalışmasında, Batı Anadolu'da bunun doğrulandığını ve en yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanların bu bölgede bulunduğunu belirtmektedir. Çalışma alanında da, Miyosen boyunca Batı

Anadolu'da ve Ege Denizi'nin doğusunda hakim olan kalkalkalin-volkanizma ile (Özgenç, 1978; Koçak vd., 2004) Pliyosen sonu ve Kuvaterner başlarındaki volkanik faaliyetler sonucu, çalışma alanının güneyinde yüzlek veren Cumaovası Volkanikleri ile bağlantılı, aynı zamanda graben oluşumuna bağlı kıtasal kabuk incelmesinden kaynaklanan bir gradyan yükselimi sözkonusudur. Yeryüzüne düşen yağış suları, kabuk incelmesi ve daha derinlerdeki ısı kaynağına yaklaşmaları ile kimyasal değişime uğrayarak zayıflık zonları boyunca yukarıya doğru yükselmektedir.

4.7. Balçova Jeotermal Sahasının Hidrojeolojik Modeli

Balçova Jeotermal Sistemi hemen hemen ülkemizdeki jeotermal sahalar içerisinde en fazla irdelenen sahalardan birisi olması özelliği ile şimdiye kadar geliştirilmiş olan model önerileri bulunmaktadır.

Yılmazer (1989)'e göre; Balçova Jeotermal Sistemi'nde yağış suları yüzeydeki kırık ve çatlaklardan kayaların içlerine doğru süzülür. Bu süzülmeler kırıklardan ve volkanik kayaların çatlaklarından daha derinlere doğru magma rezervuarına yakınlaşarak ısınmaya başlarlar. Balçova Jeotermal Sistemi'nde örtü kaya olmadığını kabul eden araştırmacıya göre, ısınan ve kimyasal yapısı değişen sular fay gibi zayıflık zonları boyunca alüvyon içlerine kadar yükselerek yayılmaktadır. Araştırmacı, bir kısım sıcak suların filişin veya derinde olabilecek olan mermerlerin kırık ve çatlaklarında depolandığını öne sürmektedir ve filişin içerisindeki fillitlerin örtü kaya görevi görebileceğini ifade etmektedir.

Serpen (2003), Balçova'da birkaç fay hattından oluşan kırık sistemi ile bölgesel tektoniğin KB-K-KD yönlü geçirimli hatlar yarattığından bahsetmektedir. Araştırmacı; Balçova Jeotermal Sisteminin Agamemnon Fayına bağlı olarak 2 km'lik bir çatlak zonu boyunca, yüzeye yakın seviyelerde neredeyse kaynama sıcaklığına ulaşan sıcak suların bulunduğu bir çatlak zon sistemi olarak ifade etmektedir. Sıcak suların, yüzeyden aşağıya doğru 100 m'lik seviyedeki alüvyon tabakasından ve daha derindeki 400-700 m arasında değişen derinliklerde bulunan, daha geçirgen olan ve

tabakaları çok da iyi tanımlanmamış olan filiş formasyonundan deşarj olduğunu belirtmektedir.

Balçova Jeotermal Sahası'ndan alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait izotop analizlerinin gösterdiği gibi, sistemde dolaşan sıcak sular meteorik kökenlidir ve Agamemnon-1 Fayı'nın düşen bloğundaki Kuvaterner yaşlı alüvyon ve alüvyon yelpazesinde açılmış olan delgiler ile elde edilen jeotermal akışkan, fayın yükselen bloğuna düşen meteorik yağışlar yolu ile beslenmektedir. Yükselen bloğa düşen meteorik yağışlar, İzmir Filişi'nin kırık ve çatlaklı yapısı sayesinde derinlere süzülmekte, horst-graben yapısından dolayı meydana gelen kıtasal kabuk incelmesine bağlı olarak, derinlerdeki magma sayesinde ısısı yükselmektedir. Sıcaklığı artan akışkan; bölgedeki faylar, kırık ve çatlak sistemleri boyunca kendini yüzeylemektedir. Bu dolaşım sırasında sular derinlerde ısıtılmış kayaçlar ile reaksiyona girdiği için, sıcak su-yan kayaç etkileşimine bağlı olarak, sıcak sular ve içerisinde dolanım halinde oldukları kayaçlar bir takım hidrojeokimyasal reaksiyonlara uğramaktadır. Uçucu olan magma kaynaklı CO_2, SO_2, HCl, H_2S, HB, HF ve He gaz fazında yukarıya doğru yükselerek sıcak su rezervuarına erişmektedirler (Özgür vd., 2005). Bu yükselim esnasında kayaçlar, gazlar ve sular arasında bir denge kalibrasyonu oluşmaktadır. Daha sonra yukarılara doğru çıkan akışkanlar daha çok CO_2, H_2S ve HCl içermektedir. Hidrotermal konveksiyon (ısı yayılması) ile ısıtılmış suların azalan yoğunlukları nedeni ile yukarıya çıkışını sağlamaktadır. Böylece tektonik zayıflık zonlarında pH nötral karakterli, yüzeyde gaz ve buharla birlikte sıcak su kaynakları olarak çıkmaktadır.

Balçova Jeotermal Sistemi'nde kayaç su denge kalibrasyonu sonrasında yukarıya yükselen sular bikarbonat çözelti şeklindedir. Magmadan yükselen CO_2 ve H_2S gibi uçucular, uzun dokanak süresince, su-kayaç tepkimelerine bağlı olarak nötral bir ortam yaratır (Özgür vd., 2005). Bikarbonat ve bikarbonat sülfat çözeltileri oluşur. Na başlıca katyondur zira $CaCO_3$ sıcak sularda fazla çözünmez ve K ile Mg killer tarafından bünyelerine alınmaktadır (Şahinci, 1991b). Yüzeye yakın kesimlerde oluşan bikarbonatlı sular zayıflık zonları olan faylar ve kırık hatları boyunca yükselirler.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Balçova ilçesi sınırları içerisinde gerçekleştirilen bu çalışmada ilgili sınırları kapsayan 1/25000 ölçekli jeoloji haritası, önceki çalışmalardan da yararlanarak hazırlanmıştır. Buna göre; bölgede Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi, Tersiyer yaşlı Yeniköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Cumaovası Volkanitleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu birimleri ayırtlanmıştır. Tüm birimler birbirlerini uyumsuz bir şekilde üzerlemektedir.

Bölge tektonik açıdan Batı Anadolu tektoniği içerisinde yeralmaktadır. Batı Anadolu'da batıdan doğuya Menderes Masifi, İzmir-Ankara Zonu ve Karaburun kuşağı olarak üç tektonik kuşak bulunmaktadır (Erdoğan, 1990). Çalışma alanı da Menderes Masifi üzerine bindirmiş olan İzmir-Ankara Zonu içerisinde yer almaktadır. Orta Miyosenden itibaren hakim olan genleşme yada gerilme tektoniğinin etkisi sonucu, Gediz ve Menderes Grabenleri ve İzmir Körfezi şekillenmiştir. İzmir Körfezi'ni güneyde sınırlayan İzmir Fayı'nın batı segmentini çalışma alanında D-B uzanımlı olarak gözlenen ve jeotermal suların ana taşıyıcı hattı olarak kabul edilen Agamemnon–1 Fayı oluşturmaktadır (Barka, 2000). Yapısal açıdan tektonik kontrollü olan çalışma alanı için bu fay oldukça önemlidir.

Çalışma alanında en yaygın gözlenen İzmir Filişi birimi metakumtaşı, fillit, kireçtaşı mercekleri, radyolarit ardalanması ve denizaltı volkanizması türevlerinden oluşmuştur. Genel anlamda geçirimsiz üyelerden oluşsa da, İzmir Filişi içerisindeki kumtaşları kırık ve çatlaklı yapılarından dolayı geçirimlidir. Bunda fay zonları boyunca kazandığı ikincil permeabilite de etkendir. Yeniköy Formasyonu, kil içeriğinden dolayı geçirgenlik açısından zayıftır. Cumaovası Volkanikleri ise mevsimsel yağışlara bağlı olarak su içerebilir. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve alüvyon yelpazesi ise geçirgenlik olarak su eldesi için elverişlidir, zira çalışma alanında açılan sığ kuyuların hepsi bu birimlerde bulunmaktadır.

İzmir Güzelyalı Meteoroloji İstasyonu verileri ile hazırlanan çalışma alanına ait Thornthwaite Yöntemi kullanılarak hazırlanan buharlaşma-terleme bilançosuna göre;

toplam yıllık yağış miktarı 864.64 mm, potansiyel buharlaşma (düzeltilmiş değeri ile) 971.96 mm ve gerçek buharlaşma 395.38 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 36 yıllık yağış değerlerinin ortalaması 864.64 mm olarak hesaplanmıştır.

Balçova Jeotermal Sahası'nda bulunan sıcak ve soğuk su noktalarında değişik zamanlarda alınan toplam 30 adet örneğe ait in-situ ve laboratuar analizleri değerlendirilmiştir. Bu analizler Piper diyagramında irdelendiğinde Balçova Jeotermal Sahası'nda 8 farklı tip su olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında alınan örneklerin hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde tüm sıcak su kuyularının su tipinin Na-HCO_3-Cl olduğu belirlenmiştir. BD-12-SS kodlu soğuk su kuyusundan alınan su örneği Ca-Na-Mg-HCO_3, B-1 sıcak su kuyusundan alınan su örneği Na-HCO_3-Cl-SO_4, çalışma alanının güneyinde kalan Balçova Cengiz Saran Barajı'ndan alınan su örneği Ca-Mg-HCO_3 ve Ağlayan Kaya'dan alınan su örneği ise Mg-Ca-HCO_3-CO_3 tipindedir. Ağlayan Kaya'nın Mg^{+2} miktarının yüksek oluşu, Mg^{+2}'ca zengin yeraltı suları karışımını ya da etkileşimde olduğu kayaçlardan akışkan-kayaç ilişkisi sonucu yıkanarak zenginleştiği için olabilir.

Su örnekleri ABD Tuzluluk diyagramında çok yüksek sodyum içerikli, yüksek tuzlu su tipini tarifleyen C_3-S_4 sınıfında oldukları tespit edilmiştir.

Çözünürlüğü sıcaklık ile ters orantılı olan Mg^{+2}, çalışma alanından alınan örneklerden soğuk su (sıcaklığı düşük olan) örneklerine ait olan analizlerde daha yüksektir. Mg^{+2} sıcak sularda düşük olması ise bu alan için alterasyon mineralleri olarak gözlenen illit, montmorillonit ve kloritin yapısına katılmış olması ihtimalinden kaynaklanabilir.

Na^+ ve K^+ katyonu açısından Na/K sıcaklıkla kontrol edilen bir orandır ve bu oranın yüksek oluşu sistemde soğumaya işaret edebilir.

Ca^{+2} doğal sulardaki varlığı suların etkileşimde olduğu karbonatlı minerallerden kaynaklanabilir. Bu kaynaklar kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit ile halit grubu minerallerinden olan florittir. Ayrıca yapısında bulunduğu plajioklaslar, piroksenler

ve amfiboller de Ca^{+2} kaynağı olarak davranabilirler. Silikat grubu minerallerinden montmorillonit ve prehnit ile jipsin de yapısında bulunmaktadır.

Ayrıca çalışma alanında gözlenen bir magnezyum sülfat olan heksahidrit [$MgSO_4.6(H_2O)$] minerali beyaz renkli, pudra şeklinde bir yapı sunmaktadır. Ağızda acı bir tad vermektedir ve bölgede iki farklı şekilde gözlenmiştir. 1) Baraj yolu üzerindeki yol yarmasında 2) Çalışma alanının KD'sinde yamaç molozu içerisinde (-4.50 m) kotunda.

Çalışma alanındaki suların doygunluk indekslerine bakıldığında, sıcak su örneklerinin hepsi kuvars minerali açısından doygunluk üzeri değerler vermektedir. Bu da kuvars mineralinin çökelme eğilimde olduğunu göstermektedir. Kuvars çökeliminin jeotermal taşıyıcı hatlarda kabuklaşmaya yol açmaması açısından jeotermal suya kimyasal bir madde olan fosfonat kökenli fosforik asit (H_3PO_4) inhibitör olarak eklenmektedir. Sıcak suyun o anki debisine bağlı olarak bu miktar 1.2-2 ppm arasında değişmektedir.

Dolomit ve kalsit de doygunluk üzeri değerler vermekle birlikte, BD-8, B-10, BD-14, BD-15, BD-2 kodlu kuyulardan alınan örnekler doygunluk altı değerler vermektedir. Kalsit, aragonit gibi kalsiyum karbonatlı mineraller tüm soğuk sularda doygunluk üstü değerler verirler. Karbonatlardan türeyen yer altı suları için bu olağan bir sonuçtur. Çalışma alanındaki su örneklerinin doygunluk indeksleri de bunu desteklemektedir. Hidrotermal alterasyon mineralleri ile belirlenen alterasyon zonları önceki çalışmalar ile uyum göstermektedir.

Stronsiyumun varlığı aragonitteki Ca^{+2} ile yer değiştirme özelliğinin bir sonucu olabilir. Diyajenez sırasında aragonit kalsite (duraylı polimorfa) dönüşürse; Sr^{+2} su içerisinde serbest kalır (Hounslow, 1995).

Sıcak suların hidrojeokimyası değişir iken, yan kayaçta da bir takım alterasyonlar, yeni mineral oluşumları gözlenmektedir. Burada da gözlenen kil minerallerinin başlıca oluşum sebebi budur. Tabakalı silikat gurubu minerallerinden olan illit

minerali [(KAl)(Si_3AlO_{10}).$(OH)_2$], şeyllerde ve çamur kayalarında oldukça yaygın rastlanan bir kil minerali olmasının yanı sıra; sedimentlerde ve kireçtaşlarında da mevcuttur (Deer vd., 1966). Pek çok laboratuar deneyi illit mineralinin gerek alterasyon minerali olarak gerekse sedimenter ortamlardaki varlığının, ortamın alkalinitesini ve yüksek alüminyum ve potasyum konsantrasyonlarını ifade ettiğini göstermektedir (Deer vd., 1966). Ayrıca 160^0C'den yüksek jeotermal sıcaklıklarda yaygın olarak gözlenmektedir (Ji vd., 2000). Bu sahada da değişik seviyelerden alınan sondaj kırıntı örneklerinde illit mineraline rastlanmaktadır.

Karbonat grubu minerallerinden dolomit minerali [$CaMg(CO_3)$] bu çalışma kapsamında yapılan XRD analizlerinde sadece 830 m derinliğe sahip, 102^0C sıcaklıktaki BD-12 kodlu sıcak su kuyusunun ana rezervuara girildiği 768. metresinde görülmekte, tüm diğer kırıntı analizlerinde ankerit olarak yer almaktadır. Bunu da dolomit bünyesinde bulunan magnezyumun artı iki değerlikli demir (Fe^{+2}) ya da manganez (Mn^{+2}) ile diadohi reaksiyonu sonucu olarak yorumlamak mümkündür. Bu durumda dolomitten farklı olarak ankerit varlığı bulunduğu ortamın mıknatıs özelliğinin artmasını sağlayabilir.

Çalışma alanındaki sıcak sulara yeraltı suyu karışımı/soğuma söz konusu olduğu ihtimali de bulunmaktadır. BD-9 kuyu bitirme raporundaki kimyasal analizlerde Ca^{+}26.0 mg/l, Mg^{+2} 1.9 mg/l ve K^{+} 59.6 mg/l iken bu çalışmadaki ölçüm değerleri Ca^{+2} 14.2 mg/l, Mg^{+2} 3.22 mg/l ve K^{+} 30. 89 mg/l'dir. Ayrıca TDS oranı da BD-9 kuyu bitirme raporunda 972.1 mg/l iken bu çalışmada 1568 mg/l olarak ölçülmüştür. Kalsiyum katyonunun artışı karbonatlı kayaçlar ile sıcak akışkan arasındaki etkileşime bağlı olarak kalsit çökelmesi şeklinde yorumlanabilir. Zira bu kuyu için kalsit doygunluk indeksi (SI) +0.001 olarak hesaplanmıştır. Mg katyonundaki artış ise muhtemelen dolomitlerin bünyesinde bulunan kalsiyum katyonunun serbest kalması sonucudur.

Çalışma alanından alınan su örneklerine uygulanan iyon değişimine dayalı jeotermometrelerde hesaplanan en yüksek olası rezervuar sıcaklığı, 272.6^0C ile BD-8

kodlu sıcak su kuyusundan elde edilmiştir. Örnek alım sıcaklığı ise 63.8^{0}C olarak ölçülmüştür. Silis jeotermometrelerle yapılan hesaplamalarda ise; en yüksek sıcaklık 154.6^{0}C ile BD-4 kodlu sıcak su kuyusundan elde edilmiştir. Bu kuyudan alınan örneğe ait ölçülen sıcaklık ise 128^{0}C olarak kaydedilmiştir. Bu durumda sahanın soğuması söz konusu olabilir. Bu durum jeokimyasal analiz sonuçları ile de uyum göstermektedir.

Ayrıca hidrojeokimyasal analizlerdeki Na/K oranları da BD-4, BD-6, BD-8, BD-9, BD-11, BD-14 ve BD-15 kodlu sıkça su kuyularından alınan örneklerde ortalama 12.894 oranındadır ve bu kuyular, çizgisel bir şekilde, sıcak su için ana taşıyıcı hat kabul edilen Agamemnon-1 Fayını kesen kuyulardır. Bu bölge yükselim zonu olarak yorumlanabilir.

Çalışma alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait ağır metal ve toksik element analizlerine göre; kil minerallerinin bünyesinde de bulunan lityum elementindeki yağışlı mevsim sonrasındaki artış, yüzey sularının da etkisi ile kil minerallerinden yıkanarak zenginleşmektedir. Kurşun, çinko ve manganez değerleri ölçüm limitlerinin altındadır ve her bir element için belirlenen sulama sularına ait izin verilebilir konsantrasyon limitinin de altında bir değerde olduklarından, herhangi bir tehlike unsuru yaratmamaktadırlar.

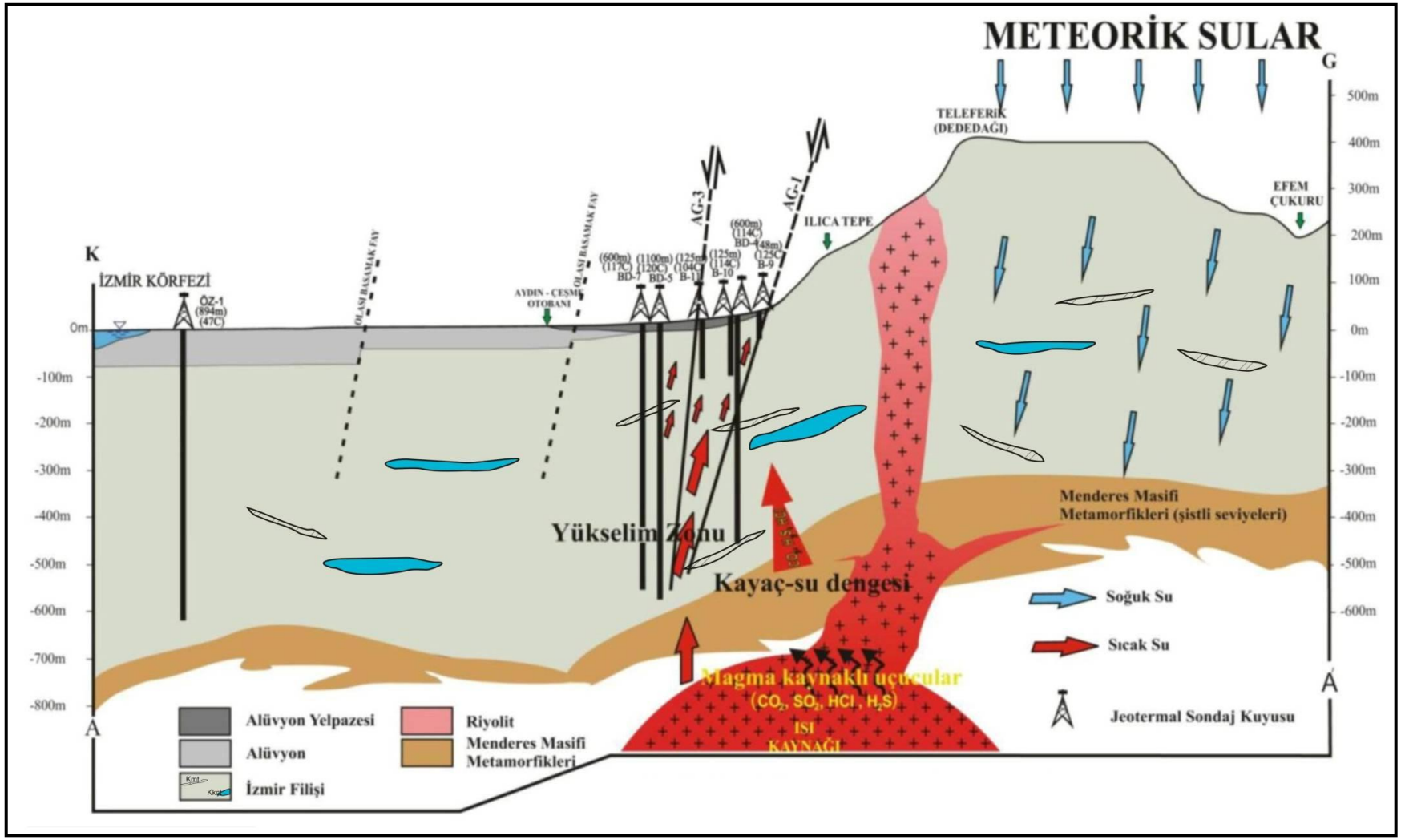
Arsenik değerleri, bu çalışma kapsamında alınan örneklerde 0.05-0.19 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer BD-11 kodlu kuyuya ait analiz sonuçlarında (0.19 mg/l), en düşük değer ise sıcak su noktalarından BD-8 ve BD-15 (0.05 mg/l) kodlu kuyulara ait analiz sonuçlarında gözlenmektedir ve sulama sularına ait izin verilebilir arsenik konsantrasyonunun altında bir değerdedir. Ayrıca soğuk su örneği olarak da BD-12SS kodlu örnekte arsenik değerleri ölçüm limitlerinin altında kalmaktadır.

Bor değerleri, 1.96-12.54 mg/l arasında değişim sunmaktadır. En yüksek bor değeri BD-14 kodlu sıcak su kuyusuna ait analizde (12.54 mg/l), en düşük değer ise BD-15 kodlu sıcak su kuyusuna ait analizde (9.25 mg/l) izlenmektedir. Bir soğuk su örneği olan BD-12-SS kodlu örnek ise en düşük bor değerini (1.96 mg/l) sunmaktadır.

Florür değerleri, 0.17-10.27 mg/l arasındadır. En yüksek florür konsantrasyonu BD-2 kodlu sıcak su örneğinde (10.27 mg/l), en düşük değer ise BD-15 kodlu sıcak su örneğinde (4.92 mg/l) gözlenmektedir. BD-12SS kodlu örnek florür açısından da en düşük konsantrasyona sahiptir.

Çalışma alanında bulunan sıcak sulardaki yüksek bor ve arsenik değerleri, yaratacakları çevresel etkiler açısından dikkate alınmalıdır.

Balçova Jeotermal Sistemi'nde, pek çok jeotermal sistemde gördüğümüz yüksek permeabiliteye sahip bir rezervuar kayaç tipi bulunmamaktadır. Burada hidrojeolojik ve jeotermal döngü şöyle açıklanabilir: Balçova ilçesi güneyindeki topoğrafik açıdan daha yüksek bölgelere düşen meteorik yağışlar filiş biriminin kırıklı çatlaklı yapılarından yeraltına süzülerek, daha derinlerde Batı Anadolu'da hakim olan gerilme tektoniğine bağlı magma faaliyetlerince sıcaklıklarında artış sağlanır (Şekil 5.1.). İlksel olarak geçirimsiz bir birim olan İzmir Filişi, bölgede etkin olan fay zonları boyunca hidrotermal alterasyonun da etkisi ile ikincil permeabilite özelliği kazanmaktadır.



Şekil 5.1. Balçova Jeotermal Sistemi'nin Hidrojeolojik Oluşum Modeli

Böylelikle saha için ana üretim zonu kabul edilen D-B uzanımlı Agamemnon-1 Fayı, sahadaki diğer kırık hatlarını oluşturan Agamemnon-2 ve Agamemnon-3 Fayları ile Agamemnon-1 Fayına paralel kabul edilen diğer olası faylar boyunca konveksiyon akımlarla ısınarak yükselmektedirler. Bu sıcak sular yapılan derin delgiler ile yeraltından çekilerek ısı merkezine iletilmektedir. Isı merkezine gelen sıcak akışkanın ısısı eşanjör sistemi ile şehir şebeke suyuna aktarılarak merkezi ısıtma amacı ile kullanılmak üzere kapalı alanlara (konut, hastane, işyeri, vb) pompalanmaktadır.

Tüm jeotermal sistemlerde, rezervuarın iç dengesini sağlamak, sahanın geleceğini korumak açısından re-enjeksiyon işlemi önemlidir. Balçova Jeotermal Sistemi'nde de re-enjeksiyon işlemi sürdürülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Akartuna, M., 1962. İzmir-Torbalı ve Seferihisar Bölgesi'nin jeolojisi. MTA Dergisi 59, MTA Rapor No: 2624, 1-16. Ankara.

Akkay, S. E., Kıvanç, M., 2009. Termofil bakteriler; sıcak su kaynaklarında yaşayan gram negatif basillerin izolasyon ve identifikasyon yöntemleri. Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi. TR. 7, 1, 01-23.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A.,Tekin, Zeki., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri. Envanter Serisi–201. MTA. 849s. Ankara.

Aksoy, N., 2001. Balçova-Narlıdere Jeotermal Sistemi'nin izleyiciler ile incelenmesi (Doktora tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 231s. İzmir.

Aksoy, N., 2005. Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahası Rezervuar Gözlemleri: 2000-2005. Jeotermal Enerji Seminer Kitabı.TMMOB. 447s. İzmir.

Aksoy, N., Serpen, Ü., 2005. Re-injection Management in Balçova Geothermal Field. Proceedings World Geothermal Congress 2005. Antalya.

Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H., Kekovalı, K., 2006. Crustal structure and local seismicity in Western Anatolia. Geophysical Journal International, 166, issue 3, 1259-1269.

Alacalı, M., 2002. Geological assessment of the Te Puia Thermal Area, East Cost, (Project for Diploma in Geothermal Energy Technology), The University of Auckland Geothermal Institute, 33p. 2002. New Zealand.

Alacalı, M. 2006. Balçova Jeotermal Sahası'nın Hidrotermal Alterasyon Verilerinin Değerlendirilmesi, DEÜ Fen Bilimleri Esntitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s. İzmir.

Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 567-577.

Baba, A., Ármannson, H., 2006. Enviromental impact of the utilization of geothermal areas. Energy Sources, Part B, 1, 267-278, 2006.

Barka, A., Relienger, R, Emre, Ö., 2000. Orta Batı Anadolu transform/ridge/transform üçlü eklemi, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler, s. 39. İzmir.

Baykal, A., 2005. Kil mineralleri ders notları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 64s. İzmir.

Bentz, P. F., 1959. Mobil Exploration Mediterranean Şirketi. Filiş ve Molas Terimleri ve Bunların Kullanılışı. Türkiye Petrol Jeologları Birliği Yemekli Toplantı Notları. 05.03.1959, s. 34-56.

Bertani, R., 2010. Geothermal power generation in the World 2005-2010 update report. Proceedings World Geothermal Congress, pp. 1-41. 2010.

Bingöl, E., 1976. Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. MTA Dergisi, 86, 14-34. Ankara.

Borsi, S., Ferrera, G., Innocenti, F., Mazzuoli, R., 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island). Bulletin of Volcanology, 36, 3, 473-496.

Browne, P.R.L., 1978. Hydrothermal alteration in active geothermal fields. Ann. Rev. Earth Planet Sci. 6, 228-250.

Browne, P.R.L., Ellis, A.J., 1970. The Ohaaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: Mineralogy and related chemistry, American Journal of Science, 269, 97-131.

Browne, P.R.L., 2002. Hydrothermal alteration, Geotherm 611 Lecture Notes, The University of Auckland Geothermal Institute, 70p. New Zealand.

Calmbach, L. ve Waterloo Hydrogeologic, 1998-1999. Aqueous geochemical data analysis, plotting and modeling, users guide, 198p. Waterloo Hydrogeologic, Inc.

Camgöz, B., Saç, M. M., Bolca, M., Özen, F., Oruç, Ö. E., Demirel, N., 2010. Termal suların radyoaktivite ve kimyasal içeriklerinin incelenmesi; İzmir, Seferihisar Bölgesi örneği. Ekoloji 19,76, 78-87.

Collins, A.G., 1975. Geochemistry of oil-field waters. Elsevier, 125p. New York.

Çakın, A., 2003. Enviromentol Effects of Geothermal Applications. Case Study: Balçova geothemal Field. Master Thesis. Enviromental Engineering. İzmir Institute of Technology, 122p. İzmir.

Çakın, A., Gökçen, G., Eroğlu, A., 2005. Jeotermal uygulamaların çevresel etkileri: Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Örneği, MMO Jeotermal Enerji Semineri Bildirileri, s. 345-357.

Çetiner, L., Pekatan, R., Taşkıran, A., İldem F., 2000. İzmir-Güzelbahçe ve Gülbahçe jeotermal enerji arama projesi final raporu. JT: 183. MTA Ege Bölge Müdürlüğü, s. 1-16. İzmir.

Çetiner, L., 2004. İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, Yayınlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi, 38s. Ankara.

Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16, pp. 436-469.

Deer, W.A., Howie, R.A., & Zussman, J., 1966. An introduction to the rock forming minerals. Longman Group Limited, 528p. London.

Deniz, O., 2010. Çanakkale Çan çevresindeki jeotermal sistemlerin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 252s. İzmir.

Devlet Planlama Teşkilatı. 2005. Uzun vadeli strateji ve sekizinci kalkınma planı 2001-2005, 254s. (hppt://www.dpt.gov.tr).

Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuumtectonics in a convergent zone: Geol. Soc. Am. Bül., 90, 84-92.

Dictionary of Geological Terms. 1960, Anchor Books, Anchor Press/Doubleday, Garden City, 545p. New York. USA.

DSİ, II. Bölge Müdürlüğü. 2010, İzmir. (http://www.dsi.gov.tr/bolge/dsi2/izmir.htm)

Doglioni, C., Agostini, S., Crespi, M., Innocenti, F., Manetti, P., Riguzzi, F., Savaşçın M. Y., 2002. On The Extension In Western Anatolia And The Aegean Sea. Journal of the Virtual Explorer, 8, 69-183.

Dora, Ö., Erdoğan, B., Nakoman, E., 1985. Esentepe Taş Ocağı çevresi yerleşim alanının temel jeolojik ve jeoteknik etüdü. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi. 20s. İzmir.

Drahor, M.G., 1983. Doğal uçlaşma yöntemi ve İzmir-Agamemnon sıcak su alanında doğal uçlaşma çalışmaları (Diploma Çalışması), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi. İzmir.

Drahor, M.G., Sarı, C., Şalk, M., 1999. Seferihisar jeotermal alanında doğal gerilim (SP) ve gravite çalışmaları. Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Mühendislik Dergisi, 1, 3, 97-112.

Duchi, V., Minissale, A.A. ve Prati, F., 1987. Chemical composition of thermal springs, cold springs, streams and gas vents in the Mt Amiata geothermal region (Tuscany, Italy). Journal of Volcanology. Geotherm. Res., 31, 321-332.

Dumon, F. J., Uysal, Ş., Şimşek, Ş., Karamanderesi, İ. H., 1979. Güneybatı Anadolu'daki Grabelerin Oluşumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 92, 1-7. Ankara.

Ekingen, K., 1970. İzmir-Urla-Seferihisar gravite etüdü. MTA Rapor No: 4312. Ankara.

Elders, W.A., Bird, D.K., Williams, A.E., Schiffman, P., 1984. Hydrothermal flow regime and magmatic heat source of the Cerro Prieto geothermal system, Baja California, Mexico. Geothermics 13, 27-47.

Ellis, A.J., 1979. Chemical geothermometry in geothermal systems. Geothermics, 25, 219-226.

Emre, Ö., Barka, A., 2000. Gediz Grabeni-Ege Denizi arasının (İzmir Yöresi) Aktif Fayları, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, s. 131-132.

Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir ve Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri Raporu, MTA No: 10754, Jeoloji Etütleri Dairesi, 2005, 80s. Ankara.

Emre, T., 1996. Gediz Grabeni'nin tektonik evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 39, 2, 1-18.

Ercan, A., Drahor, M., Atasoy, E., Yılmazer, S., 1981. İzmir Balçova sıcak su alanında kazan yeri belirlemelerinde doğal uçlaşma çalışmaları, 37. TJK Bildiri Özetleri, 170. Ankara.

Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 110, 1 -15. 1990.

Erentöz, C., 1966. Türkiye stratigrafisinde yeni bilgiler. MTA Dergisi, 66, 1-19. Ankara

Erentöz, C., Ternek, Z., 1968. Türkiye'de termomineralli kaynaklar ve jeotermik enerji etüdleri. MTA Dergisi, 70, 1-57. Ankara.

Eşder, T., Şimşek, Ş., 1975. İzmir-Seferihisar Alanı Çubukludağ Grabeni ile dolayının jeolojisi ve jeotermal olanakları. MTA Rapor No: 5842. Ankara.

Faure, G., 1986. Principles of Isotopic Geology. Second Edition. John Wiley and Sons, 589p. New York.

Fouillac, C. ve Michard, G., 1981. Sodium/lithium ratios in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs, Geothermics, 10, 55-70.

Fournier, R.O., Rowe, J.J., 1966. Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot spring and wet-steam wells. Am. Jour. Sci., 264, 685-697.

Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1972. An empirical Na-K-Ca geothermometry for natural waters. U.S. Geological Survey Menlo Park, California. New York.

Fournier, R.O., 1973. Silica in thermal waters. Laboratory and field investigation (proc. in symp. on hydrogeo-chemistry and biogeochemistry, Japan, 1970), 1, J.W. Clarke, 122-139. Washington.

Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. Geochimica et Cosmochimica Acta, 37, 1255-1275.

Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1974. Chemical indicators of subsurface and fraction of hot water mixed with cold water. Journal Research U.S., Geol. Survey, 2, 3.

Fournier, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics, 5, 41-50. Pergamon Press, 1977. Great Britain.

Fournier, R.O., 1979. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot spring systems. J. Volcanol. Geotherm. Res. 5, 1-16.

Fournier, R.O., Potter, R.W., 1979. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. Geochimica et Cosmochimica Acta, 43, 1453-1550.

Gevrek, A.İ., 1999. Water/rock interaction in the Kızılcahamam geothermal field, Galatian volcanik province (Türkiye): a modelling study of a geothermal system for re-injection well locations. Elsevier, Journal of Volcanology and Geothermal Research 96, 207-213.

Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. Geochimica et Cosmochimica Acta, 52, 2749-2765.

Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H. 1983. Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, NW Himalaya, Indiana. Geothermics, 5, 51-62.

Güleç, N., 1988. Batı Türkiye'de Helyum-3 Dağılımı. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 108, 98-105.

Henley, R.W., Truesdell, A. H., 1984. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. Reviews in Economic Geology. Vol.1. 267p. USA.

Hounslow, A.W., 1995. Water quality data: Analysis and Interpretation, 397p. Lewis Publishers, 54.

Ji, J., Browne, P.R.L., 2000. Relationship Between Illıte Christallinity and Temperature in Active Geothermal Systems of New Zealand, Clays and Clay Minerals, 48, 1, 139-144.

Karahan, Ç., Yıldız, S., Manav, E., İldem, F., 2004. İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, Yayınlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi, 35s. Ankara.

Kaya, O., 1979. Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tekniği, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 35-38.

Keskin, M., 2003. Magma generation by steepening and break off beneath a subduction –accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. Geophysical Research Letters, 30, 24, 1-9.

Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34, Ankara.

Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1987. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: Thermal history of sedimentary basins, pp. 75-102. New York.

Kharaka, Y.K., Lico, M.S., Law, L.M., 1982. Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 66, 558p.

Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Aggarwal, P.K., Perkins, E.H. and Debraal, J.D., 1988. SOLMINEQ.88: A computer program for geochemical modeling of water-rock interactions. U.S. Geol. Surv. Water Res. Inv. Rep. 88-4277. 420p.

Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: N.D. Näser&T.H. McCulloh (Eds.) Thermal history of sedimentary basins; methods and case histories, pp. 99-117. Springer Verlag.

Koçak, A., 1994. Jeotermal Enerji, Türkiye Enerji Bülteni, Ocak, 1994, 1, 1, TMMOB-Jeoloji Mühendisler Odası Yayını, Ankara.

Koçak, A., Aydın, İ., Karat, H.I., 2004. Türkiye'de Curie-Noktası Eşsıcaklık Derinliği Haritası ve Jeotermal Enerji. 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, s. 199. Ankara.

KOERI: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi (http://koeri.boun.edu.tr)

Lund, W. J., Derek, H.F., Tonya, L.B., 2005. World-wide direct uses of geothermal energy 2005. Proceedings World Geothermal Congress, 2005. Antalya.

Mahon, W.J.A., 1964. Flourine in natural thermal waters of New Zealand, N.Z.J. Sci., 7, pp.3-28.

Mazor, E., 1991. Chemical and isotopic groundwater hydrology. The Applied Approach, pp. 158-167.

Mertoğlu, O., Şimşek, Ş., Dağıstan, H., Bakır, N., Doğdu, N., 2010. Geothermal Country Update Report of Turkey (2005-2010), pp. 1-9. Proceedings World Geothermal Congress 2010.

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. 2010. (http://www.meteor.gov.tr/index.aspx)

Mineralogy Database, Minerals, Location, Mineral Photos and Data, http://www.mindat.orgindex.

Moore, D.M., Reynolds, R.C., 1989. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, New York. 322p.

MTA., 2002. 1/500 000 Türkiye ölçekli jeoloji haritaları, No:7, MTA Yayınları.

MTA., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter Serisi-201, 849s, Ankara.

Nicholson, K., 1993. Geothermal fluids, chemistry and exploration techniques, Springer-Verlag, Berlin, 263p.

Nieva, D. ve Nieva, R., 1987. Developments in geothermal energy in Mexico, part12-A, cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP, 7, pp. 243-258.

Öngür, T., 1972. İzmir-Urla jeotermal araştırma sahasına ilişkin jeolojik rapor. MTA Dergisi, 4835, Ankara.

Özen, T., Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., 2008. Dikili-Bergama (İzmir) Termal Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Kullanım Alanları. Termal ve Maden Suları Konferansı Bildiriler Kitabı. 24-25 Nisan 2008, s. 229-241.

Özer, E., 2011. Sözlü görüşme, 08.08.2011, Meteoroloji Müh., DSİ İzmir II. Bölge Müdürlüğü, İzmir.

Özgenç, İ., 1978. Cumaovası (İzmir) Asit Volkanitlerinde Saptanan iki Ektrüzyon Aşaması Arasındaki Göreli Yaş İlişkisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., 21, 31-34.

Özgür, N., Altınkale, S., Yaman, D., 2005. Büyük Menderes kıtasal rift zonunda bulunan Kızıldere jeotermal sisteminin hidrojeokimyasal incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Araştırma Projesi Raporu. No:509. 35s. Isparta.

Özkan, R., Şener, M., Helvacı, C., Şener, M.F., 2011. Aliağa (İzmir) jeotermal alanındaki hidrotermal alterasyonlar ve termal sularla ilişkisi, Yerbilimleri, 32, 1, 1-20.

Piranjo, F., 1992. Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and undamental Concepts fort h Exploration Geologist, Springer Verlag. 709p.

Rybach, L., Muffler, L.J.P., 1981. Geothermal systems-Principles and case histories: Wiley, New York. 359p.

Rodgers, K.A., Spörli, K.B., Cotterall, L., Prebble, W.M., Browne, P.R.L., Campbell, K.A. ve Augustinus, P.C., 2001. Field Geology, A Handbook of Basic Techniques and Safety Practice, Department of Geology and Geothermal Institute The University of Auckland, New Zealand. 124p.

Rollinson, H., 1993. Using chemical data: Evaluation, presentation, interpretation. John Wiley&Sons, New York. 352p.

Sand, W., 2003. Microbial life in geothermal waters. Geothermics, Elsevier, 32, (4-6), 655-667.

Satman. A., Serpen, Ü., Onur, M., 2002. İzmir Balçova-Narlıdere jeotermal sahasının rezervuar ve üretim performansı projesi. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul. 512s.

Serpen, Ü., 2004. Hydrogeological investigations on Balçova geothermal system in Turkey. Geothermics, 3, 309-335.

Serpen, Ü., Aksoy, N., Önür, T., Yücel, M., Kayan, İ., 2009. Geoscientific investigations on North of Balçova geothermal system in Turkey. International Journal Of Geology, Issue: 4, 3, 87-96. 2009.

Serruya, S., 1962. Agamemnon Ilıcaları. MTA Rapor No: 3206, Ankara.

Simmons, S.F., 2002. Geochemistry Lecture Notes 2002, Semester I, Geotherm 601, 602, 603, Geothermal Energy Technlogy Course, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand.

Shaw, D.M., Sturchio, N.C., 1992. Boron-lithium relationships in rhyolites and associated thermal waters of young silicic calderas, with comments on incompatible element behavior. Geochim. Cosmochim. Acta 49, 893-902.

Soengkono, S.S., 2002. World-wide setting and occurance of geothermal resources, Geothermal Institute. Geotherm 601- Geothermal resources and their use.

Sözbilir, H., 2000. Batı Anadolu'dan örneklerle aktif faylar ve potansiyel aktif faylar. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 133-142.

Sözbilir, H., 2005. Oligo-Miocene extention in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey. Geodinamica Acta. 18, (3-4), 255-282.

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E.Y., Koçer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç., 2008. D-B Uzanımlı İzmir fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler: İzmir Körfezi'ni Oluşturan Aktif faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51, 2, 91-114.

Su Kirliliği Kontrolü Teknik Usuller Tebliği. 1991. 07.01.1991, Resmi Gazete.

Şahinci, A., 1991a. Doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası. İzmir. 548s.

Şahinci, A., 1991b. Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri. Reform Matbaası. İzmir. 249s.

Şamilgil, E., 1964. İzmir Agamemnon Kaplıcası bölgesinde sıcak su sondajları ve hidrojeolojik neticeler hakkında rapor. MTA Rapor No: 3324, Ankara.

Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1987. Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the Eastern Anatolia. Bull. Min. Res. Ezp. 107, 74-94.

Şengör, A.M.C., Dewey, J.F., 1979. Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone: Geol. Soc. Am. Bül., 90, 84-92.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, (3-4), 181-184.

Şengör, A.M.C, Satır, M., Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey, Tectonics 3, 693-707.

Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Bakır, N., Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö., 2005. Geothermal energy utilization, development and projections- Country update report (2000-2004) of Türkiye. Proceedings World Geothermal Congress 2005. Antalya.

Tamgaç, Ö. F., Yıldırım, N., Güner, N., 2005. Balçova jeotermal sahası koruma alanları etüt raporu (derlenmemiş). MTA. 55s. Ankara.

Tansuğ, Z., Şatır, M., 1983. Balçova-İnciraltı-Narlıdere Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu. Devlet Su İşleri İzmir II. Bölge Müdürlüğü. İzmir.

Tarcan, G., 2002. Jeotermalde yerbilimsel uygulamalar. Jeotermal su kimyası, JenarumYaz Okulu 2002 Ders Notları, s. 198-246. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.

Tessauro, M., Kaban, M.K., Cloetingh S.A.P.L., 2008. EuCRUST-07: A new reference model fort he European crust, Geophysical Research Letters, 35, L05313, doi:10.1029/2007GL032244, 2008.

Tezcan, K., 1962. İzmir Agamemnon Jeofizik Etüdlerinin Jeotermik Enerji Bakımından Değerlendirilmesi. MTA Rapor No: 98/3072. İzmir.

Tokçaer, M., 2007. Batı Anadolu jeotermal akışkanlarınd borun jeokimyasal döngüsü ve izotop fraksiyonlaşması. Dokuz Eylül Üniversitesi. Doktora Tezi. 183s. İzmir.

Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Proc. Adv. Eur. Geoth. Res., Second Sypmosium, 428-443. Strasboug.

Truesdell, A.H., 1976. Summery of section III geochemical techniques in exploration. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the development and use of geothermal resources. San Francisco. 1975. 1, Washington D.C., U.S.

Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., 2009. Batı Anadolu'da Aktif Olarak Gelişen Üzerlemiş Havzanın Neotektonik Evrimi: İzmir İç Körfezi, Türkiye. Turkish Journal of Earth Sciences. 21, 439-471.

YEKSEM, 2003. II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 15-18 Ekim 2003. İzmir.

Yağmurlu, F., 1980. Bornova (İzmir) Güneyi Filiş Topluluklarının Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 23, 141-152.

Yıldız, S., Manav, E., Sevim, F., 2005. İzmir-Balçova Jeotermal Sondajı BD-10 Kuyu Bitirme Raporu, Yayımlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi, Ankara.

Yıldırım, M., 2011. İzmir ili 1181 numaralı ruhsata ilişkin 2. dönem arama faaliyet raporu. 63s.

Yılmaz, Y., 1997. Geology of western Anatolia. The Marmaray Poly-Project, A multidisciplinary Approach by Space-geodesy, geology, hydrogology, geothermics and seismology, pp. 31-53. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich.

Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A., 2000. When did the West Anatolian grabens begin to develop? Geological Society, London, Special Publication, 173, 353-384.

Yılmaz, Y., 2000. Ege Bölgesinin Aktif tektoniği, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 3-14.

Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. (2000). Geological Society, London, Special Publications, 2000, 173, 353-384.

Yılmazer, S., Şimşek, Ş., Gümüş, H., 1977. İzmir Agamemnon sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rapor No: 6133. Ankara.

Yılmazer, S., 1981. Balçova Kaplıcalarının termal kapasitesi ve bunlardan yararlanma. MTA Raporu, JE/8. MTA Ege Bölge Kütüphanesi.

Yılmazer, S., 1989. Balçova Kaplıcaları'nın (İzmir) jeokimyasal özellikleri ve alanın jeotermal enerji olanakları (Doktora Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 179s.

Yılmazer, S., Gevrek, A. İ., Şahinci, A., 1989. Clay mineralogy and hydrothermal alteration studies of İzmir-Balçova Geothermal Field, Türkiye. Proceedings 11th New Zealand Geothermal Workshop, pp. 317-320. New Zealand.

Yılmazer, S. Büyükoktar, S., 1989. Balçova Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi ve Koruma Alanları Raporu. MTA Raporu. MTA Ege Bölge Müdürlüğü.

Yılmazer, S., Yakabağ, A., 1994. İzmir-Balçova Derin Araştırma Kuyusu (BD-1) Kuyu Bitirme Raporu. MTA Rapor No: 9983. Ankara.

Yılmazer, S., Alacalı, M., 2005. Distribution of hot water resources and potentials of İzmir provence, Proceedings, World Geothermal Congress, 2005. Antalya.

Yılmazer, S., Sayık, T., 2009. Balçova jeotermal alanında (İzmir) yapılan çalışmalar ve potansiyel artırıcı öneriler. V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Kayseri, 2009.

7. EKLER

Ek-1. Balçova (İzmir) ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesitleri

Ek-2. Çalışma alanından örnek alınan noktalar

Ek-3. Çalışma alanından alınan örneklerin in-situ analiz sonuçları

Ek-4. Çalışma alanından alınan örneklerin hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Ek-5. Balçova yöresindeki üretim ve araştırma sondajlarına ait logların şematik görünümü

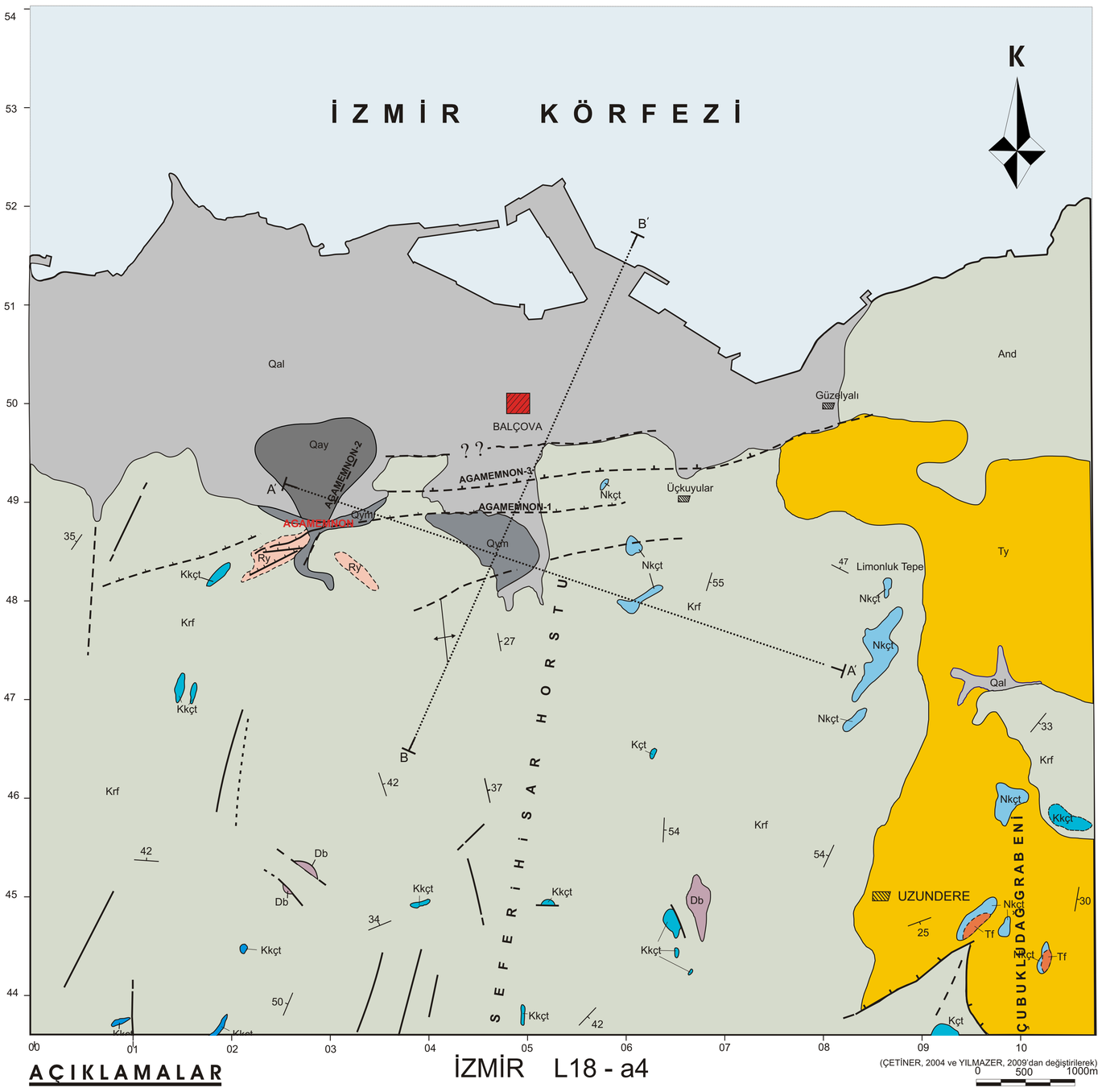
Ek-6. Çalışma alanındaki sıcak su kuyularından alınan sondaj kırıntılarına ait XRD analiz sonuçları

Ek-7. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerine ait jeotermometre hesaplamaları

Ek-1. Balçova (İzmir) ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesitleri

Ek 1: Balçova (İzmir) ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesitleri

İZMİR L18 - a1



AÇIKLAMALAR

İZMİR L18 - a4

SENOZOYİK

TERSİYER

KUVATERNER
- Qal — Alüvyon
- Qym — Yamaç molozu
- Qay — Alüvyon Yelpazesi

PLİYOSEN
- And, Ry, Tf - Agl — **CUMAOVASI VOLKANIKLERI**
  - Ry : Riyolit
  - And : Andezit
  - Tf - Agl : Tüfit - Aglomera

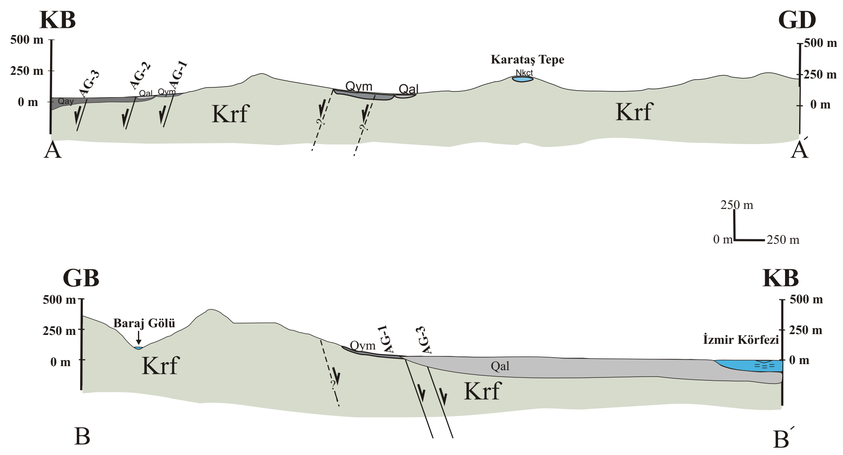
Açısal Uyumsuzluk

MİYOSEN
- Ty, Nkçt, Ty — **YENİKÖY FORMASYONU**
  - Ty : Kong - Kmt - Kil - Marn
  - Nkçt : Kireçtaşı

MESOZOYİK

ÜST KRETASE
- Krf, Db, Sp, Krf, Kkçt, Krf, Gd — **İZMİR FİLİŞİ**
  - Sp - db : Serpantin - spilit - diabaz
  - Kkçt : Kireçtaşı
  - Gd : Karabelen granadioritleri

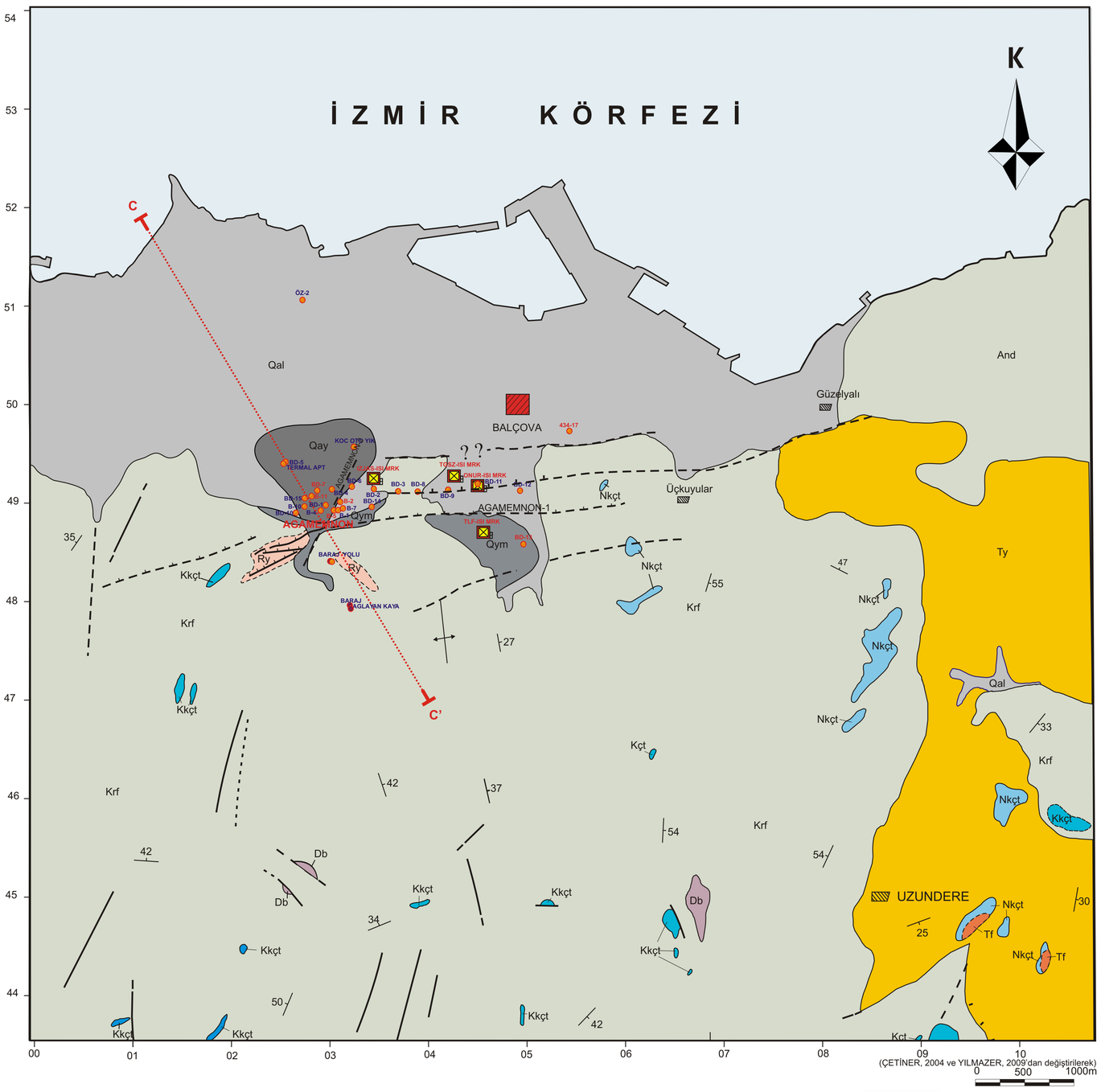
- Normal Fay
- Olası Fay
- Dokanak
- Örtülü Dokanak
- Faylı Dokanak
- Antiklinal
- Senklinall
- 54 — Doğrultu-Eğim
- İlçe Merkezi
- Yerleşim Yeri

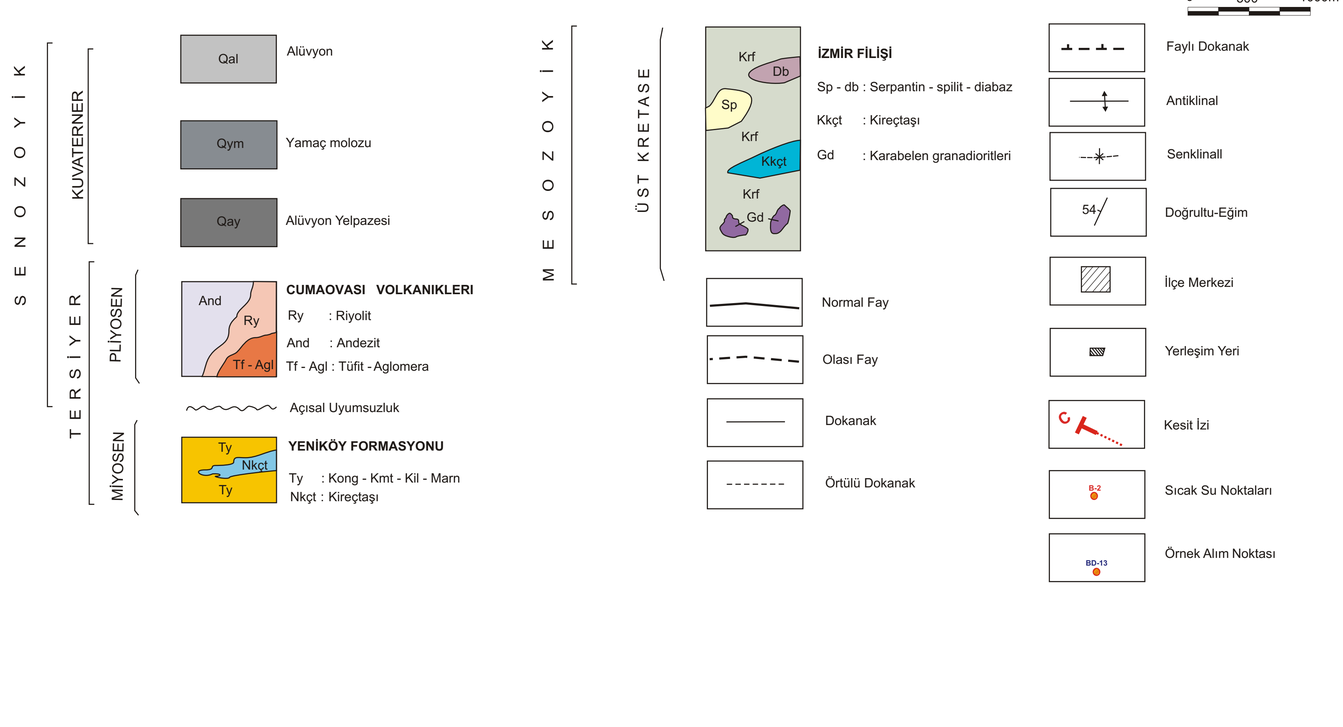


Ek-2. Çalışma alanından örnek alınan noktalar

Ek 2: Çalışma alanından örnek alınan noktalar

İZMİR L18 - a1





Ek-3. Çalışma alanından alınan örneklerin in-situ analiz sonuçları

Ek-3. Çalışma alanından alınan örneklerin in-situ analiz sonuçları

Sıra no	Örnek	Lokasyon	Kullanım	Tarih	Koordinatlar		Yükseklik (m)	T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (□S/cm)	O_2 (mg/l)	TDS (mg/l)	Ref
					x	y								
1	**BD-4**	P. Otel yolu üzerinde	Üretim	19/02/2011	35503083	4249220	44	128.0	8.63	145	2160	6.9	1512.0	Bu çalışma
2	**BD-6**	Otel yolu üzerinde	Üretim	19/02/2011	35503256	4249244	21	129	8.52	248	2180	5.2	1526.0	Bu çalışma
3	**BD-8**	Ekonomi Üni.	Re-enj	19/02/2011	35503896	4249224	7	59.0	8.38	119	1972	5.6	1380.0	Bu çalışma
4	**BD-9**	Salih Dede İÖOkulu yanı	Üretim	19/02/2011	35504260	4249214	31	139.0	8.47	204	2240	4.7	1568.0	Bu çalışma
5	**B-10**	Bal.Termal Otel	Üretim	19/02/2011	35502822	4249035	38	97.7	8.55	183	1944	5.4	1360.0	Bu çalışma
6	**BD-11**	Özkılçık Isı Mer.	Üretim	19/02/2011	35504545	4249265	57	140.0	8.64	245	2270	5.6	1589.0	Bu çalışma
7	**BD-14**	Sakarya Cad.parkta	Üretim	19/02/2011	35275725	4169760	128	112.0	8.36	186	2200	5.0	1540.0	Bu çalışma
8	**BD-15**	Bal. T. Otel yanı	Re-enj	19/02/2011	35502826	4249129	24	56.0	8.68	78	1877	6.1	1314.0	Bu çalışma
9	**BD-2**	İzmir jeotermal A.Ş. bahçesi	Üretim	10.10.2009	35 502859	42 59283	36	117,5	8,37	167	2150	2,9	1505,0	Bu çalışma
10	**BD-8**	Ekonomi Üni.	Re-enj	10.10.2009	35 503920	42 49206	46	63,6	6,86	119	2002	3,6	1401,0	Bu çalışma
11	**B-10**	Otel yanı	Re-enj	10.10.2009	35 503617	42 49591	33	102,5	7,46	42	1988	2,6	1391,0	Bu çalışma
12	**BD-15**	Bal. T. Otel yanı	Re-enj	10.10.2009	35 502801	42 49108	31	54,0	6,67	42	1882	2,5	1317,0	Bu çalışma
13	**BD-12**	Soğuk su Onur Mah. Muh. bahçesi	Üretim	10.10.2009	35 504921	42 49205	52	28,0	7,39	211	755	4,5	376,0	Bu çalışma
14	**BD-1**	Bal. T. Otel içinde	Üretim	06.05.2005	35503009	4249050	48	121	7.38	---	1400	---	1050	MTA,2005
15	**BD-2***	İzmir jeotermal A.Ş. bahçesi	Üretim	05.05.2005	35 502859	42 59283	36	129	7.8	---	1432	---	1074	MTA,2005
16	**BD-3***	YOLDA	Re-enj	06.05.2005	35 503729	4249192	60	115	7.75	---	1760	---	1320	MTA,2005
17	**BD-4***	P. Otel yolu üzerinde	Üretim	05.05.2005	35 503075	4249210	34	133	8.3	---	1840	---	1380	MTA,2005
18	**BD-5***	Ilıca Deresi kenarında	Üretim	05.05.2005	35 502617	4249469	57	117	7.79	---	1706	---	1280	MTA,2005
19	**BD-6***	Otel yolu üzerinde	Üretim	06.05.2005	35 503268	4249239	47	139	7.88	---	1440	---	1080	MTA,2005
20	**BD-7***	Ilıca Deresi kenarında	Üretim	06.05.2005	35 502915	4249201	47	115	7.45	---	1350	---	1015	MTA,2005
21	**B-1***	Bal. T. Otel içinde	Üretim	05.05.2005	35 503132	4249988	33	96.6	7.1	---	1415	---	1060	MTA,2005
22	**B-4***	Prenses Otel Bahçesi	Üretim	05.05.2005	35 502963	4249986	52	105	7.38	---	1320	---	1000	MTA,2005
23	**B-10***	Bal. T. Otel içinde	Üretim	05.05.2005	35 502804	4249023	33	105	7.27	---	1490	---	1118	MTA,2005
24	**Termal Apt***	(Narlıdere)	Üretim	05.05.2005	35 502447	4249356	64	120	7.78	---	1375	---	1032	MTA,2005
25	**Oto yıkama1***	Mithat P. Cad. üzerinde	---	06.05.2005	35 502697	4249488	42	30	7.7	---	976	---	732	MTA,2005
26	**Koç Oto Yıkama***	Mithat P. Cad. üzerinde	---	06.05.2005	35 503315	4249645	43	37.5	7.9	---	950	---	713	MTA,2005
27	**Baraj***	Baraj	---	06.05.2005	35 503452	4247538	107	12.2	8.3	---	332	---	250	MTA,2005
28	**Ağlayan Kaya***	Baraj	---	06.05.2005	35 503402	4247519	114	14.1	8.1	---	411	---	310	MTA,2005
29	**Kabaoğlu Çeşmesi***	Sakarya Cad. üzerinde	---	06.05.2005	35504318	4248915	70	23	7.96	---	183	---	140	MTA,2005
30	**BD-9**	V.K.A. İÖOkulu yanı	Üretim	26.08.2003	35504219	4249217	35	98.7	8.37	---	3900	---	1591.18	MTA,2005
31	**B-10**	Bal. T. Otel içinde	Üretim	15.12.2009	35 503617	4249035	38		7.64	---	2040	---	---	İZJAŞ,2009
32	**BD-3**	YOLDA	Re-enj	15.12.2009	35 503729	4249192	60	62	6.55	---	2920	---	---	İZJAŞ,2009
33	**BD-8**	Ekonomi Üni.	Re-enj	15.12.2009	35 503920	42 49206	46	63.8	6.42	---	1917	---	---	İZJAŞ,2009
34	**BD-9**	Salih Dede İÖOkulu yanı	Üretim	15.12.2009	35504260	4249214	31	100.9	8.66	---	2380	---	---	İZJAŞ,2009
35	**BD-10**	Bal. T. Otel içinde	Re-enj	15.12.2009	35502717	4248959	32	51.1	6.75	---	2896	---	---	İZJAŞ,2009
36	**BD-12**	Onur Mah. Muh. bahçesi	Üretim	15.12.2009	35504943	4249180	42	102	8.40	---	2230	---	---	İZJAŞ,2009
37	**BD-15**	Bal. T. Otel içinde	Re-enj	15.12.2009	35 502801	4249108	31	52.5	6.44	---	2948	---	---	İZJAŞ,2009
38	**B-4**	Bal. T. Otel içinde	Üretim	17.11.2000	35 502 941	4248979	35.36	96	7.38	---	1914	---	1627(1)	Aksoy, 2001
39	**B-10**	Bal. T. Otel içinde	Üretim	17.11.2000	35 503617	4249035	38	99	6.92	---	1966	---	1676(1)	Aksoy, 2001
40	**BD-4**	P. Otel yolu üzerinde	Üretim	17.11.2000	35503083	4249220	44	136	7.19	---	1947	---	1676(1)	Aksoy, 2001
41	**BD-6**	Otel yolu üzerinde	Üretim	17.11.2000	35 503268	4249239	47	132	6.97	---	1947	---	1677(1)	Aksoy, 2001
42	**B-10**	Bal. T. Otel içinde	Üretim	Ekim, 2002	35 503617	4249035	38	98	6.65	---	1966	---	1427	Çakın, 2003
43	**BD-4**	P. Otel yolu üzerinde	Üretim	Kasım, 2002	35503083	4249220	44	134	7.50	---	1950	---	1422	Çakın, 2003

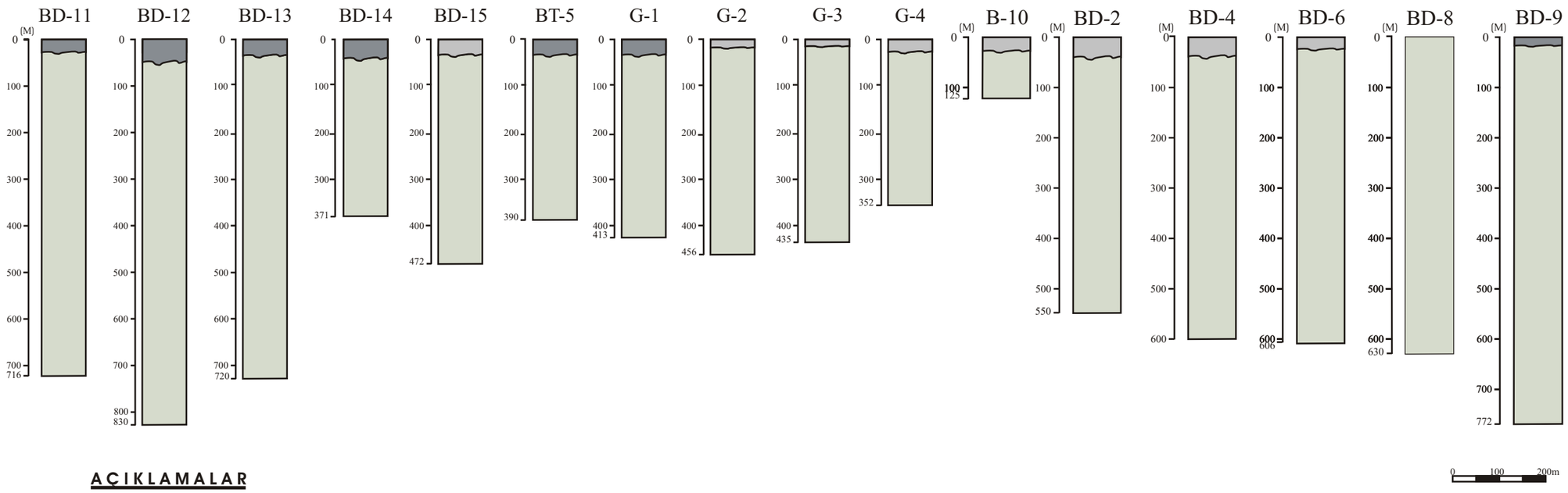
Ek-4. Çalışma alanından alınan örneklerin hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Ek-4. Çalışma alanından alınan örneklere ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Sıra no	Örnek no	Örnek Alım Tarihi	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Si (mg/l)	Li^{+} (mg/l)	Pb^{2+} (mg/l)	Zn^{2+} (mg/l)	Cu^{2+} (mg/l)	Al^{3+} (mg/l)	Fe^{2+} (mg/l)	Mn^{2+} (mg/l)	Sr^{2+} (mg/l)	Sb (mg/l)	As (mg/l)	Tl (mg/l)	B (mg/l)	Ba (mg/l)	NO_3^{-} (mg/l)	NO_2^{-} (mg/l)	CO_3^{2-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	PO_4 (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	F^{-} (mg/l)	Ref.
1	BD-4	19.02.2011	401.80	30.08	3.33	14.31	63.19	2.17	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.37	<0.01	0.17	<0.01	11.42	<0.01	2.56	<0.10	0	707.6	<0.20	198.34	166.0	8.17	Bu çalışma
2	BD-6	19.02.2011	398.40	30.22	3.15	7.09	61.39	2.23	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.18	<0.01	0.17	<0.01	11.76	<0.01	0.96	<0.10	0	695.4	<0.20	197.68	159.98	7.37	Bu çalışma
3	BD-8	19.02.2011	368.20	28.48	3.71	14.80	61.47	1.97	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.40	<0.01	0.14	<0.01	10.92	<0.01	1.54	<0.10	0	719.8	<0.20	185.55	151.97	7.42	Bu çalışma
4	BD-9	19.02.2011	409.80	30.89	3.22	14.20	70.90	2.30	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.42	<0.01	0.18	<0.01	12.53	<0.01	<0.10	<0.10	0	725.9	<0.20	208.02	162.95	7.17	Bu çalışma
5	B-10	19.02.2011	337.00	27.08	6.93	23.01	52.41	1.84	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.42	<0.01	0.12	<0.01	9.13	<0.01	0.88	<0.10	0	685.4	<0.20	162.64	149.74	6.58	Bu çalışma
6	BD-11	19.02.2011	402.90	32.13	2.37	9.82	74.56	2.34	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.33	<0.01	0.19	<0.01	13.53	<0.01	1.22	<0.10	0	738.1	<0.20	196.70	156.43	7.83	Bu çalışma
7	BD-14	19.02.2011	432.70	35.31	4.49	17.68	60.97	2.52	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.52	<0.01	0.18	<0.01	12.54	<0.01	3.44	<0.10	0	738.1	<0.20	200.39	160.32	8.43	Bu çalışma
8	BD-15	19.02.2011	346.40	27.22	5.21	18.26	54.46	1.86	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.42	<0.01	0.10	<0.01	9.64	<0.01	2.20	<0.10	0	616.1	<0.20	167.96	148.23	6.92	Bu çalışma
9	**BD-2**	10.10.2009	374,60	37,17	1,72	16,17	62,15	1,78	<0,01	<0,01	0,06	0,03	0,04	0,03	0,48	0,03	0,12	0,03	11,20	0,11	11,87	<0,01	0	683,2	<0,01	219,15	188,2	10,27	Bu çalışma
10	**BD-8**	10.10.2009	351,90	35,68	2,78	19,64	57,18	1,40	<0,01	<0,01	0,06	0,02	0,65	0,05	0,50	<0,01	0,05	0,04	8,62	0,10	15,00	<0,01	0	707,6	<0,01	201,00	165,62	9,15	Bu çalışma
11	**B-10**	10.10.2009	336,40	33,67	4,47	23,27	53,04	1,93	<0,01	<0,01	0,06	0,02	0,05	0,05	0,49	0,03	0,10	0,03	10,87	0,12	13,23	<0,01	0	683,2	<0,01	179,00	160,80	7,65	Bu çalışma
12	**BD-15**	10.10.2009	325,60	32,81	4,16	22,61	51,77	1,64	<0,01	<0,01	0,06	0,02	0,58	0,06	0,46	<0,01	0,05	0,03	9,25	0,11	<0,01	<0,01	0	683,2	<0,01	169,48	154,27	4,92	Bu çalışma
13	**BD-12**	10.10.2009	49,84	5,12	20,98	62,35	5,99	0,04	<0,01	0,79	0,07	0,19	0,09	0,02	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	1,96	0,04	64,36	<0,01	0	250,1	<0,01	51,05	60,01	0,17	Bu çalışma
14	BD-1	06.05.2005	**291.25**	**17.35**	**4.3**	**15.8**	**---**	**0.898**	**---**	**---**	**---**	**---**	**---**	**---**	**0.0**	**---**	**---**	**---**	**---**	**---**	**0.0**	**0.0**	**22.642**	**284.86**	**0.0**	**162.29**	**187.75**	**10.1**	**MTA, 2005**
15	BD-4	05.05.2005	**384.45**	**29.75**	**1.97**	**15.24**	**---**	**1.176**	---	---	---	---	---	---	0.0	---	---	---	---	---	2.56	0.0	19.811	394.2	0.0	252.7	235.95	11.24	**MTA, 2005**
16	Koç Oto Yık.	05.05.2005	151.52	12.78	7.79	25.6	---	0.486	---	---	---	---	---	---	0.0	---	---	---	---	---	14.16	0.0	5.66	187.03	0.0	78.29	129.28	7.33	**MTA, 2005**
17	B-10	Ekim, 2002	525	28.85	8.10	30.12	---	---	<0.01	0.19	<0.01	0.17	0.76	0.04	---	---	0.14	---	12.09	0.11	---	---	---	554	---	184	156	8.43	Çakın, 2003
18	BD-4	Kasım, 2002	325	26.5	4.2	25.7	---	---	---	---	---	0.14	0.08	---	---	---	0.24	---	16.4	0.06	---	---	---	421	---	218	168	9.07	Çakın, 2003
19	B-4	17.11.2000	371	31	1.3	28	---	1.5	---	---	---	0.13	0.21	0.11	---	---	---	---	8.7	---	---	---	---	634	---	206	180	3.85	Aksoy, 2001
20	B-10	17.11.2000	379	32	14	35	---	1.6	---	---	---	0.11	0.18	0.16	---	---	---	---	8.8	---	---	---	---	630	---	190	164	5.05	Aksoy, 2001
21	BD-4	17.11.2000	388	34	16	22	---	1.6	---	---	---	0.13	0.14	0.07	---	---	---	---	8.8	---	---	---	---	610	---	205	175	4.15	Aksoy, 2001
22	BD-6	17.11.2000	395	35	17	19	---	1.6	---	---	---	0.1	0.77	0.09	---	---	---	---	9.3	---	---	---	---	571	---	231	180	4.25	Aksoy, 2001
23	ÖZ-2	15.07.2010	1139.1	19.6	147.8	245.5	---	0.769	---	0.017	---	0.013	1.8	0.128	10.477	---	0.008	---	2.497	0.293	---	---	---	461.1	---	2020	204	---	Yıldırım, 2010

Ek-5. Balçova yöresindeki üretim ve araştırma sondajlarına ait logların şematik görünümü

EK-5. BALÇOVA YÖRESİNDEKİ ARAŞTIRMA VE ÜRETİM SONDAJLARINA AİT LOGLARIN ŞEMATİK GÖRÜNÜMÜ

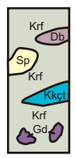


AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK — KUVATERNER

- Qal — Alüvyon
- Qym — Yamaç molozu
- Qay — Alüvyon Yelpazesi

MESOZOYİK — ÜST KRETASE

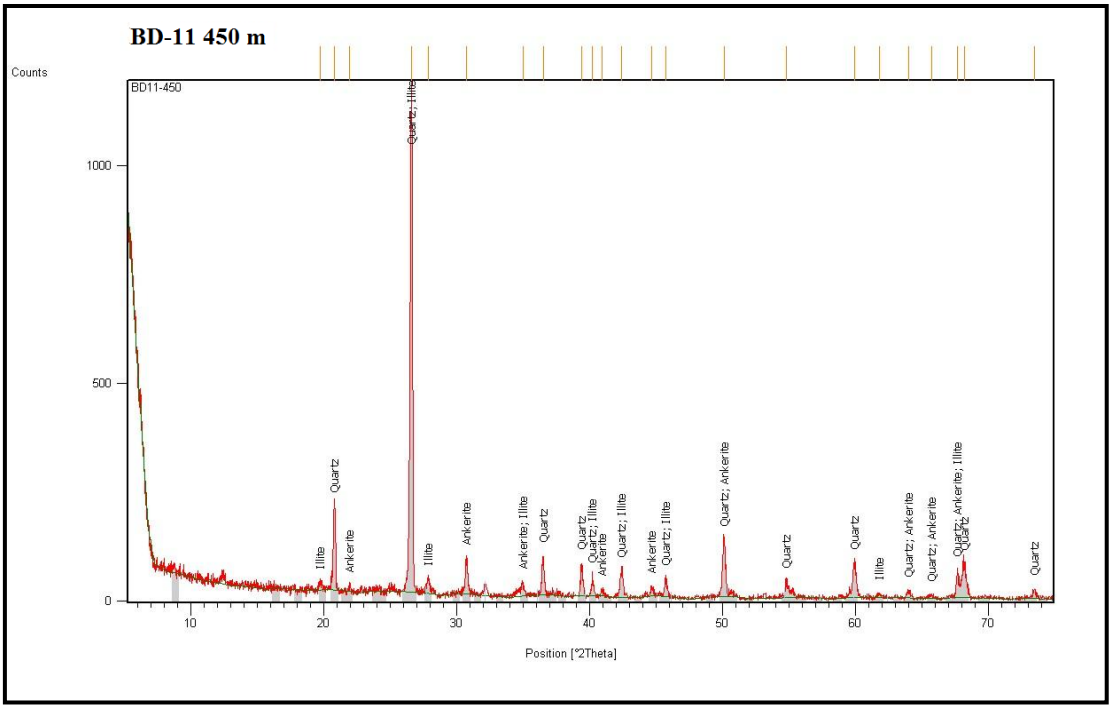


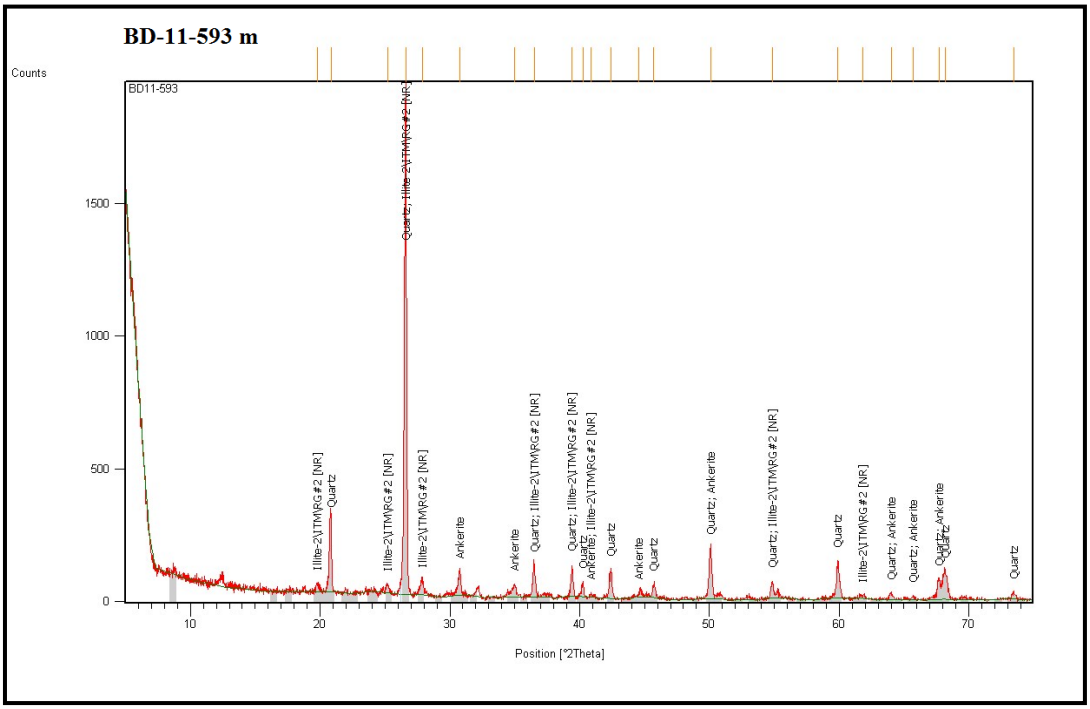
İZMİR FİLİŞİ

Sp - db : Serpantin - spilit - diabaz
Kkçt : Kireçtaşı
Gd : Karabelen granadioritleri

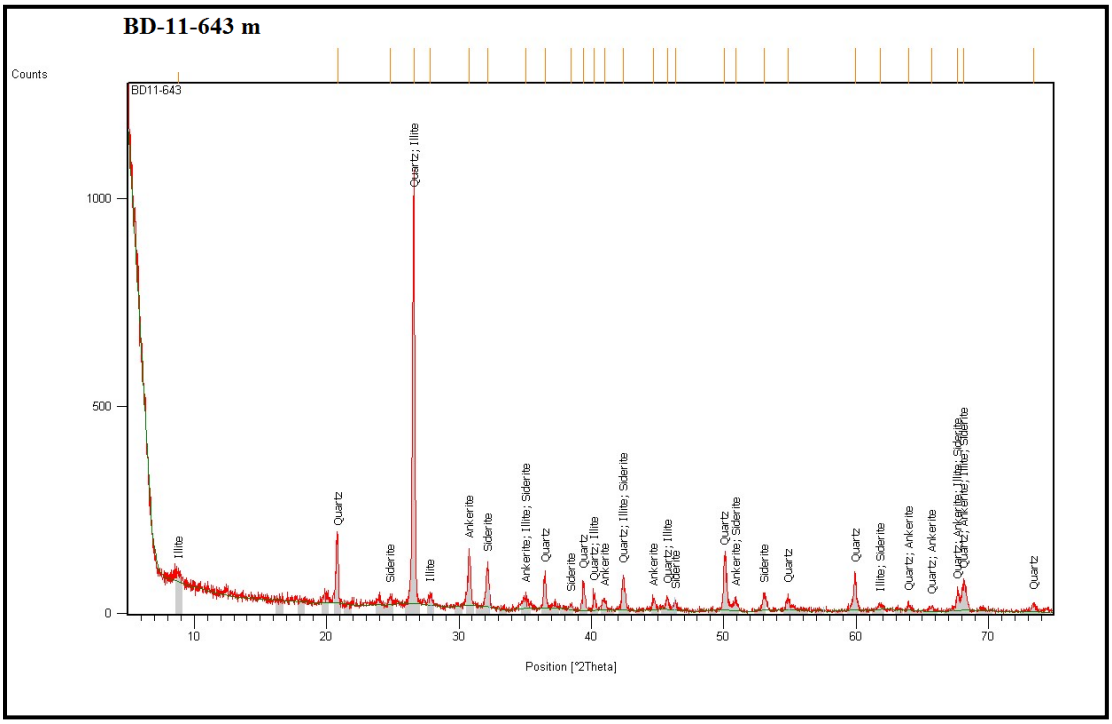
Ek-6. Çalışma alanındaki sıcak su kuyularından alınan sondaj kırıntılarına ait X-RD analiz sonuçları

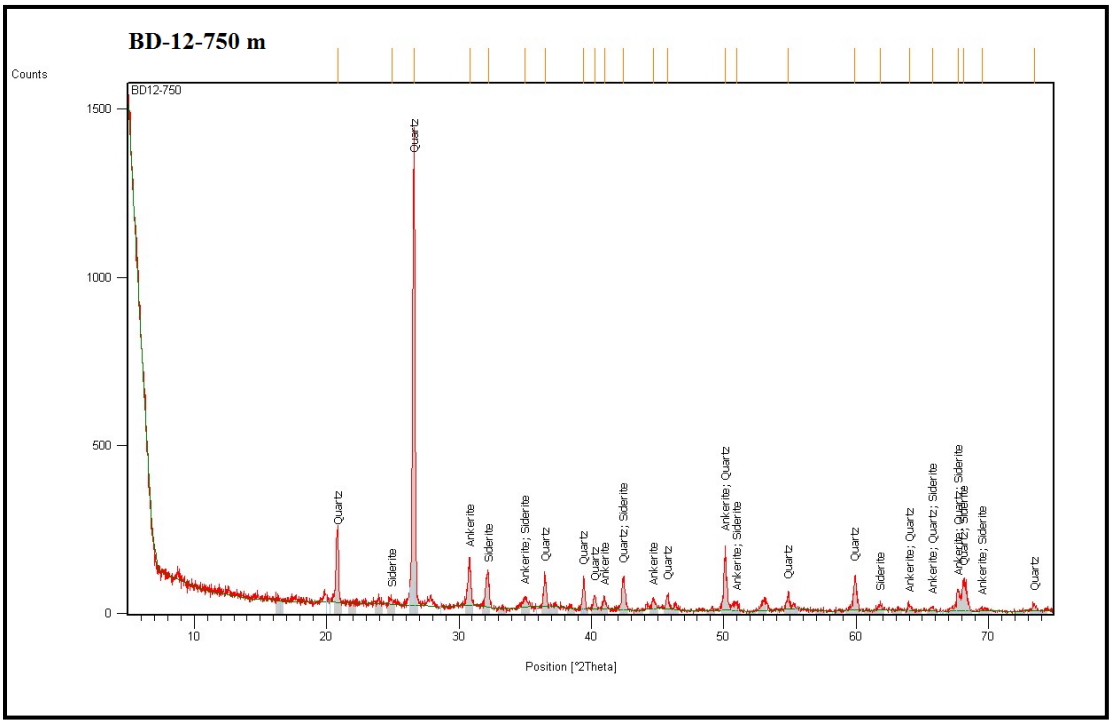
Ek-6. Çalışma alanındaki sıcak su kuyularından alınan sondaj kırıntılarına ait X-RD analiz sonuçları



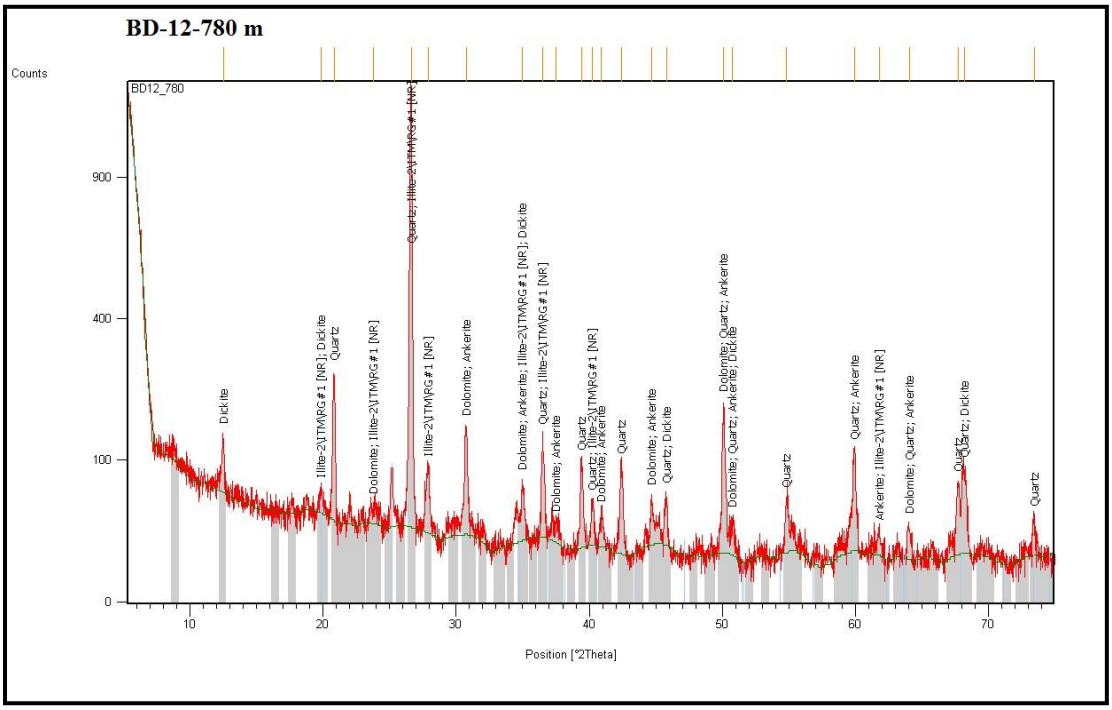


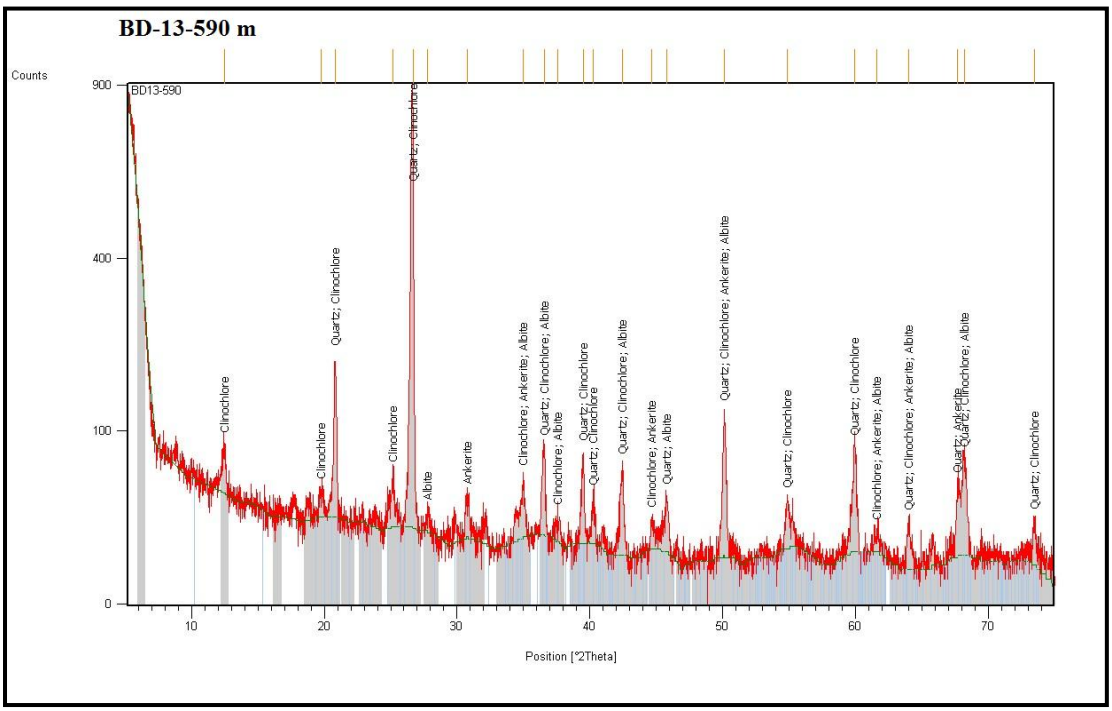
Ek-6. (devam)


BD-11-643 m
Counts
BD11-643
Position [°2Theta]

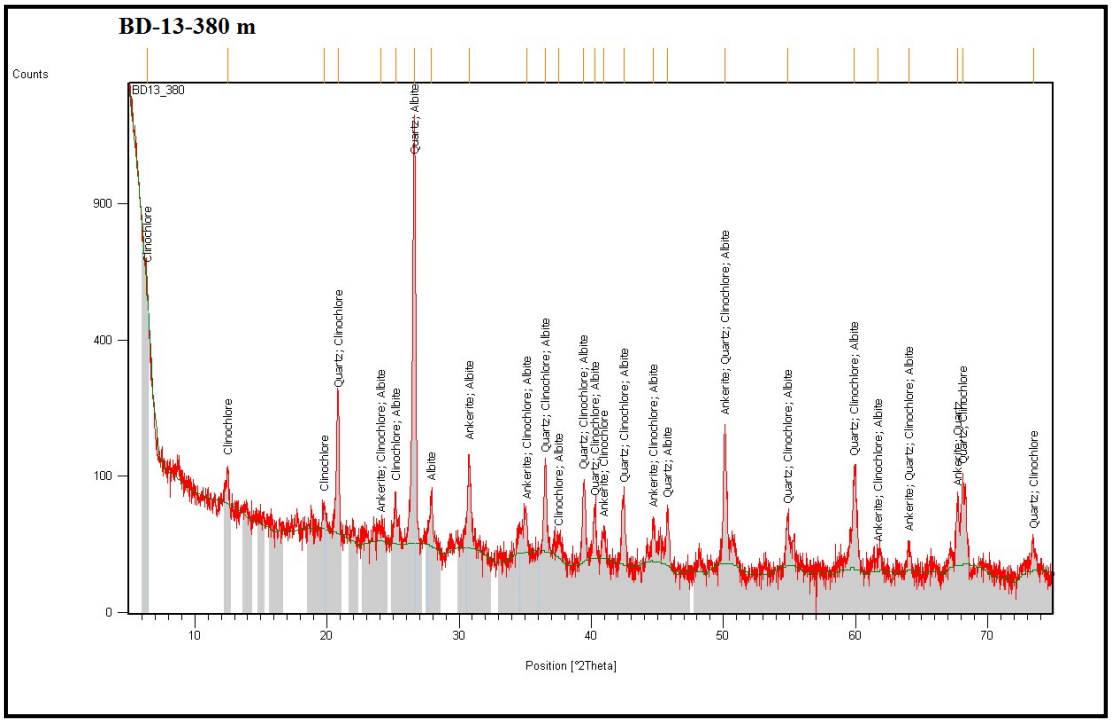

BD-12-750 m
Counts
BD12-750
Position [°2Theta]

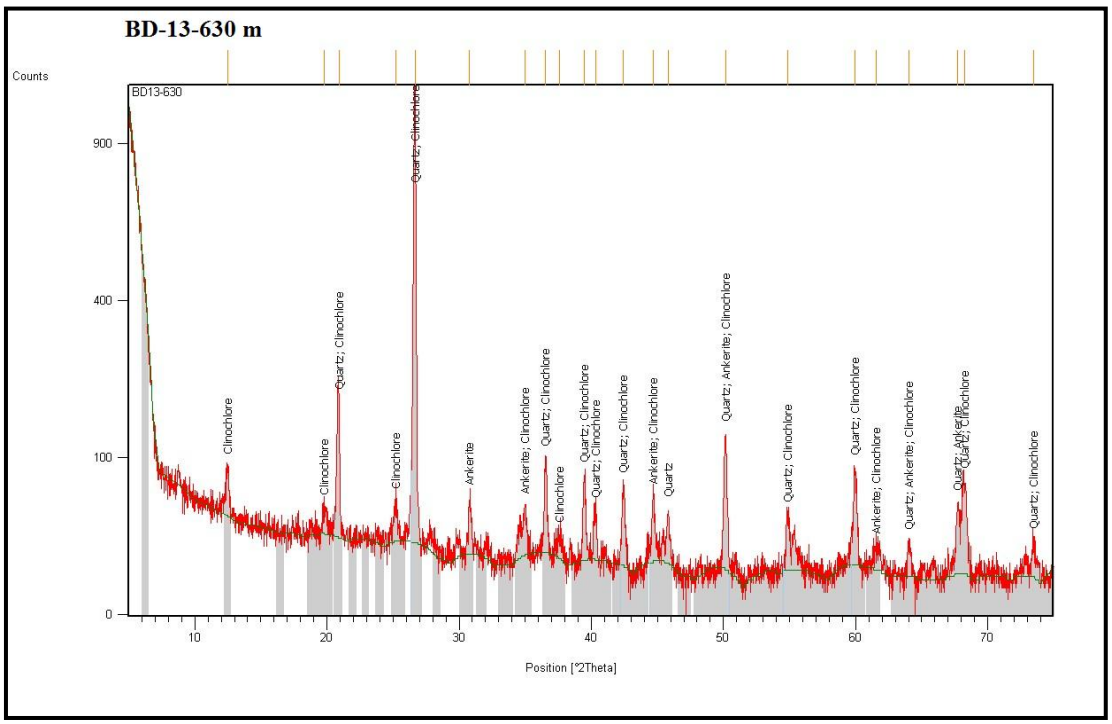
Ek-6. (devam)


BD-12-780 m
Counts
BD12_780
900
400
100
0
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]
Dickite
Illite-2\TMRG#1 [NR]; Dickite
Quartz
Dolomite; Illite-2\TMRG#1 [NR]
Quartz; Illite-2\TMRG#1 [NR]
Illite-2\TMRG#1 [NR]
Dolomite; Ankerite
Dolomite; Ankerite; Illite-2\TMRG#1 [NR]; Dickite
Quartz; Illite-2\TMRG#1 [NR]
Dolomite; Ankerite
Quartz
Quartz; Illite-2\TMRG#1 [NR]
Dolomite; Ankerite
Quartz
Dolomite; Ankerite
Quartz; Dickite
Dolomite; Quartz; Ankerite
Dolomite; Quartz; Ankerite; Dickite
Quartz
Quartz; Ankerite
Ankerite; Illite-2\TMRG#1 [NR]
Dolomite; Quartz; Ankerite
Quartz
Quartz; Dickite
Quartz

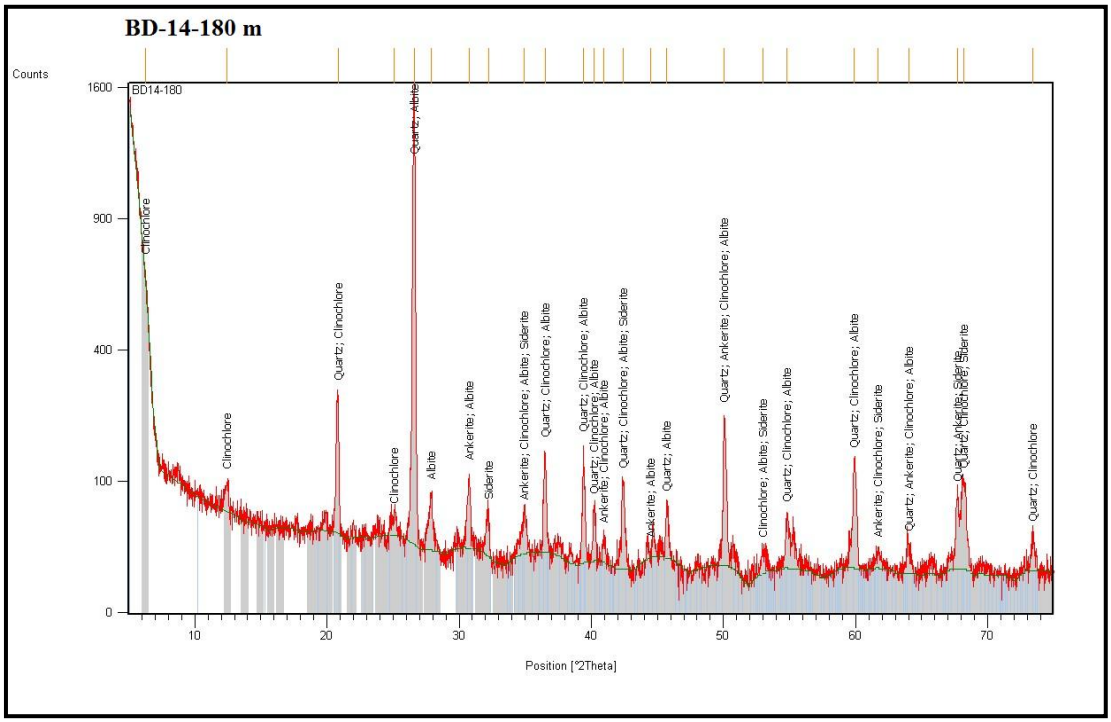

BD-13-590 m
Counts
BD13-590
900
400
100
0
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]
Clinochlore
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Albite
Ankerite
Clinochlore; Ankerite; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore
Quartz; Clinochlore; Albite
Clinochlore; Ankerite
Quartz; Albite
Quartz; Clinochlore; Ankerite; Albite
Quartz; Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Clinochlore; Ankerite; Albite
Quartz; Clinochlore; Ankerite; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore

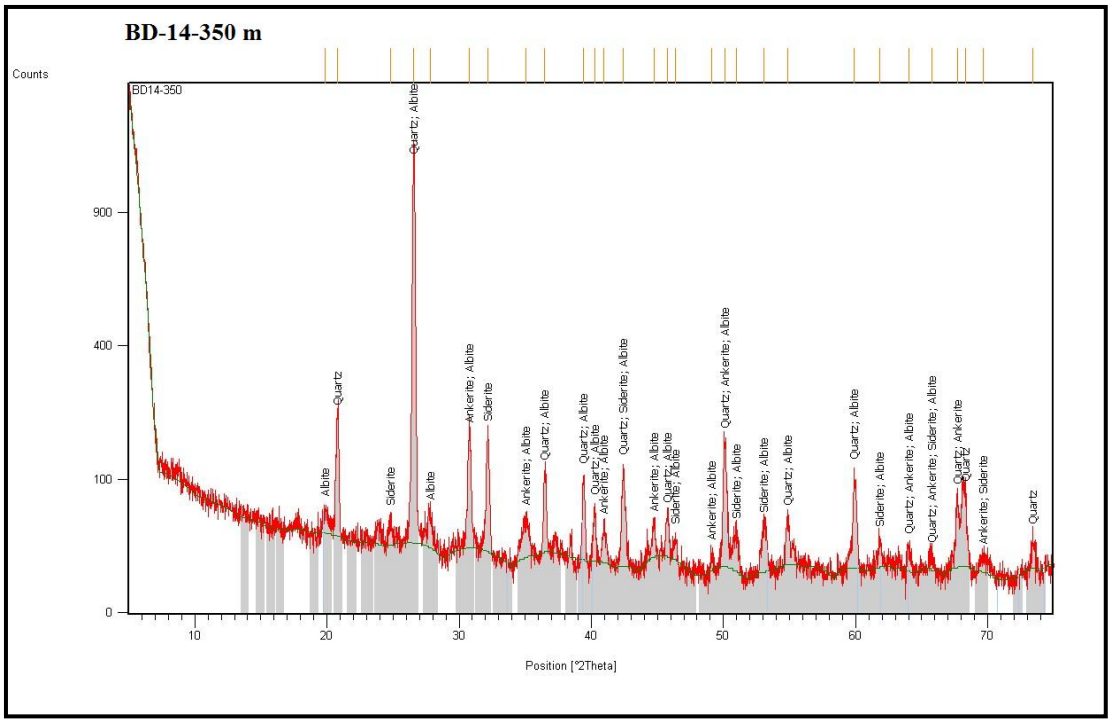
Ek-6. (devam)


BD-13-380 m
Counts
BD13_380
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Quartz; Albite
Ankerite; Albite
Albite
Position [°2Theta]

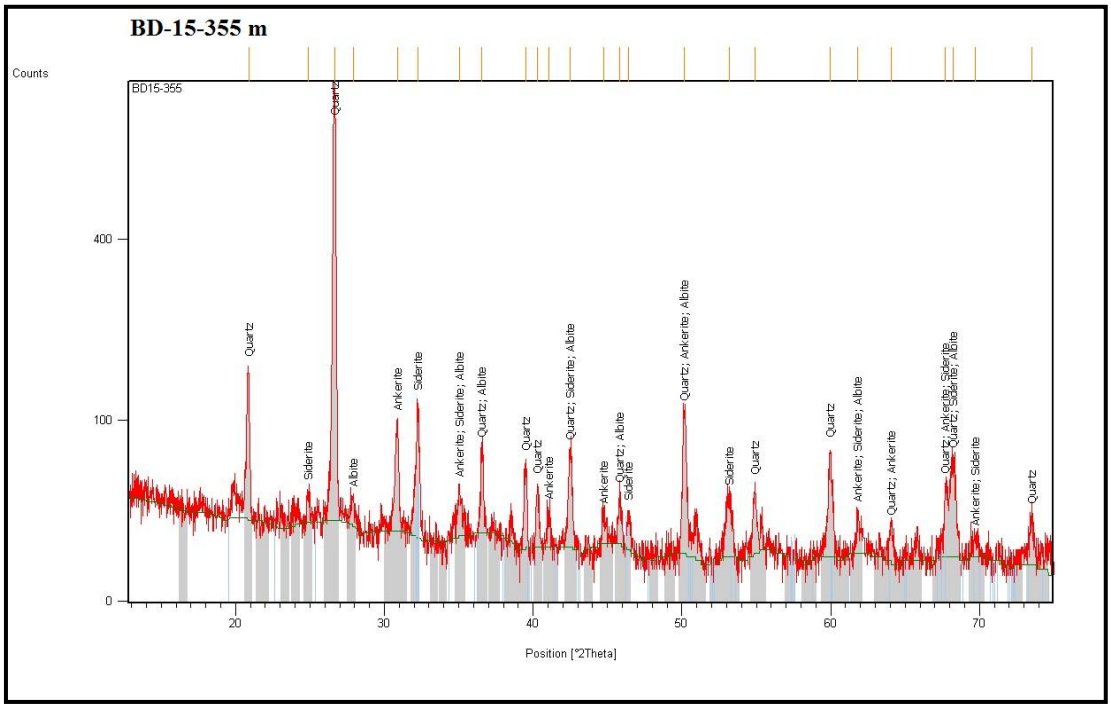

BD-13-630 m
Counts
BD13-630
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Ankerite
Quartz
Position [°2Theta]

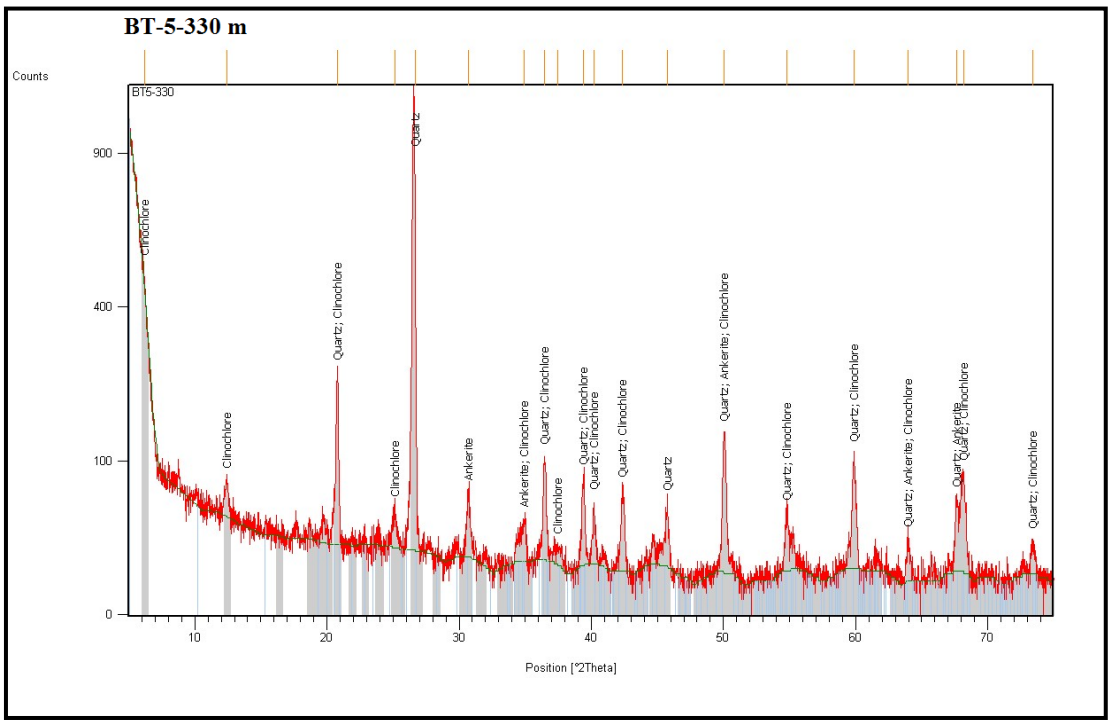
Ek-6. (devam)


BD-14-180 m
Counts
BD14-180
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Quartz; Albite
Albite
Ankerite; Albite
Siderite
Ankerite; Clinochlore; Albite; Siderite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite; Siderite
Ankerite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Clinochlore; Albite; Siderite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Ankerite; Clinochlore; Siderite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Siderite
Quartz; Clinochlore
0
100
400
900
1600
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]

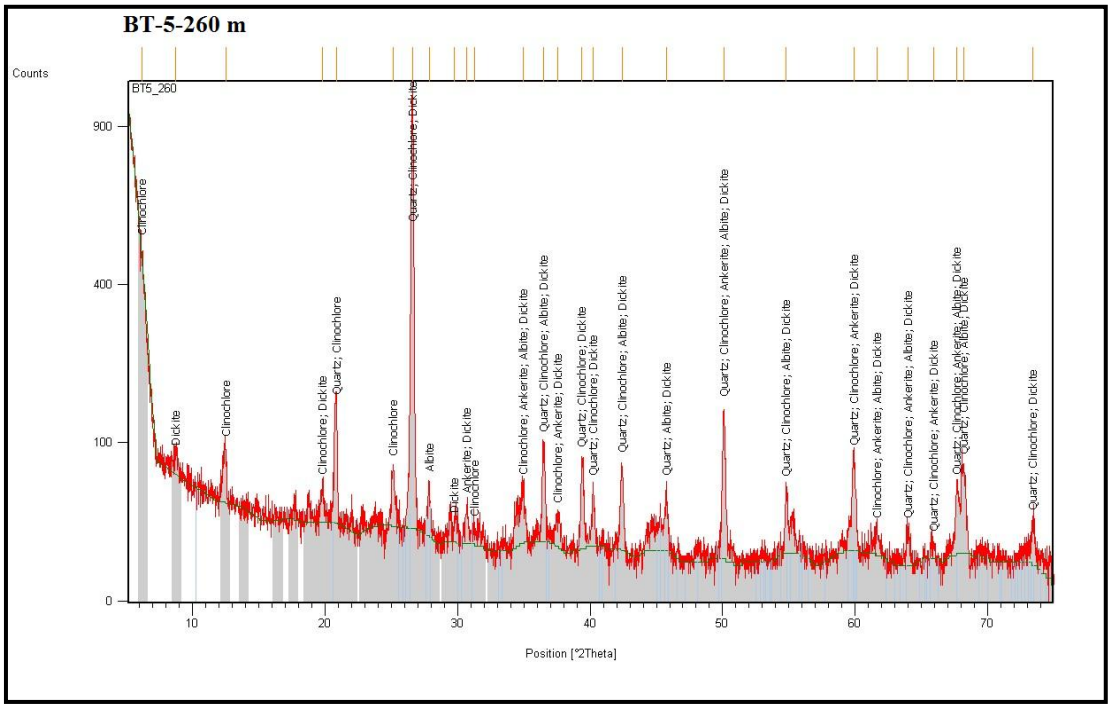

BD-14-350 m
Counts
BD14-350
Quartz; Albite
Albite
Quartz
Siderite
Albite
Ankerite; Albite
Siderite
Ankerite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Albite
Ankerite; Albite
Quartz; Siderite; Albite
Ankerite; Albite
Quartz; Albite
Siderite; Albite
Ankerite; Albite
Quartz; Ankerite; Albite
Siderite; Albite
Siderite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Albite
Siderite; Albite
Quartz; Ankerite; Albite
Quartz; Ankerite; Siderite; Albite
Quartz; Ankerite
Quartz
Ankerite; Siderite
Quartz
0
100
400
900
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]

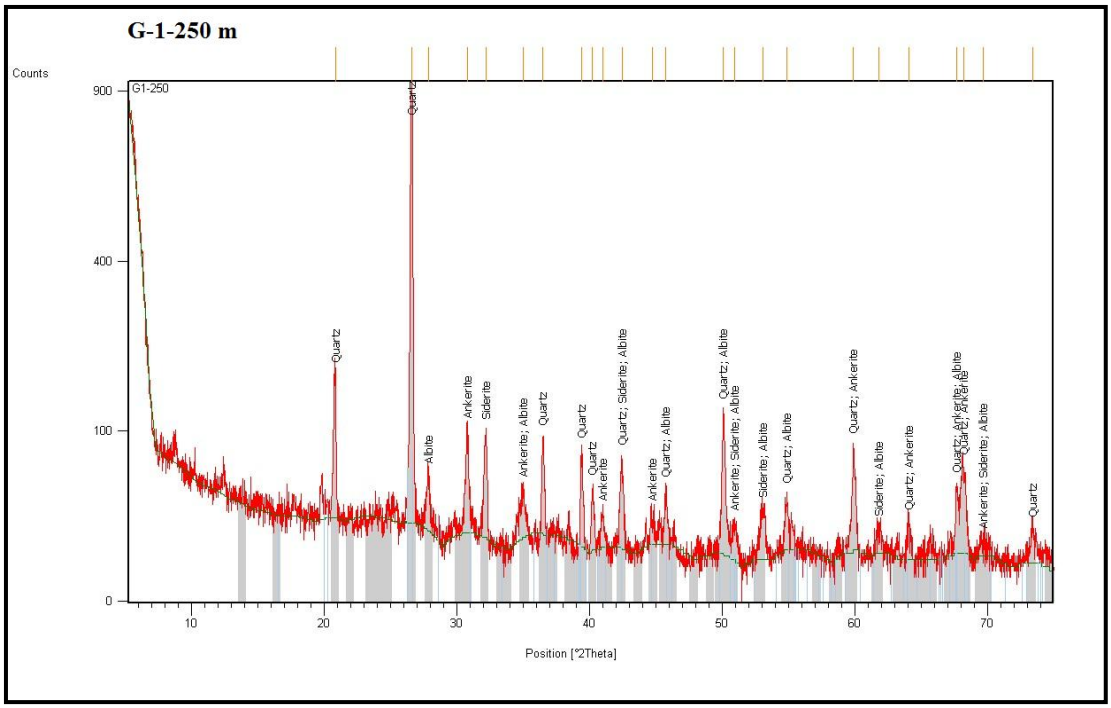
Ek-6. (devam)

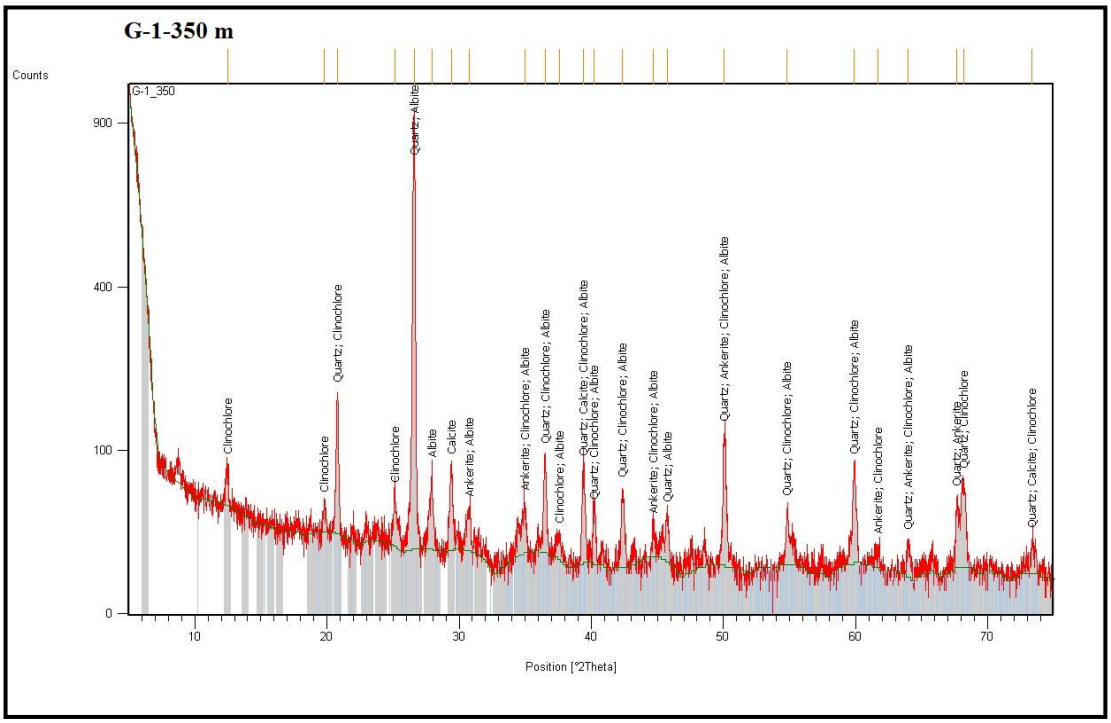

BD-15-355 m
Counts
BD15-355
Quartz
Siderite
Albite
Ankerite
Ankerite; Siderite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Siderite; Albite
Quartz; Albite
Siderite
Quartz; Ankerite; Albite
Quartz; Siderite; Albite
Quartz; Ankerite
Quartz; Ankerite; Siderite
Position [°2Theta]

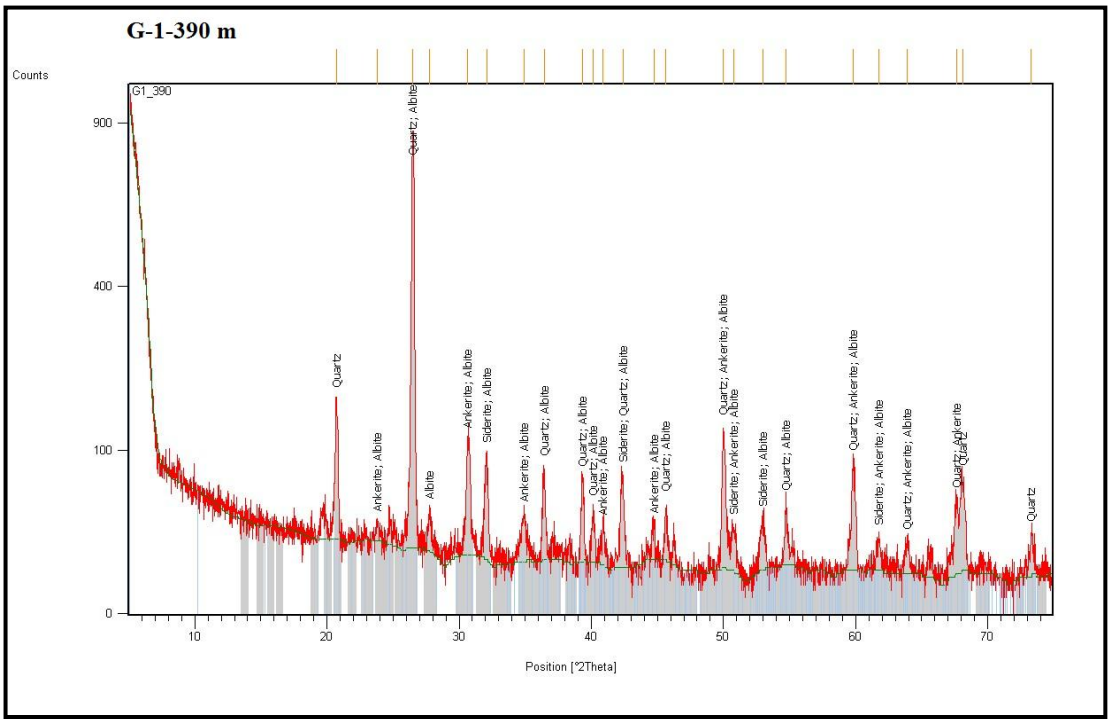

BT-5-330 m
Counts
BT5-330
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Quartz
Ankerite
Ankerite; Clinochlore
Quartz; Ankerite; Clinochlore
Position [°2Theta]

Ek-6. (devam)

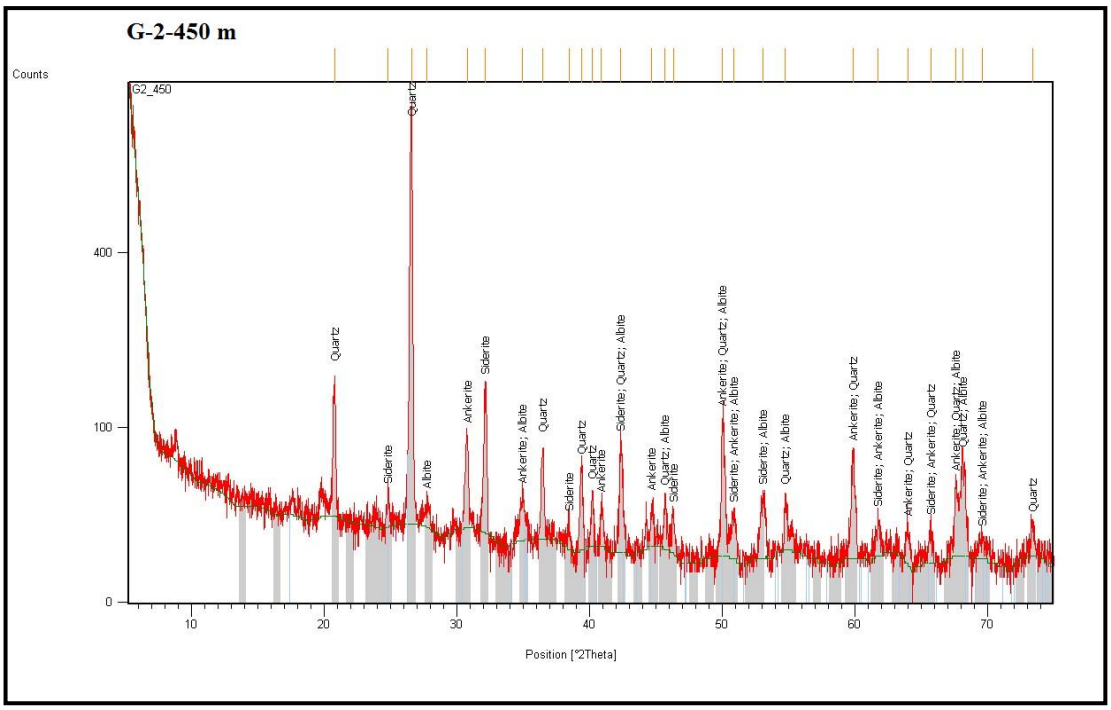

BT-5-260 m
Counts
BT5_260
Position [°2Theta]

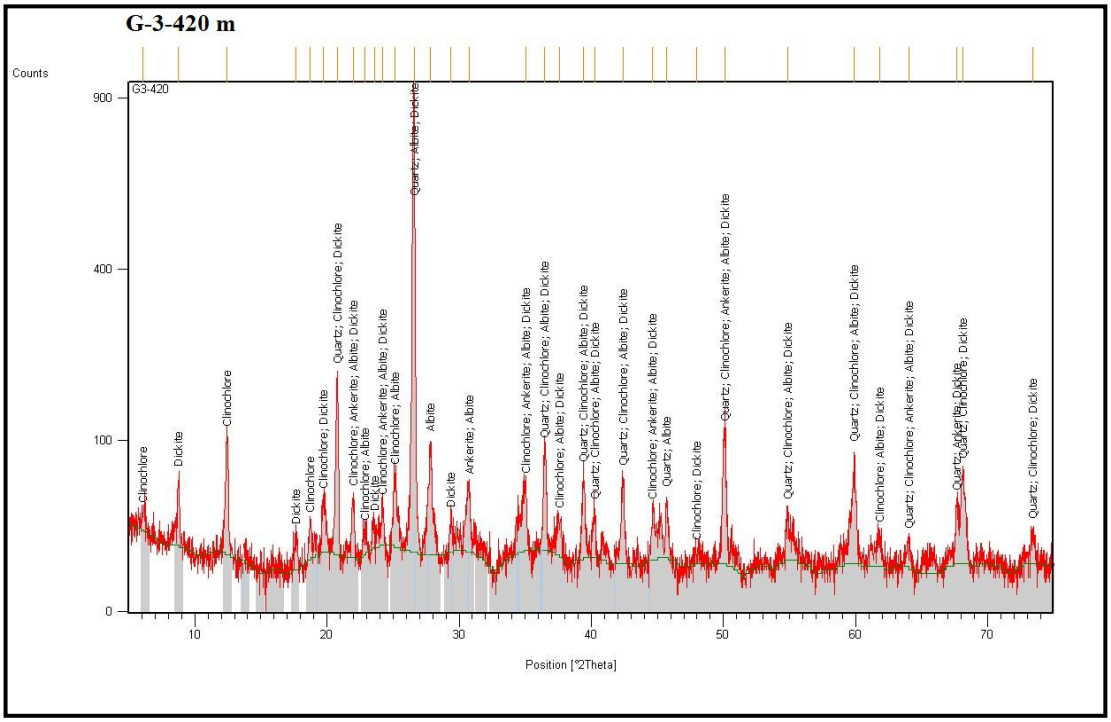

G-1-250 m
Counts
G1-250
Position [°2Theta]

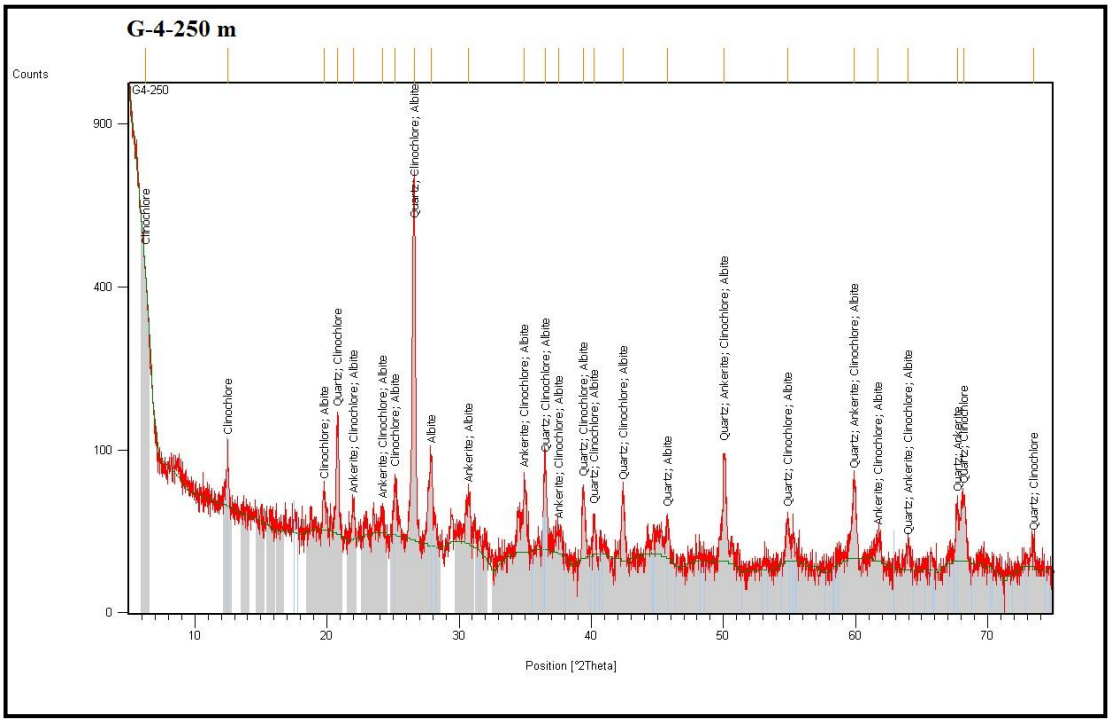

G-1-350 m
Counts
G-1_350
900
400
100
0
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]
Clinochlore
Clinochlore
Quartz; Clinochlore
Clinochlore
Quartz; Albite
Albite
Calcite
Ankerite; Albite
Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Clinochlore; Albite
Quartz; Calcite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Ankerite; Clinochlore
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Ankerite
Quartz; Clinochlore
Quartz; Calcite; Clinochlore

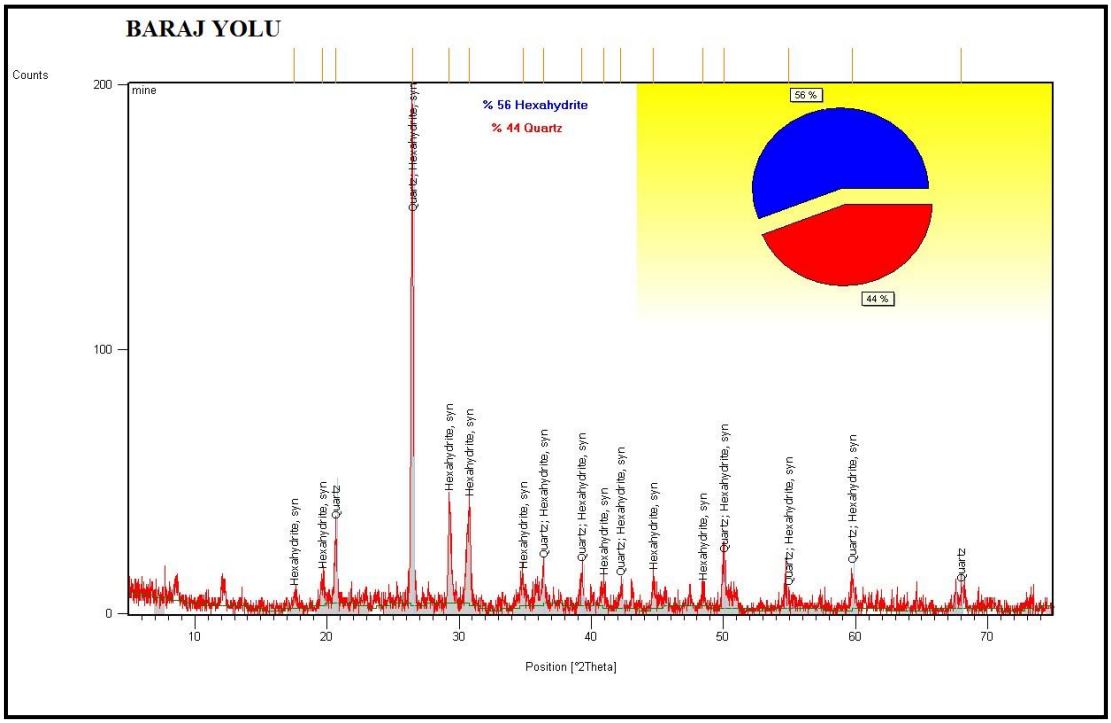

G-1-390 m
Counts
G1_390
900
400
100
0
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]
Quartz
Ankerite; Albite
Albite
Quartz; Albite
Ankerite; Albite
Siderite; Albite
Ankerite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Albite
Ankerite; Albite
Siderite; Quartz; Albite
Ankerite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Ankerite; Albite
Siderite; Ankerite; Albite
Siderite; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Ankerite; Albite
Siderite; Ankerite; Albite
Quartz; Ankerite; Albite
Quartz; Ankerite
Quartz

Ek-6. (devam)


G-2-450 m
Counts
G2_450
Position [°2Theta]


G-3-420 m
Counts
G3-420
Position [°2Theta]


G-4-250 m
Counts
G4-250
900
400
100
0
Clinochlore
Clinochlore
Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore
Ankerite; Clinochlore; Albite
Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Albite
Ankerite; Albite
Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Albite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore; Albite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Ankerite; Clinochlore; Albite
Quartz; Clinochlore
Quartz; Clinochlore
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]


BARAJ YOLU
Counts
mine
200
100
0
% 56 Hexahydrite
% 44 Quartz
56 %
44 %
Quartz; Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Quartz
Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Quartz; Hexahydrite, syn
Quartz
10
20
30
40
50
60
70
Position [°2Theta]

Ek-7. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerine ait jeotermometre hesaplamaları

Ek-7.a. Çalışma alanındaki örneklere ait silis jeotermometre uygulamaları

Örnek adı	Tarih	T^0C_0	T^0C_1	T^0C_2	T^0C_3	T^0C_4	T^0C_5	T^0C_6	T^0C_7	T^0C_8	T^0C_9
BD-4	19.02.2011	128	148.4	154.5	128.8	32.7	104.2	55	129.9	154.6	147.3
BD-6	19.02.2011	129	87.8	83.7	50.6	-29.5	33.6	-12	52.4	83.5	86.7
BD-8	19.02.2011	59	102.9	100.9	69.2	-14.8	50.5	3.8	70.9	100.9	101.7
BD-9	19.02.2011	139	116.3	116.5	86.1	-1.4	65.8	18.3	87.7	116.4	115.1
B-10	19.02.2011	97.7	53.9	45.64	10.77	-60.7	-2.9	-45.5	12.7	45.3	52.8
BD-11	19.02.2011	140	104.8	103.1	71.5	-13.01	52.58	-5.8	73.2	102.9	103.6
BD-14	19.02.2011	112	98.3	95.7	63.5	-19.3	45.3	-1.03	65.2	95.6	97.2
BD-15	19.02.2011	56	104.8	103.1	71.5	-13.01	52.58	5.8	73.2	102.9	103.6
BD-2	10.10.2009	117.5	131.7	134.6	106.5	14.65	83.9	35.6	107.7	134.6	130.6
BD-8	10.10.2009	63.6	87.8	83.7	50.6	-29.5	33.6	-11.9	52.4	83.5	86.7
B-10	10.10.2009	102.5	101.1	98.8	66.9	-16.7	48.4	1.85	68.6	98.7	99.9
BD-15	10.10.2009	54	121.3	122.4	92.6	3.74	71.7	23.8	94.1	122.3	120.1
BD-12	10.10.2009	28	124.4	125.9	96.6	6.9	75.3	27.2	98.1	125.9	123.2

T^0C_0: Örneğin alındığı andaki sıcaklığı

T^0C_1: [1533.5/(5.768-$LogSiO_2$)-273.15]-Kuvarsın adiyabatik (maksimum buhar kaybı) soğuması (125^0C-275^0C)

T^0C_2: [1315/(5.205-$LogSiO_2$)-273.15]-Kuvarsın kondüktiv soğuması (125^0C-275^0C)

T^0C_3: [1015/(4.655-$LogSiO_2$)-273.15]-Kalsedonun kondüktiv soğuması (125^0C-275^0C)

T^0C_4: [731/(4.52-$LogSiO_2$)-273.15]-Amorf Silis- Fournier, 1977a

T^0C_5: [1000/(4.78-$LogSiO_2$)-273.15]-SiO_2 (α Kristobalit)- Fournier, 1977a

T^0C_6: [781/(4.51-$LogSiO_2$)-273.15]-SiO_2 (β Kristobalit)- Fournier, 1977a

T^0C_7: [1032/(4.69-$LogSiO_2$)-273.15]-SiO_2 (Kalsedon)- Fournier, 1977a

T^0C_8: [1309/(5.19-$LogSiO_2$)-273.15]-SiO_2 (Kuvars)- Fournier, 1977a

T^0C_9: [1032/(4.69-$LogSiO_2$)-273.15]-SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)- Fournier, 1977a

Ek-7.b. Çalışma alanındaki örneklere ait iyon değişim jeotermometreleri uygulamaları

Örnek adı	Tarih	T^0C_0	T^0C_1	T^0C_2	T^0C_3	T^0C_4	T^0C_5	T^0C_6	T^0C_7	T^0C_8
BD-4	19.02.2011	128	152.4	158.6	193.4	-1341.3	-3.9	134.7	256.9	293
BD-6	19.02.2011	129	153.7	159.8	194.4	-1352.6	-4.5	136.5	266.1	250
BD-8	19.02.2011	59	155.8	161.7	195.9	248.1	-2.4	129.8	256.8	275
BD-9	19.02.2011	139	151.5	157.7	192.6	251.6	-4.6	137.1	258.1	296
B-10	19.02.2011	97.7	159.7	165.4	198.9	249.6	2.9	117.9	251.7	217
BD-11	19.02.2011	140	158.9	164.7	198.3	254.2	-7.3	142.9	265.9	303
BD-14	19.02.2011	112	161.4	166.9	200.2	254.4	-4.1	134.7	262.3	270
BD-15	19.02.2011	56	157.4	163.2	197.2	248.3	0.7	122.6	253.7	243
BD-2	10.10.2009	117.5	183	186.9	216.3	239.4	-11.5	139	266.3	328
BD-8	10.10.2009	63.6	185.6	189.3	218.2	226.9	-7.7	123.5	272.6	311
B-10	10.10.2009	102.5	184	187.9	217.1	253.3	-3.5	126.2	268.2	280
BD-15	10.10.2009	54	184.8	188.7	217.7	243.6	-3.6	122.2	268.2	285
BD-12	10.10.2009	28	187.1	190.7	219.3	137.2	40.8	19.1	214.3	148

T^0C_0: Örneğin alındığı andaki sıcaklığı

T^0C_1: [777/(0.70+LogNa/K)-273.15]- Na/K-Arnorsson ve diğ., 1983

T^0C_2: [856/(0.857+LogNa/K)-273.15]- Na/K-Truesdell, 1976

T^0C_3: [1217/(1.483+LogNa/K)-273.15]- Fournier, 1979a

T^0C_4: [1590/(0.779-LogNa/Li)-273.15]- Kharaka ve diğ., 1982

T^0C_5: [4410/(13.95-LogK^2/Mg)-273.15]- Giggenbach vd., 1983

T^0C_6: [2200/(5.470-LogLi/$Mg^{0.5}$)-273.15]- Kharaka ve Mariner, 1989

T^0C_7: [1647/(Log Na/K+βLog√Ca/Na+2.24-273.15], (β=1/3 için)- Fournier ve Truesdell, 1973

T^0C_8: R= Mg/(Mg+Ca+K)*100- Fournier ve Potter, 1979

Ek-7.c. Çalışma alanındaki örneklere ait Aquachem 3.70 ile hesaplanan jeotermometre sıcaklıları

Örnek adı	Tarih	T^0C_0	T^0C_1	T^0C_2	T^0C_3	T^0C_4	T^0C_5	T^0C_6	T^0C_7	T^0C_8	T^0C_9	T^0C_{10} (β=1/3)	T^0C_{11}
BD-4	19.02.2011	128	22	140	249	142	136	152	159	211	193	184	109 (R=15.6)
BD-6	19.02.2011	129	21	143	251	145	139	154	160	212	194	191	96 (R=18.7)
BD-8	19.02.2011	59	23	135	248	142	136	156	162	214	196	183	101 (R=17.2)
BD-9	19.02.2011	139	21	143	252	145	139	153	159	212	194	184	111 (R=15)
B-10	19.02.2011	97.7	29	121	250	143	137	160	165	217	199	180	75 (R=23.6)
BD-11	19.02.2011	140	18	150	254	148	141	159	165	217	198	191	124 (R=12.9)
BD-14	19.02.2011	112	23	140	254	148	141	161	167	219	200	188	102 (R=17.1)
BD-15	19.02.2011	56	26	126	248	142	136	157	163	216	197	181	84 (R=21)
BD-2	10.10.2009	117.5	14	146	239	133	129	183	187	237	216	197	160 (R=7.4)
BD-8	10.10.2009	63.6	19	127	227	121	119	186	189	239	218	195	138 (R=10.8)
B-10	10.10.2009	102.5	23	130	253	147	140	184	188	238	217	192	112 (R=15.4)
BD-15	10.10.2009	54	23	126	244	137	132	185	189	238	218	192	115 (R=14.8)
BD-12	10.10.2009	28	56	9	137	36	46	187	191	240	219	152	42 (R=34.7)

T^0C_0: Örneğin alındığı andaki sıcaklığı

T^0C_1:K/Mg, Giggenbach 1983)

T^0C_2: Mg/Li, Kharaka, 1989

T^0C_3: Na/Li, Kharaka, 1989

T^0C_4: Na/Li, (Cl<10000 ppm), Fouillac, 1981

T^0C_5: Na/Li, (Cl>10000 ppm), Fouillac, 1981

T^0C_6: Na/K, Fournier, 1973

T^0C_7: Na/K, Truesdell, 1976

T^0C_8: Na/K, Fournier ve Potter, 19??

T^0C_9: Na/K, Fournier, 1979

T^0C_{10}: Na-K-Ca, Fournier, 1979

T^0C_{11}: Na-K-Ca, Mg Düzeltmeli, Fournier, 1979

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	**:** Mine Alacalı
Doğum Yeri ve Yılı	**:** İzmir, 1972
Medeni Hali	**:** Bekar
Yabancı Dil	**:** İngilizce

Eğitim Durum	**:**
Lise	**:** 1983-1990 İzmir Özel Çamlaraltı Koleji
Lisans	**:** 1990-1996 Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	**:** 2003-2006 Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çalıştığı Kurum ve Yıl	**:** 2000-…Balçova Belediyesi-İzmir

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)

Alacalı, M., 2000. Local Agenda 21, Geothermal Energy and Applications in Balçova, 16p. İzmir.

Alacalı, M. International Aegean Geothermal Days, Balçova Geothermal System and District Heating System, İzmir, October, 2001, pp.

Alacalı, M., 24th New Zealand Geothermal Workshop, 2002, Geological Assesment of the Te Puia Thermal Area, East Cost, pp.

Alacalı, M., Local Agenda 21, 2004, National Fair and Symposium of NGO's, Geothermal Application of Balçova and Its' Geological Structure, pp.

Yılmazer, S., Alacalı M., 2005. Distribution of Hot Water Resources and Potential of İzmir Province. World Geothermal Congress, Antalya-Türkiye, 24-29 April, 2005.

Alacalı, M., 2006. İzmir Balçova Geothermal Field, Proceedings 31st Stanford Geothermal Workshop on Reservoir Engineering, SGP-TR-179, Jan. 30 – Feb. 1, 2006.