KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

URGANLI (TURGUTLU-MANİSA) JEOTERMAL ALANININ JEOLOJİSİ VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS

Jeoloji Müh. Serkan VURAL

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Suzan PASVANOĞLU

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

URGANLI (TURGUTLU-MANİSA) JEOTERMAL ALANININ JEOLOJİSİ VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 MAYIS 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 19 HAZİRAN 2009

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. Suzan PASVANOĞLU
(.....)

Üye
Yrd.Doç.Dr. Fatma GÜLTEKİN
(.....)

Üye
Yrd.Doç.Dr. Şerafeddin ÇAKIR
(.....)

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Günümüzde artan enerji ihtiyacına yönelik olarak alternatif enerji kaynağı araştırmaları hızla devam etmektedir. Bu amaç doğrultusunda mevcut jeotermal alanların geliştirilmesi, tanımlanması ve yeni jeotermal alanların keşfi gibi çalışmalar önem kazanmaktadır. Batı Anadolu'da Manisa ili sınırları içinde bulunan Turgutlu-Urganlı jeotermal alanı da 2001 yılından itibaren sera ısıtmacılığı açısından aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Bu nedenle yüksek lisans tez çalışması kapsamında Urganlı jeotermal alanının potansiyelini ve oluşum modelini ortaya koyabilmek için ilk defa derin sondaj verilerinden yararlanarak jeotermal jeoloji, hidrojeokimya ve izotop kimyası çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle tez çalışmamı yürüten, her türlü fikir ve görüşünü benden esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Suzan PASVANOĞLU'na; çalışmalarımın başından sonuna kadar bilgi ve tecrübesini, destek ve yardımlarını eksik etmeyen, tartışmalarıyla bana yol gösteren Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti.'nin yöneticisi Sayın Dr. Servet YILMAZER'e; arazi, büro çalışmalarında ve örnekleme sırasında büyük yardımını gördüğüm Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti. çalışanlarından Jeo. Müh. Sayın Ali YAKABAĞ'a; jeokimyasal yorumlamalarda bana yardımcı olan Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sayın Gültekin TARCAN'a; kimyasal analizlerin yapılmasında katkılarından dolayı Hacettepe Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sayın Serdar Bayarı'ya ve Dr. Sayın Nur Özyurt'a; büro çalışmalarındaki emeklerinden dolayı Sayın Nalan DAĞHAN'a; her türlü katkı ve desteklerinden dolayı arkadaşlarım Jeo. Müh. Sayın F. Burcu GÜNGÖR'e ve Kim. Sayın Olcay KOCA'ya; ayrıca bana çalışma ortamını sağlayan ve her türlü ihtiyacımı karşılayan Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti.'ye çok teşekkür ederim. Son olarak, bana her zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sabır ve anlayışlarından dolayı sonsuz saygı ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER vii
ÖZET viii
İNGİLİZCE ÖZET ix
1. GİRİŞ 1
2. JEOTERMAL ENERJİ 2
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
4. MATERYAL ve YÖNTEM 10
5. COĞRAFİ DURUM 15
5.1. Çalışma Alanının Konumu 15
5.2. Morfoloji 18
5.3. İklim ve Bitki Örtüsü 19
6. JEOLOJİ 22
6.1. Stratigrafi 22
6.1.1. Paleozoyik 22
6.1.2. Mesozoyik 26
6.1.3. Senozoyik 26
6.2. Tektonik 30
7. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR 34
7.1. Rezistivite Çalışmaları 34
8. HİDROJEOLOJİ 36
8.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri 36
8.2. Sıcak ve Soğuksu Kaynakları 37
8.3. Sıcaksu Sondajları 37
9. KUYULARIN ISI POTANSİYELLERİ 45
10. KUYULARDA İŞLETİM PROBLEMLERİ 47
10.1. EU-7,8,9 Nolu Üretim Kuyularda Yapılan Girişim Testleri 50
11. URGANLI YÖRESİ SICAK SULARININ OLUŞUM MODELİ 55
12. URGANLI BÖLGESİ SULARININ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ 58
12.1. Suların Sınıflandırılması ve Grafiklerle Gösterimi 67
12.1.1. Schoeller diyagramı 67
12.1.2. Piper ve Langeiler-Ludwig diyagramı 69
12.1.3. Cl-SO_4-HCO_3 Giggenbach diyagramı 71
12.1.4. Cl-Li-B diyagramı 72
12.2. Sularının Köken Benzerliklerinin İrdelenmesi 73
12.2.1. Suların kimyasal parametreleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi 74
12.2.2. Sıcaklık-SiO_2 dağılımı 77
12.2.3. pH-Elektriksel iletkenlik dağılımı 77
12.2.4. Sodyum-Bikarbonat dağılımı 80
12.2.5. Klor-Bor dağılımı 81

12.3. Suların İz Element Analizlerinin Grafiklerle Gösterimi 84
12.4. Suların İçilebilme Özellikleri 86
12.5. Suların Tarımda Kullanılma Özellikleri 91
12.5.1. Sodyum tehlikesi (SAR) ve ABD tuzluluk diyagramı 92
12.5.2. Wilcox diyagramı 94
12.5.3. Klor ve bor tehlikesi 95
12.6. Suların Mineral Doygunluk Özellikleri 96
13. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI 100
13.1. Kimyasal Jeotermometreler 101
13.2. Birleşik (Kombine) Jeotermometreler 104
13.3. Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi 107
14. İZOTOP KİMYASI 111
14.1. Urganlı Sularında $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ İlişkisi 114
14.2. Urganlı Sularında $\delta^{2}H$-^{3}H İlişkisi 116
14.3. Urganlı Sularında ^{3}H-EC, ^{3}H-Cl İlişkileri 117
14.4. Urganlı Sularında $\delta^{13}C$ Değeri 118
14.5. Beslenme Alanı Yüksekliğinin $\delta^{2}H$ İzotopuyla Saptanması 122
15. TRAVERTENLER 123
16. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 129
KAYNAKLAR 134
EKLER 140
ÖZGEÇMİŞ 147

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Jeotermal sistemin oluşum modeli 3
Şekil 4.1: Yapılan çalışmaların akış şeması 10
Şekil 4.2: Örnekleme ve ölçüm yapılan noktaları gösterir kroki 11
Şekil 5.1: İnceleme alanının yer belirleme haritası 16
Şekil 5.2: İnceleme alanının kuzeyden görünüşü 17
Şekil 5.3: İnceleme alanının güneyden görünüşü 17
Şekil 5.4: İnceleme alanının topoğrafik haritası 18
Şekil 5.5: Turgutlu bölgesine ait su durum grafiği 21
Şekil 6.1: İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti 23
Şekil 6.2: İnceleme alanı kuzeyinde mostra veren şistlerden görünüm 24
Şekil 6.3: İnceleme alanı kuzeydoğusunda mostra veren mermerlerden görünüm ... 24
Şekil 6.4: İnceleme alanının jeoloji haritası 25
Şekil 6.5: İnceleme alanında bulunan çakıltaşlarından bir görünüş 27
Şekil 6.6: Kule tepe güneyinde mostra veren kumtaşı-çakıltaşı ardalanması 28
Şekil 6.7: Aktepe ve güneyinde mostra veren killi kireçtaşları 28
Şekil 6.8: Yatay travertenlerin üzerinde oluşan duvarımsı genç travertenler 29
Şekil 6.9: Dikey konumlu genç travertenler 29
Şekil 6.10: Batı Anadolu'nun tektonik görünümü 30
Şekil 6.11: İnceleme alanında A-A^{l} hattından geçen jeoloji enine kesiti 32
Şekil 6.12: İnceleme alanında B-B^{l} hattından geçen jeoloji enine kesiti 33
Şekil 7.1: Urganlı jeotermal alanı için AB/2= 500 m için eş özdirenç haritası 35
Şekil 8.1: Sondaj çalışmalarından genel bir görünüm (EU-8 nolu kuyu) 38
Şekil 8.2: İnceleme alanındaki sıcaksu kuyularının panel diyagramı 39
Şekil 8.3: Sondaj çalışmalarında binoküler mikroskopla kırıntıların incelenmesi 40
Şekil 8.4: Sondaj kırıntılarında gözlenen kayma izi belirtilerinin genel görünüşü 40
Şekil 8.5: Sıcaksu kuyularına ait isale hatlarının şematik gösterimi 42
Şekil 8.6: Sıcak suların isale hattı ile seralara götürülmesi 43
Şekil 8.7: Seperatör tankı (U-1 kuyusu) 43
Şekil 8.8: Eşanjör sisteminin temel çalışma prensibi 44
Şekil 10.1: U-1 (M.T.A) kuyusunda meydana gelen kabuklaşma 48
Şekil 10.2: Eşanjör içi kabuklaşma oluşumu 48
Şekil 10.3: İsale hattı borularında meydana gelen kabuklaşma 49
Şekil 10.4: EU-9 nolu kuyuda girişim test çalışması 50
Şekil 10.5: EU-7 nolu kuyuda girişim test çalışması 51
Şekil 10.6: EU-9 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi.. 52
Şekil 10.7: EU-8 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi.. 53
Şekil 10.8: EU-7 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi.. 54
Şekil 11.1: Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli 57
Şekil 12.1: İnceleme alanında örnekleme yapılan noktaları gösteren kroki 59
Şekil 12.2: EU-7 nolu kuyudan örnek alımı 60
Şekil 12.3: Kaynak başlarında yapılan ölçümler 60
Şekil 12.4: İnceleme alanı sularının majör iyon dağılımları 65
Şekil 12.5: İnceleme alanı sularının Schoeller diyagramında gösterimi 67

Şekil 12.6: İnceleme alanı sularının Piper diyagramında gösterimi 69
Şekil 12.7: Urganlı sularına ait Langeiler-Ludwig diyagramı 70
Şekil 12.8: Urganlı sularına ait Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramı 71
Şekil 12.9: Urganlı sularına ait Cl-Li-B üçgen diyagramı 73
Şekil 12.10: Suların eş sıcaklık ve SiO_2 dağılım haritaları 78
Şekil 12.11: Suların eş pH ve EC dağılım haritaları 79
Şekil 12.12: Suların eş Na ve HCO_3 dağılım haritaları 82
Şekil 12.13: Suların eş Cl ve B dağılım haritaları 83
Şekil 12.14: Suların iz metal derişimlerinin sütun diyagram ile gösterimi 85
Şekil 12.15: Suların iz metal derişimlerinin sütun dağılım diyagramı 85
Şekil 12.16: Urganlı suları için hazırlanan Schoeller içilebilme diyagramı 87
Şekil 12.17: İnceleme alanı sularının ABD tuzluluk diyagramında gösterimi 93
Şekil 12.18: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramında gösterimi 95
Şekil 12.19: Suların mineral doygunluk indekslerinin gösterimi 99
Şekil 13.1: Suların Na-K-Mg üçgen diyagram üzerindeki dağılımı 105
Şekil 13.2: Suların 10K/(10K+Na)-10 Mg/(10 Mg+Ca) diyagramı 106
Şekil 13.3: EU-1 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı 108
Şekil 13.4: EU-8 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı 108
Şekil 13.5: EU-7 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı 109
Şekil 13.6: EU-6 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı 109
Şekil 13.7: Sıcaksu kaynağına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı 110
Şekil 14.1: İnceleme alanı sularının $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ grafiği 114
Şekil 14.2: Suların Trityum (^{3}H)-Döteryum ($\delta^{2}H$) grafiği 116
Şekil 14.3: Suların Trityum (^{3}H)-Cl grafiği 117
Şekil 14.4: Suların EC (µS/cm)-Trityum (^{3}H) grafiği 118
Şekil 14.5: Farklı doğal ortamlardaki $\delta^{13}C$ değerinin değişim aralığı 120
Şekil 14.6: Urganlı yöresine ait suların HCO_3-$\delta^{13}C$ ilişkisi 121
Şekil 14.7: Urganlı yöresine ait suların EC-$\delta^{13}C$ ilişkisi 121
Şekil 15.1: Bölgedeki traverten yayılımları ve sıcak su noktaları 124
Şekil 15.2: Yatay tabakalanma gösteren yaşlı travertenler 125
Şekil 15.3: Duvarımsı görünümdeki genç travertenler 125
Şekil 15.4: Dikey konumlu genç travertenler 126
Şekil 15.5: Güncel traverten oluşumları 126

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım yerleri 5
Tablo 4.1: Arazide kaynak ve kuyu başlarında yapılan ölçümlere ait bilgiler..... 13
Tablo 5.1: Throntwhite yöntemine göre hesaplanan deneştirmeli nem bilançosu..... 20
Tablo 8.1: İnceleme alanında yapılan sıcaksu sondajlarına ait bilgiler 41
Tablo 9.1: Kuyuların görünür ısı potansiyelleri..... 46
Tablo 12.1: EU-1 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları 61
Tablo 12.2: EU-8 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları 61
Tablo 12.3: EU-7 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları 62
Tablo 12.4: EU-6 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları 62
Tablo 12.5: Sıcaksu kaynağının kimyasal analiz sonuçları 63
Tablo 12.6: Soğuksu sondajının kimyasal analiz sonuçları 63
Tablo 12.7: Gediz nehrinin kimyasal analiz sonuçları..... 64
Tablo 12.8: Sıcaksu kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (mg/l) 64
Tablo 12.9: A.I.H'ye göre özel elemanlar ve sınır değerleri 66
Tablo 12.10: Sularda bulunan iyonların dizilimi ve su tipleri 68
Tablo 12.11: Suların kimyasal özellikleri arasındaki doğrusallık ilişkileri 75
Tablo 12.12: Urganlı bölgesi sularının iz metal analiz sonuçları (mg/l)..... 84
Tablo 12.13: Urganlı yöresi sularının sertlik derecelerine göre sınıflandırılması 88
Tablo 12.14: İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik 89
Tablo 12.15: Kaplıcalar yönetmeliğinde belirtilen parametrelerin sınır değerleri..... 90
Tablo 12.16: Urganlı yöresi sularının SAR değerlerine göre sınıflandırılması 92
Tablo 12.17: Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması 94
Tablo 12.18: Sıcak ve soğuk suların doygunluk indeksi değerleri 98
Tablo 13.1: Jeotermometre değerlendirmelerinde kullanılan bazı eşitlikler 102
Tablo 13.2: Kimyasal jeotermometre hesaplamalarının sonuçları..... 103
Tablo 13.3: Mineral denge-sıcaklık diyagramlarına göre hazne sıcaklıkları..... 107
Tablo 14.1: İnceleme alanı sularına ait izotop analiz sonuçları..... 113
Tablo 15.1: Genç traverten analiz sonuçları 127
Tablo 15.2: Yaşlı traverten analiz sonuçları 127

SİMGELER

B	: Batı
D	: Doğu
EC	: Electrical Conductivity (Elektriksel iletkenlik)
Fr	: Suların Fransız sertlik derecesi
G	: Güney
K	: Kuzey
MWt	: Enerji birimi, megavat-termal
KW/h	: Enerji birimi, kilovat-saat
P	: Yağış (mm)
Pl_1	: Alt Pliyosen
Pl_2	: Üst Pliyosen
T	: Sıcaklık
^oC	: Sıcaklık ölçü birimi
Etp	: Potansiyel buharlaşma-terleme
Etr	: Gerçek buharlaşma-terleme
g	: gram
h	: saat
kg	: kilogram
l	: litre
l/s	: litre/saniye
mg/l	: Bir litre sudaki çözünmüş madde konsantrasyonunu
meq/l	: Bir litre suda çözünmüş iyonların miliekivalen değerleri
s	: Saniye
µS/cm	: Elektriksel iletkenlik birimi
%Na	: Sodyum yüzdesi
% e	: İyon dengesi, hata yüzdesi
Ω	: Direnç (1 ohm)

Kısaltmalar

A.I.H	: International Association of Hydrogeologist (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği)
A.Ş	: Anonim Şirketi
D.I.C	: Dissolved Inorganic Carbon (Çözünmüş İnorganik Karbon)
I.A.E.A	: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Ajansı)
Ltd.	: Limited
M.T.A	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PDB	: Karbon izotopu için Pee Dee Belemnite standartı
SMOW	: Standart Mean Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu)
SAR	: Sodium Adsoption Ratio (Sodyum Adsorbsiyon Oranı)
Şti.	: Şirket
TDS	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Madde Miktarı)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

URGANLI (TURGUTLU-MANİSA) JEOTERMAL ALANININ JEOLOJİSİ VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Serkan VURAL

Anahtar Kelimeler: Urganlı, oksijen-18, döteryum, trityum ve karbon-13 izotopları, jeotermal, kaplıca, sera, sondaj.

Özet: Urganlı jeotermal alanı, Manisa ili Turgutlu ilçesine bağlı Urganlı beldesinin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer almaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde temeli Paleozoyik yaşlı şist ve mermerler oluşturur. Paleozoyik yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla Neojen yaşlı çökeller yer alır. Kuvaterner yaşlı, duvarımsı görünümlerde yayılım gösteren travertenler dikkat çekicidir. Yine Kuvaterner yaşlı oluşuklardan alüvyonlar Gediz ovasında geniş yayılım göstermektedir. İnceleme alanında tektonik etkinlikler oldukça fazladır. Kargın köyünden Akköy'e doğru uzanan yaklaşık D-B uzanımlı Cambazlı fayı bölgenin en önemli fayı olup, sıcak ve mineralli su kaynakları bu fayın etkinliğinde çıkmaktadır. Bölgede sondajlı çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre; Neojen yaşlı tortulların geçirimli seviyeleri, jeotermal alanın birinci rezervuarını oluştururken, Paleozoyik yaşlı şist ve mermerler, çatlaklı-karstik yapıda olmasından dolayı jeotermal alanın ikinci rezervuarını ve en önemli sıcaksu hazne kayaçlarını oluşturmaktadırlar. Neojen yaşlı killi marnlı seviyeler permabilite değerleri düşük olduğundan örtü kaya özelliğindedir. Alanda açılan kuyuların derinlikleri 280-605 m arasında, debileri ise 15-40 l/s'dir. Urganlı bölgesi sıcak ve mineralli sularının sıcaklıkları; kaynaklarda 50-75°C olup, sondajlarda ise 62-83°C arasındadır. Mevcut sıcak su kuyularından Urganlı jeotermal alanının görünür ısı potansiyeli 24.96 MWt olarak hesaplanmıştır. Suların pH değerleri ise, nötre yakın değerler göstermektedir. İnceleme alanında bulunan kaynak ve sondajlardan alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre; sıcak ve mineralli sular sodyum bikarbonatlı su tipinde olup bor içerikleri oldukça fazladır. Jeotermometre uygulamalarından en yüksek hazne kaya sıcaklığının 80-105°C arasında olduğu hesaplanmıştır. Oksijen-18, döteryum ve trityum izotop içeriklerine göre, inceleme alanı sıcak ve mineralli sularının meteorik kökenli ve derin dolaşımlı olduğu saptanmıştır. Karbon-13 izotop sonuçlarına göre ise, sıcak sulardaki CO_2'in kökeninin daha çok denizel kökenli karbonatlardan ya da metamorfik CO_2'den kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

GEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF URGANLI (TURGUTLU-MANISA) GEOTHERMAL FIELD

Serkan VURAL

Keywords: Urganlı, oxygen-18, deuterium, tritium and carbon-13 isotopes, spa, geothermal, greenhouse, drilling.

Abstract: Urganlı geothermal field is located approximately 5 km north of Urganlı Town in the district of Turgutlu, in the province of Manisa. Paleozoic aged metamorphic rocks form the basement of the immediate surroundings. On the Paleozoic aged units, there locates old Neogene deposits with angular unconformity. Quaternary aged, wall-like travertine distributions are remarkable in this area. Since quaternaries are aged, alluviums show wide ranged existence in Gediz Delta. Tectonic activities are considerably high in the research area. Cambazlı fault, bordering Gediz Graben from north and having the E-W elongation from Kargın Village to Akköy, is the most important fault in the zone. Thermal and mineral water springs are resulted from this fault activity here. According to the statistics made after drilling studies; while Neogene old sediments' permeable levels form the primary reservoirs of the geothermal area, Paleozoic old schists and marbles; since they are in cracked-carstic structure; form the secondary reservoir and the most important thermal source rocks of the geothermal area. Neogene aged surfaces with marn, have the properties of cap rock, since they have low permeability. Depths of the drilling wells are in the range of 280-605 meters and flow rates are measured as around 15-40 l/s. The temperatures of Urganlı thermal and mineral waters are in the range of 50-75°C in the springs and 62-83°C in the drilling wells. Urganlı Geothermal area's apparent heat potential is calculated as 24.96 MWt from the present hot spring wells. pH values of the waters show numerical values around neutral pH values. According to the water samples taken from springs and drillings, their chemical analysis results show that thermal and mineral waters are of sodium bicarbonated water type, containing high amount of boron. Highest source rock temperatures are obtained to be between 80-105^{o}C from geothermometer applications. Related with the oxygen-18, deuterium and tritium isotopes content, thermal and mineral waters in the research area are observed to be meteoric originated and deep cycle. With the results of carbon-13 isotopes, it is concluded that, the origin of the CO_2 in the thermal waters is more likely to originate from marine carbonate or metamorphic rocks.

1. GİRİŞ

Manisa ili Turgutlu ilçesi sınırlarında kalan Urganlı jeotermal alanında yapılan incelemeler 1940'lı yıllardan bu yana aralıklı olarak çeşitli kuruluşlar ve disiplinler tarafından devam ettirilmiştir. M.T.A tarafından 2001 yılında yapılan jeofizik etüt ve ilk sondaj çalışmasından sonra, 2005 yılından itibaren de özel sektör tarafından bölgede ısıtma amaçlı sondaj çalışmalarına devam edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında Urganlı jeotermal alanın jeolojisi sondaj verileri ışığında yeniden değerlendirilmiş ve daha önceki çalışmalara nazaran, sıcaksu örneklemelerinde ilk defa derin sondaj verileri kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile Urganlı jeotermal alanındaki kaynak ve sondajlardan örnekler alınarak kimyasal analizleri yaptırılmış ve bu analizler, bugün literatürde kullanılmakta olan yeni yöntemlerle değerlendirilmeye çalışılarak jeotermal sistemi oluşturan akışkanın kimyasal karakteri, rezervuar sıcaklığı, akışkan-mineral denge olayı, sularda ve travertenlerde izotop bileşimleri, kuyuların görünür ısı potansiyeli hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen tüm verilere dayanarak jeotermal sistemin oluşum modeli açıklanmıştır.

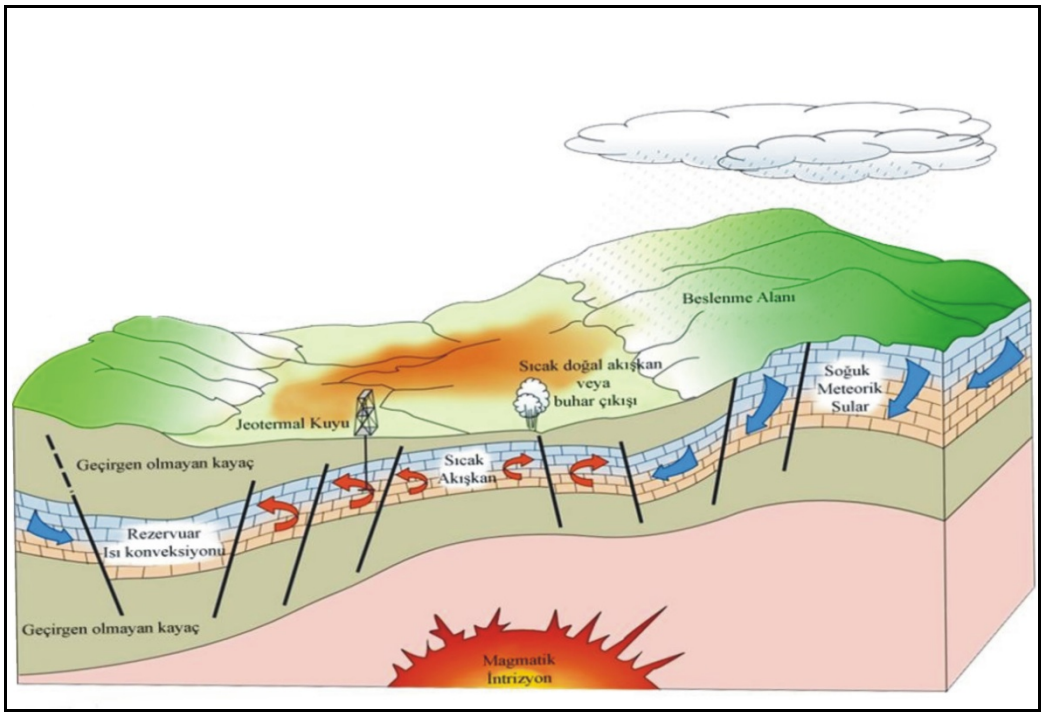
2. JEOTERMAL ENERJİ

Son yüzyıldaki artan enerji ihtiyacına karşı doğrudan kullanım yöntemlerine ve elektrik üretimine yönelik gelişmeler, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin bir uzmanlık dalı ve dünya için vazgeçilemez bir alternatif enerji kaynağı olmasını sağlamış durumdadır [42].

Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde oluşan, doğal olarak veya sondajlar yardımı ile yeryüzüne çıkarılan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren, sıcaklığı bölgesel atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve ekonomik olarak kullanılabilen yer ısı enerjisidir [26]. Jeotermal enerjinin en önemli ısı kaynağı magmadır. Yer kabuğu içinde belirli derinliklerde kondüksiyon ve konveksiyon akımlar ile ısınan termal sular, zayıflık zonlarından yeryüzüne doğru yükselir ve doğal sıcaksu kaynakları olarak ya da sondajlar yardımı ile yeryüzüne ulaşır [26,42]. Normal olarak yerin derinliklerine doğru bir sıcaklık artışı söz konusudur. Bu sıcaklık artışı, 33 m'de 1°C iken, jeotermal alanlarda ise bu değer birkaç metrede 1°C'ye kadar artmaktadır. Bu tür yüksek ısı gradyanlı yerler genellikle yer kabuğunun inceldiği zayıflık zonlarıdır. Isı akısının yüksek olduğu bu zayıflık zonlarına magmatik sokulumlar olabilmektedir. Buralardan da yeryüzüne doğru ısı transferi gerçekleşmektedir [68].

Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduğu için, atmosferik koşullar devam ettiği sürece jeotermal kaynaklar yenilenebilmektedir [26]. Jeotermal enerjiyi önemli kılan da yenilenebilir olmasıdır.

Jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler, yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısı transferini yapan akışkan (su), akışkanı bünyesinde tutan hazne kaya ve ısının kaybını önleyen örtü kayadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Jeotermal sistemin oluşum modeli

Isı Kaynağı: Tektonik faaliyetlerin yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur. Genellikle deprem kuşakları, volkanik alanlar, okyanus ortası sırtlar ve ada yayları yüksek ısı akısına sahip olduğu için jeotermal enerji açısından önemli yerlerdir [26,68].

Akışkan: Yeryüzüne düşen yağış suları daha sonra kırık ve çatlaklı zonlardan süzülerek derinlerdeki ısıtıcı kaynağa yakınlaşırlar. Yeraltına süzülen bu sular, kondüksiyon yoluyla ısınmış kayaçların ısısını alarak yeryüzüne veya hazne kayalara doğru taşınır ve sistemin akışkanını oluştururlar. Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduklarından, yeraltındaki hazneler sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu nedenle pratikte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça ve re-enjeksiyon çalışmaları ihmal edilmedikçe jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir [26].

Hazne kaya: Hazne kayanın gözenekli ve geçirgen olması gerekmektedir. Böylece konveksiyon ısı akımları iyi gelişeceğinden ısı yenilenmesi de hızlı olacaktır. Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen meteorik sular derinlerde ısındıktan sonra gözenekli ve geçirimli olan hazne kaya içinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşırlar ve jeotermal kaynakları oluştururlar [62,63].

Örtü kaya: Jeotermal sistemlerde, hazne kayada bulunan akışkan ve ısının yüzeye çıkışını önleyen geçirimsiz birimler örtü kayayı oluşturur. Üzeri geçirimsiz bir örtü kaya ile kaplanan ve genelde yeryüzüne ulaşamayan hazne kaya içerisindeki jeotermal akışkan, sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır ve sıcaklığına bağlı olarak amaca göre kullanılır (Elektrik, ısıtma, kaplıca…vb) [26].

Jeotermal enerji sıcaklıklarına göre şu şekilde sınıflandırılabilir [26]:

- Düşük sıcaklıklı sular : 20^oC -70^oC
- Orta sıcaklıklı sular : 70^oC -150^oC
- Yüksek sıcaklıklı sular : > 150^oC

Jeotermal enerji sıcaklıklarına göre farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bununla ilgili olarak Lindal (1973) tarafından hazırlanan, jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım alanlarını içeren sınıflama Tablo 2.1'de verilmiştir. Burada belirtilen sıcaklıklara göre kullanım yerlerinin çoğu entegre olarak birbirine dayalıdır [68].

Tablo 2.1: Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım yerleri [28]

180 °C	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, Amonyum absorbsiyonu ile soğutma
170 °C	Hidrojen sülfit yolu ile ağırsu eldesi, Diyatomitlerin kurutulması
160 °C	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150 °C	Bayer's yolu ile alüminyum eldesi
140 °C	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservecilikte)
130 °C	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120 °C	Temiz su eldesi, Tuzluluk oranının arttırılması
110 °C	Çimento kurutulması
100 °C	Organik maddeleri kurutma (Et, sebze vb). Yün yıkama ve kurutma
90 °C	Balık kurutma
80 °C	Ev ve sera ısıtma
70 °C	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)
60 °C	Kümes ve ahır ısıtma
50 °C	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar
40 °C	Toprak ısıtma, kent ısıtması (Alt sınır), sağlık tesisleri
30 °C	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20 °C	Balık çiftlikleri

Tabloda işaret edilmemekle beraber, günümüzde geliştirilen yeni teknolojiler yardımı ile 120^{o}C'den yüksek sıcaklıktaki sularla elektrik üretimi mümkün olabilmektedir.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Turgutlu-Urganlı jeotermal alanının Gediz grabeni içersinde önemli bir potansiyele sahip olması nedeniyle çeşitli disiplinlerden ve kurumlardan birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazılarına tarih sıralamasına göre aşağıda değinilmiştir.

Çağlar, K.Ö., (1947), M.T.A bünyesinde yaptığı çalışma kapsamında Urganlı kaplıcaları ve çevresindeki sıcaksu kaynaklarından yaptığı örneklemeler sonucunda suların sıcaklığının ortalama 45-76^{o}C arasında değiştiğini, 25-250 mg/l arasında değişen serbest karbondioksit içerdiğini ortaya koymuş ve radyoaktivite ölçümleri yapmıştır. Sıcaksu kaynaklarında radyoaktivite değerlerinin 0.61-5.1 eman arasında olduğunu saptamıştır.

Ürgün, S., (1966), Urganlı kaplıcaları ve civarında detay jeoloji ve hidrojeoloji çalışmaları yapmıştır. Alanda yaygın olarak görülen travertenleri 1/1000 ölçeğinde haritalamış ve bütün sıcaksu kaynaklarını bu harita üzerine işleyerek suların fiziksel özelliklerini de belirtmiştir. Ayrıca, 1968 yılında kaplıca ve çevresindeki kaynaklarda örneklemeler yaparak kimyasal yorumlamalar da yapmıştır.

Avşaroğlu, M., (1968), Urganlı jeotermal alanındaki doğal sıcaksu kaynaklarından yaptığı örneklemelerde suların ortalama sıcaklıklarının 42-70^{o}C olduğunu, pH değerlerinin ise 6.4-7.8 arasında değiştiğinden bahsetmiş ve suların genelde sodyum karbonatlı olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca radyoaktivite ölçümleri de yaparak radyoaktivitenin 4.8 eman olduğunu saptamıştır.

İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, Hidro-Klimatoloji kürsüsü, (1970), Prof. Dr. Orhan Yenal başkanlığında, Türkiye Maden Suları adlı serinin üçüncü yayınını hazırlamak için Ege bölgesindeki sıcaksu kaynaklarının fiziksel ve kimyasal parametrelerini incelemiş ve tıbbi yönden de değerlendirmeler yapmıştır. Urganlı kaplıcası ve çevresindeki beş ayrı sıcaksu kaynağından aldıkları örneklemeler sonucunda ise, suların sodyum-bikarbonatlı ve karbondioksitli olduğunu saptamışlardır. Analizi yapılan kaynakların sıcaklıkları ortalama 50-78^{o}C arasında, pH'ları 6.38-6.78 arasındadır.

Karamanderesi, İ.H., (1972), M.T.A bünyesinde Urganlı kaplıcaları civarının detay jeolojisi ve jeotermal olanakları hakkında çalışmalar yapmıştır.

Filiz, Ş., (1982), doçentlik tezi kapsamında yaptığı bu çalışmada, Ege bölgesindeki önemli jeotermal alanların oksijen-18 (^{18}O), döteryum (^{2}H), trityum (^{3}H), karbon-13 (^{13}C) izotop içeriklerini inceleyerek Urganlı jeotermal alanı için, suların meteorik kökenli olduğu ve hazne kaya sıcaklığı açısından elektrik üretimine uygun olmadığı sonucuna varmıştır .

Yılmazer, S., (1984), yüksek lisans tezi olarak yaptığı çalışmada, Ege bölgesinde Urganlı kaplıcalarının da içinde bulunduğu birkaç jeotermal alanda jeolojik ve hidrojeokimyasal incelemelerde bulunmuştur. Urganlı kaynak ve civarının jeolojisinin Alaşehir ve Salihli bölgeleriyle benzerlik gösterdiğini ve bu bölgeler için aynı jeotermal modelin geçerli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, Alaşehir, Salihli ve Turgutlu yerleşim yerlerinin jeotermal kaynaklardan yararlanarak merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılabileceğini belirtmiştir.

Akdeniz, N., ve diğ., (1986), yaptıkları çalışmada, İzmir-Ankara zonu içersinde kalan çökel kayalar ile Menderes masifi metamorfitlerinin stratigrafik, litolojik ve yapısal özelliklerini ortaya koyarak İzmir-Manisa dolayının detay jeolojisini çalışmışlardır.

Şener Ç., ve diğ., (1986), M.T.A bünyesinde Türkiye'deki jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik çalışmalar kapsamında yaptıkları çalışmalarda, Urganlı jeotermal alanında AB/2= 200 m eş özdirenç seviye haritasına göre jeotermal hazneyi oluşturan temel derinliğinin 120 m olabileceğini vurgulamışlardır.

Gacaner, G., (1993), Yüksek lisans tezi olarak yaptığı çalışmada, Urganlı jeotermal alanındaki sıcaksu kaynaklarından faydalanarak Turgutlu'da konutların, seraların ve kaplıca binalarının merkezi sistem projeleriyle ısıtılabileceği ve bu sistem ile Turgutlu'da ekonomik olarak yıllık %20'lik kar elde edileceği sonucuna varmıştır.

Ercan, T., ve diğ., (1994), Anadolu'da, Urganlı kaplıcalarının da içinde bulunduğu 43 kaplıca ve çevresinde sıcak sularda gaz ölçümleri ve izotop kimyası çalışmaları yapmışlardır. Bu analizler sonucunda ise, sıcaksu kaynaklarının büyük bir kısmının karbondioksit (CO_2) içerdiğini ve karbondioksit gazının organik kökenli olmadığı sonucuna varmışlardır.

Tarcan, G., (1995), yaptığı doktora çalışmasında Turgutlu Urganlı bölgesinde birçok sıcaksu ve soğuksu kaynağından periyodik örnekler alarak analizlemiştir. Bu analizlere dayanarak suların fiziksel ve kimyasal sınıflamasını yaparak sıcaksuların sodyum bikarbonatlı olduğunu vurgulamıştır.

Tarcan, G., Filiz, Ş., (1998), Yaptıkları çalışmada Turgutlu kaplıca sularındaki sodyum bikarbonat zenginleşmesini iyon takası ile açıklamışlardır.

Tarkan, Ş., (2000), yüksek lisans tez çalışması olarak Urganlı Kaplıcaları ve civarındaki sıcaksu kaynaklarından yaptığı örneklemlerde sulardaki alg popülasyonunu incelemiş ve su kalitesi değerlendirilmeleri yapmıştır. Ölçümlerini yaptığı suların ortalama sıcaklığının 61.7^{o}C, pH değerlerinin ise 6.24-8.54 arasında olduğunu ve sıcaklıkların mevsimsel olarak çok büyük farklılıklar göstermediğini tespit etmiştir.

M.T.A, (2001), jeoloji ve jeofizik çalışmalarından sonra belirledikleri lokasyonda 440 m derinliğinde olan U-1 nolu sıcaksu sondajını yapmıştır. Bu kuyudan 35 l/s debide ve 62^{o}C sıcaklığında akışkan elde edilmiştir.

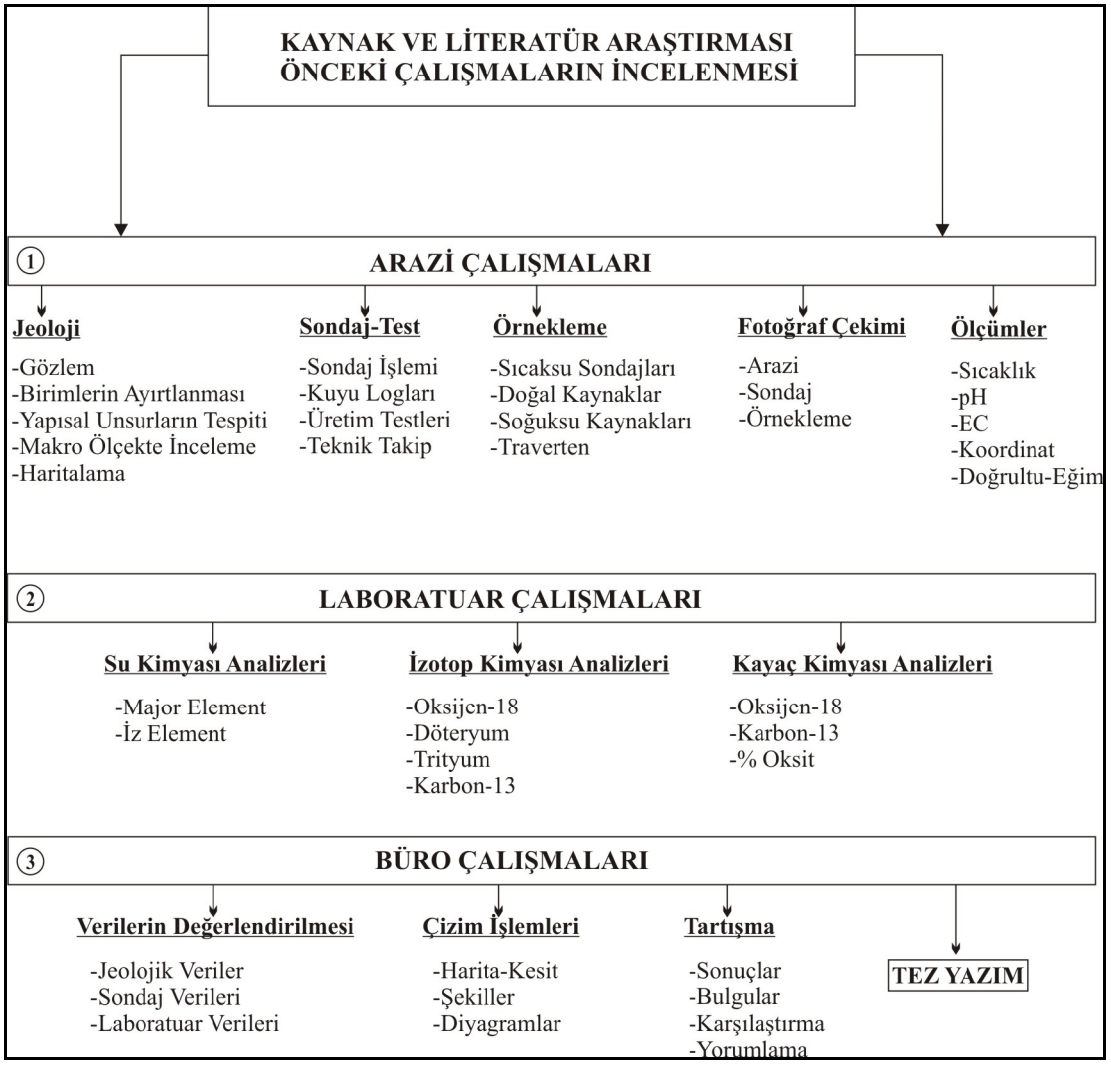
Demirkıran, Z., Aksoy N., (2005), Urganlı jeotermal alnında yaptıkları jeolojik ve jeofizik çalışmalardan sonra sondaj lokasyonlarını belirlemişler ve EU-1, EU-2 nolu sıcaksu kuyularını açmışlardır. Ancak açılan kuyulardan yeterli debide akışkan elde edilememiştir.

Gayzer Yer Bilimleri Ltd. Şti., (2005), Urganlı jeotermal alanında yaptıkları jeolojik ve jeofizik çalışmalardan sonra belirledikleri lokasyonlarda sondaj çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu alanda, 2006-2009 yılları arasında 7 adet (EU-3,4,5,6,7,8,9) sıcaksu sondajı yapmışlardır.

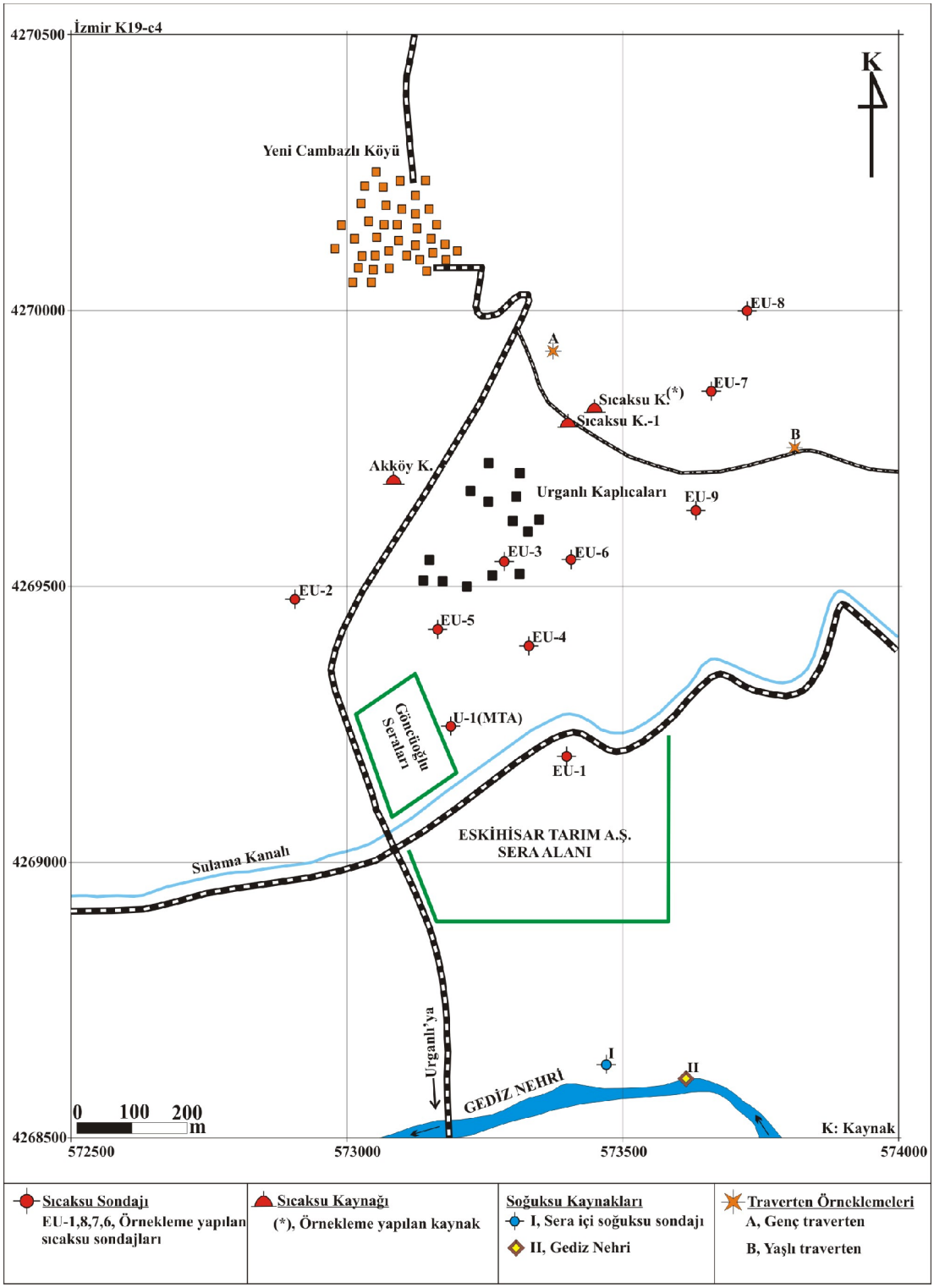
Yılmazer, S., ve diğ., (2008), yaptıkları çalışmada 2005-2008 yılları arasında açılan sondaj verileri ışığında Urganlı jeotermal alanının jeolojisini yeniden değerlendirmişler ve Cambazlı fayının önemine vurguda bulunmuşlardır. Ayrıca, kuyuların mevcut durumları hakkında bilgiler vererek potansiyelleri hakkında yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Yüksek lisans tezi doğrultusunda yapılan çalışmalar literatür, arazi, laboratuar ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleşmiştir. Yapılan bu çalışmalar, şematik olarak Şekil 4.1'de verilmiştir. Arazide yapılan ölçümlere ait bilgiler Şekil 4.2 ve Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Yapılan çalışmaların akış şeması



Şekil 4.2: Örnekleme ve ölçüm yapılan noktaları gösterir kroki

Literatür çalışmaları, Turgutlu-Urganlı kaplıcaları ve civarında yapılan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmaların derlenmesi ve elde edilen verilerin incelenmesi şeklinde yapılmıştır.

Arazi çalışmaları; 1/25000 ölçekte jeoloji haritasının yapımı, su ve traverten örneklerinin alımı, örnekleme yapılan kaynak ve kuyu başlarında pH, sıcaklık (T) ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümü, örnekleme yapılmayan kaynak ve kuyu başlarında dijital termometre ile sıcaklık ölçümü, fotoğraf çekimi, pusula yardımıyla uygun yerlerden tabaka doğrultu-eğim ölçümü, Magellan (Explorist 600) marka el GPS'i yardımıyla koordinat değerlerinin saptanması ve tez süresince özel sektör tarafından inceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarının teknik takibi olarak geçekleştirilmiştir (Tablo 4.1). Ayrıca çalışma alanında EU-7,8,9 nolu üretim kuyularının birbirlerine olan etkileşimlerini anlayabilmek için, kuyularda üretime bağlı olarak meydana gelen kuyu başı basınç değişimleri gözlenerek girişim test çalışması yapılmıştır.

Suların T, pH, EC ölçümleri arazide kaynak ve kuyu başında yapılmıştır (Tablo 4.1). Kaynak ve kuyu başlarında yapılan ölçümlerde YSI 266 marka taşınabilir T-EC-pH metre kullanılmıştır. Su örneklerinin hazırlanmasında örnekleme kuralları ve analiz için gönderilecek laboratuarın standartları dikkate alınmıştır. Oksijen-18, döteryum, karbon-13 ve ağır metal analizi için 100 ml'lik, kimyasal analiz ve trityum analizi için 1 litrelik polietilen şişelere örneklemeler yapılmıştır. Polietilen şişeler ve kapakları her örnekleme sırasında örneğin alındığı su ile en az üç kez çalkalanmış ve üzerinde hava kalmayacak şekilde tamamen doldurulmuştur. Şişelerin tıpası ve kapağı sıkıca kapatılarak, güneş görmeyen serin bir yerde analize gidene kadar saklanmıştır.

Tablo 4.1: Arazide kaynak ve kuyu başlarında yapılan ölçümlere ait bilgiler

(*) Bu çalışmada örnekleme yapılan sular					Koordinatlar		
Örnek Adı	**Örnek No**	**T (^{o}C)**	**pH**	**EC (µS/cm)**	**Y**	**X**	**Z (m)**
(*) EU-1	1	64.7	6.54	4268	0573389	4269203	63
(*) EU-8	2	83	6.89	4981	0573718	4270008	99
(*) EU-7	3	82	6.57	4901	0573653	4269861	97
(*) EU-6	4	77	6.52	4886	0573398	4269556	81
(*) Sıcaksu Kaynağı	5	52	6.23	3876	0573438	4269833	98
(*) Seraiçi Soğuksu	6	15.8	7.67	828	0573462	4268641	54
(*) Gediz Nehri	7	10.1	7.77	899	0573606	4268615	54
Akköy Kaynağı	-	74.6	6.80	4967	0573075	4269701	93
Sıcaksu Kaynağı-1	-	60.4	6.43	4337	0573391	4269805	99
EU-2	-	65	-	-	0572898	4269483	80
EU-3	-	77	-	-	0573277	4269552	83
EU-4	-	75	-	-	0573322	4269399	73
EU-5	-	65	-	-	0573157	4269429	75
EU-9	-	83	-	-	0573625	4269645	85
U-1(M.T.A)	-	62	-	-	0573177	4269254	73

Tez kapsamında alınan su örneklerinin kimyasal analizleri ve trityum ($\delta^{3}H$) analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuar'ında; iz metal analizleri Canada Acme Laboratuar'ında; oksijen-18 ($\delta^{18}O$), döteryum ($\delta^{2}H$) ve karbon-13 ($\delta^{13}C$) analizleri ise Amerika Utah University Stable Isotop Laboratuar'ında yaptırılmıştır. Analiz hassasiyetleri $\delta^{18}O$ izotopu için ‰±0.2 permil, $\delta^{2}H$ için ‰±0.2 permil, $\delta^{13}C$ izotopu için ‰±0.2 permil'dir.

Genç ve yaşlı travertenlerden alınan örnekler ise, önce kurutulmuş, kırılmış ve Kocaeli Üniversitesinin Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuarında Retsch tipi PM 100 markalı değirmende öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler oksijen-18, karbon-13, ana oksit ve iz metal analizleri için 100'er gramlık poşetlere ayrı ayrı konulmuştur. Travertenlerin oksijen-18 ve karbon-13 analizleri Canada Hatch Isotop Laboratuar'ında, ana oksit ve iz metal analizleri ise Canada Acme Laboratuar'ında yaptırılmıştır. Travertenlerde analiz hassasiyetleri $\delta^{18}O$ izotopu için ‰±0.1 permil, $\delta^{13}C$ izotopu için ‰±0.1 permil'dir.

Büro çalışmalarında, analiz sonuçlarından elde edilen veriler, çeşitli hesaplamalar ve diyagramların hazırlanmasıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu bölgede yapılan önceki çalışmalardan da analiz sonuçları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Değerlendirmeler sırasında ve diyagramların hazırlanmasında, MS-office, Aquachem, Watch, Grapher, Surfer, Coreldraw gibi ilgili paket programlardan yararlanılmıştır.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan uzun yıllar ortalama yağış ve sıcaklık parametreleriyle de bölgenin iklimi ve su durumuna ilişkin yorumlamalar yapılmıştır.

Tez yazımında, "Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu" esas alınmıştır.

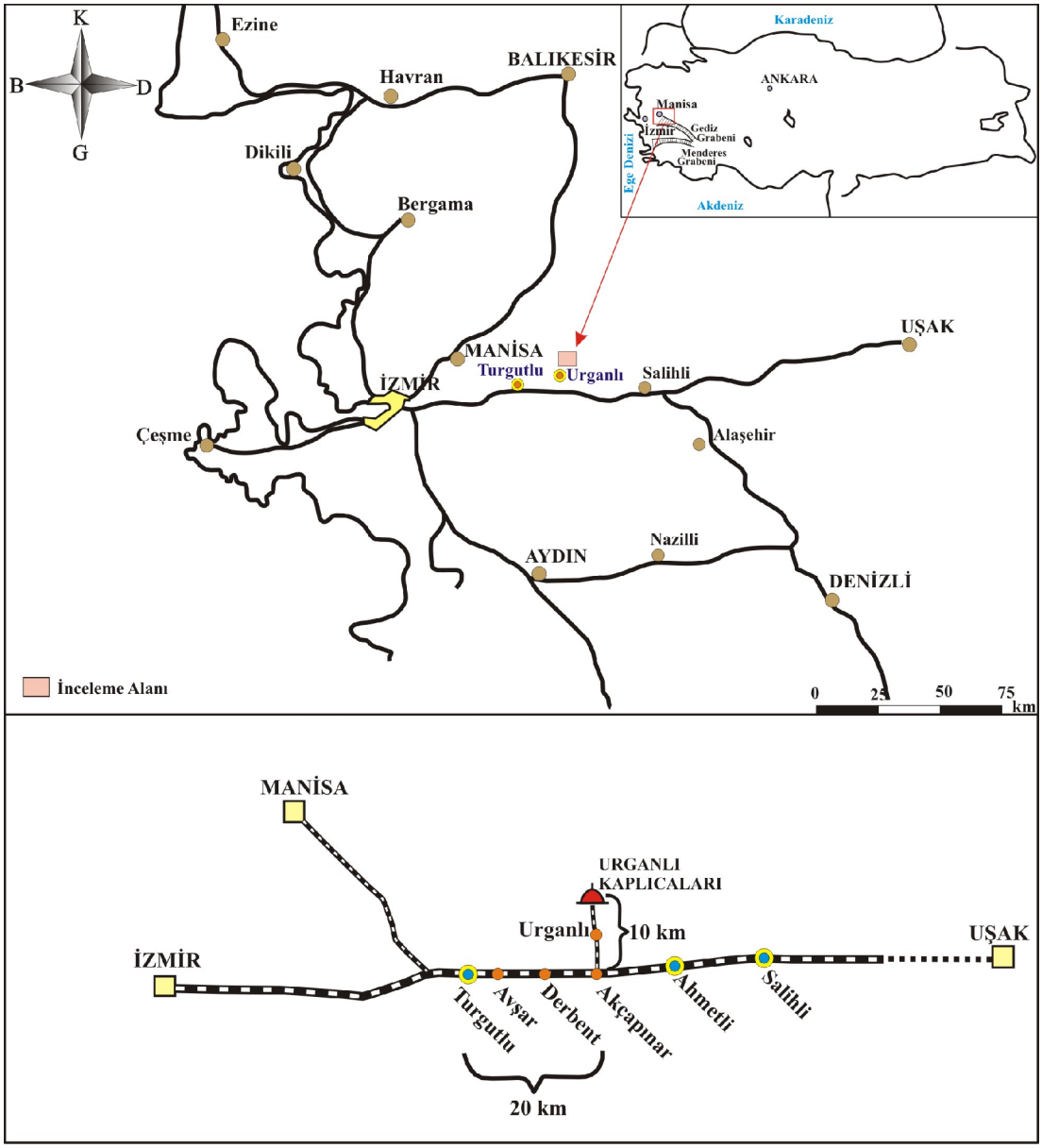
5. COĞRAFİ DURUM

5.1. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı, Manisa ili Turgutlu ilçesine bağlı Urganlı beldesinin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer alır (Şekil 5.1). Manisa'ya 55 km, Turgutlu'ya 20 km uzaklıktadır.

İzmir K19-c4 paftasında yer alan inceleme alanı yaklaşık 25 km^2 olup, Yeni Cambazlı köyünün yaklaşık G-GD'sunda Urganlı kaplıcaları olarak bilinen alan ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 5.2,5.3).

İnceleme alanının doğusunda Salihli ilçesi ve Kargın köyü, batısında Turgutlu ilçesi, Akköy ve Musulcalı köyü, kuzeyinde Derici köyü, güneyinde de Urganlı beldesi ve İzmir-Uşak D300 karayolu yer almaktadır. Ayrıca Urganlı beldesinin içinden Manisa-Uşak demiryolu geçmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: İnceleme alanının yer belirleme haritası



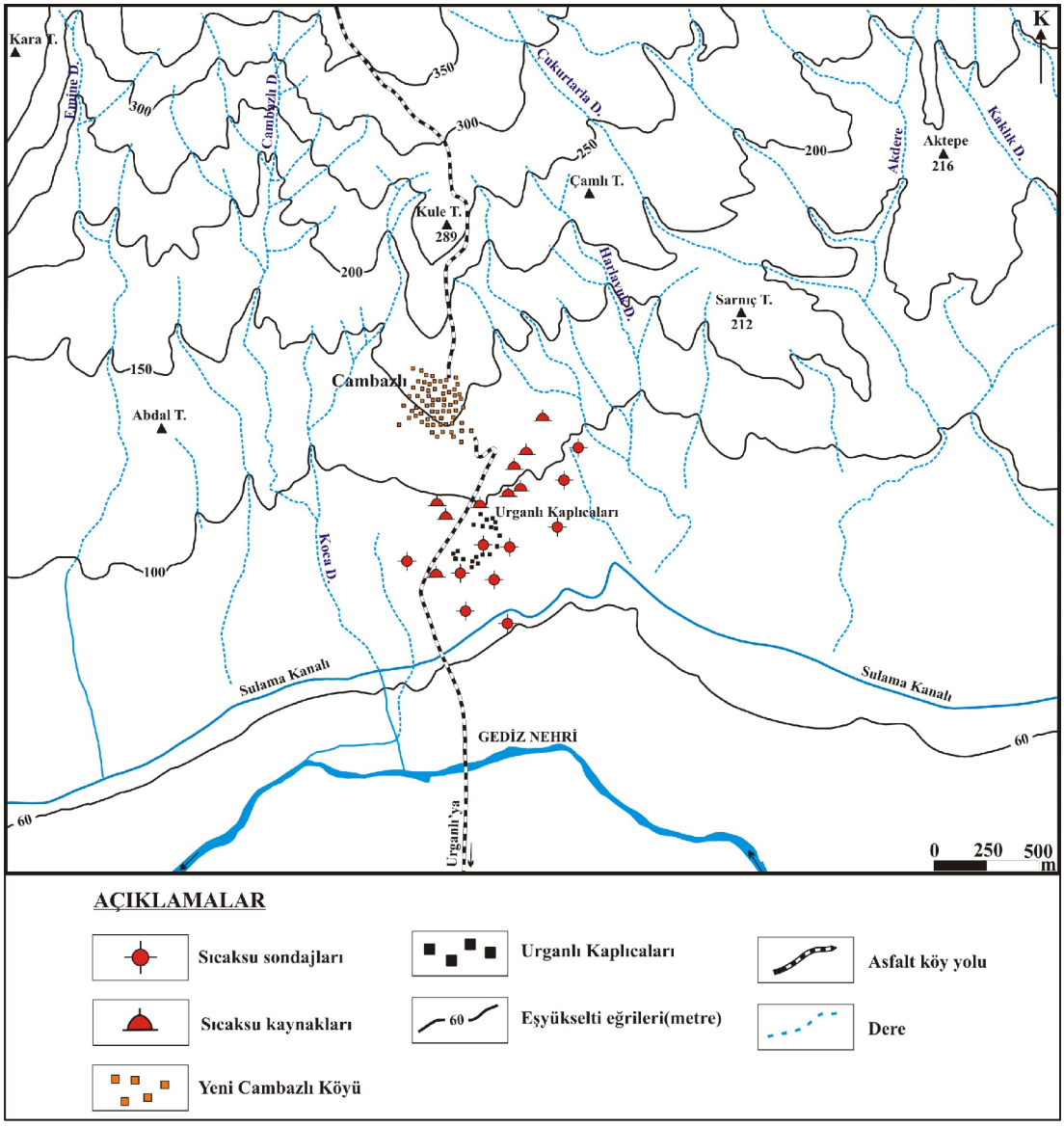
Şekil 5.2: İnceleme alanının kuzeyden görünüşü



Şekil 5.3: İnceleme alanının güneyden görünüşü

5.2. Morfoloji

Çalışma alanında topografik eğim kuzeyden güneye doğru azalmaktadır. Çalışma alanı ve çevresindeki en yüksek kotlar; Yağlıyurt tepe (614 m), Aşçının tepe (342 m), Kule tepe (289 m), Aktepe (216 m), Sarnıç tepe (212 m), Kara tepe, Çamlı tepe ve Abdal tepedir. Gediz nehri, kurak dönemlerde debisi azalmasına rağmen devamlı su bulundurması yönüyle bölgenin en önemli akarsuyu olup, çalışma alanının hemen güneyinden geçmekte ve yaklaşık D-B yönünde akış göstermektedir. Emine dere, Cambazlı dere, Koca dere, Çukurtarla dere, Harlavuk dere, Akdere ve Kaklık dereleri ise mevsimsel akışa sahip olup genelde güneye doğru akmaktadırlar (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: İnceleme alanının topoğrafik haritası

5.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Ege bölgesinde yer alan Manisa ve çevresinde, yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz iklimi hakimdir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Turgutlu ilçesine ait 30 yıllık (1978-2008) ortalama sıcaklık ve yağış bilgileri alınarak iklim koşulları hakkında genel bilgiler elde edilmiştir (Tablo 5.1). Yıllık ortalama yağış miktarı 470.1 mm, ortalama sıcaklık ise 16.6^{o}C'dir. En soğuk ay 6.5^{o}C ortalama ile Ocak, en sıcak ay 27.6^{o}C ortalama ile Temmuz ayıdır.

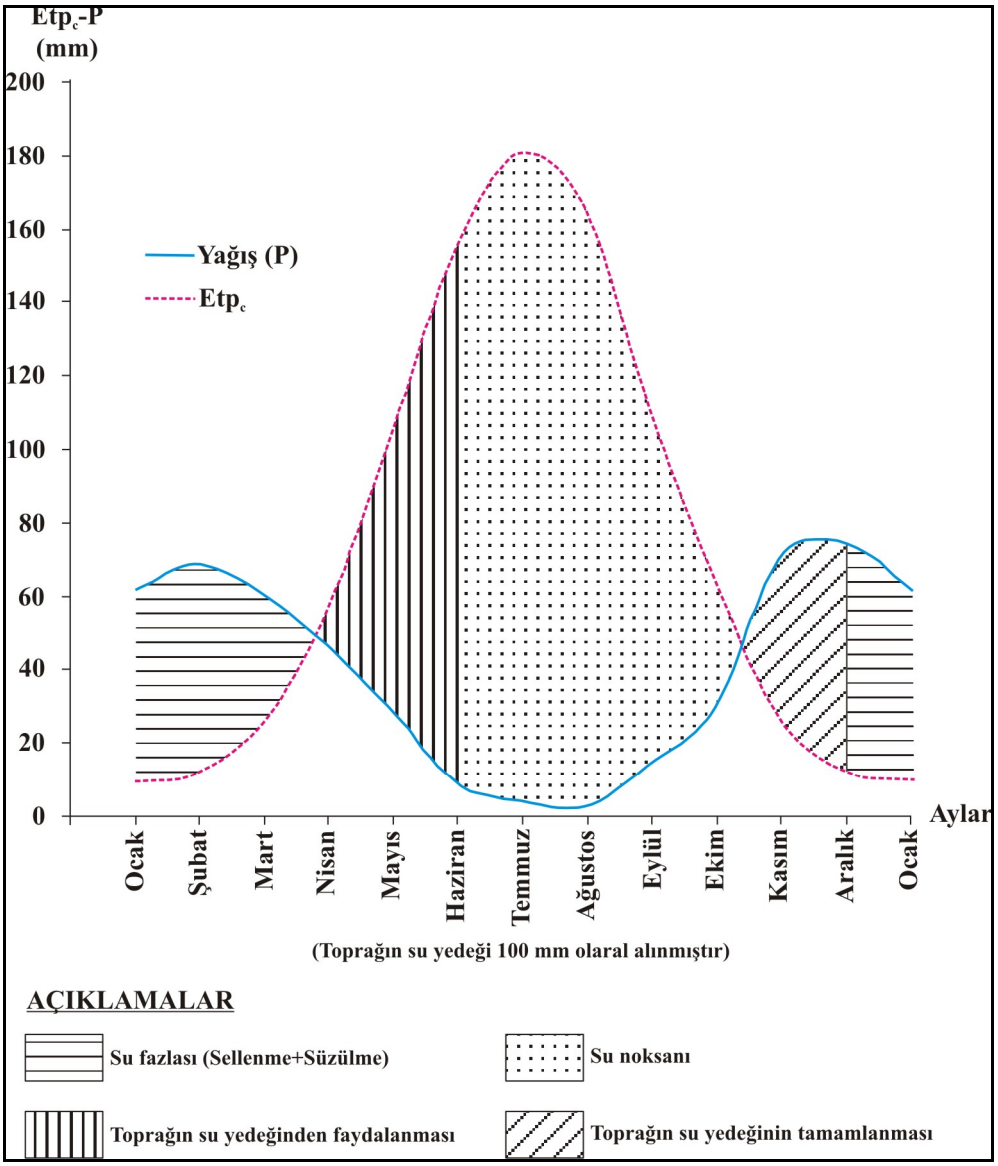
Genel olarak Ocak ayında başlayan yağışlı dönem Mart ayında da devam etmekte, Nisan-Mayıs aylarında yaşanan bir geçiş döneminden sonra tekrar Eylül ayından itibaren büyük oranda artmaktadır.

1978-2008 yılları arasındaki verilere dayanarak bölgenin deneştirmeli nem bilançosu Throntwhite yöntemi [55,7] uygulanarak hazırlanmıştır (Tablo 5.1). Ayrıca, yağış (P) ve düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terlemenin (Etp_c) yıllık değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 5.5).

Bu verilere göre, Kasım ayından Nisan ayına kadar yağış (P), buharlaşma ve terlemeden fazladır. Kasım-Nisan ayları arasındaki toplam yağış 335.6 mm olmasına karşın buharlaşma ve terleme miktarı ise, 83.96 mm'dir. Böylece 251.64 mm olan yağış fazlası, teorik olarak 100 mm olarak alınan faydalı su yedeğini tamamlamakta ve geri kalan 151.64 mm yağış fazlası yeraltı sularını ve yüzey sularını beslemektedir (Şekil 5.5). Nisan ve Ekim ayları arasında yağış, buharlaşma ve terlemeden azdır. Nisan ayından itibaren yağış Etp_c'yi karşılayamaz ve su açığı Haziran ayına kadar faydalı su yedeğinden karşılanır. Faydalı su yedeğinin tükendiği Haziran-Ekim ayları arasında ise gerçek buharlaşma terleme (Etr) yağışa eşit olur. Haziran ayından Ekim ayına kadar toplam su açığı 596.14 mm'dir. Ekimden itibaren yağışların artmasıyla önce 100 mm'lik faydalı su yedeği tamamlandıktan sonra, su fazlası yüzey ve yeraltı sularını beslemeye başlar [55,7].

Tablo 5.1: Throntwhite yöntemine göre hesaplanan deneştirmeli nem bilançosu

AYLAR	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık Toplam
Aylık sıcaklık ortalaması (°C)	6.5	7.4	10.3	15.3	20.5	25.4	27.6	27.2	23.1	17.7	11.6	7.5	-
Sıcaklık indisi (i)	1.48	1.81	2.98	5.43	8.46	11.71	13.28	12.99	10.14	6.77	3.57	1.84	80.46
Yağış (P-mm)	62	68.8	60.4	46.6	28.5	9.0	3.70	2.60	14.20	29.9	70.2	74.2	470.1
Pot. buharlaşma-terleme (Etp-mm)	10.93	13.78	24.85	50.35	84.86	124.39	144.26	140.55	105.01	65.30	30.72	14.11	809.11
Enlem düzeltme katsayısı (38°)	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83	-
Düzeltilmiş Etpc (mm)	9.29	11.57	25.59	55.38	104.37	154.24	180.32	164.44	109.21	62.68	25.80	11.71	914.6
Faydalı su yedeği (mm)	100	100	100	91.22	15.35	0	0	0	0	0	44.4	100	-
Gerçek buharlaşma-terleme (Etr-mm)	9.29	11.57	25.59	55.38	104.37	24.35	3.70	2.60	14.20	29.9	25.80	11.71	318.46
Su fazlası (mm)	52.71	57.23	34.81	0	0	0	0	0	0	0	0	6.89	151.64
Su noksanı (mm)	0	0	0	0	0	129.89	176.62	161.84	95.01	32.78	0	0	596.14



Şekil 5.5: Turgutlu bölgesine ait su durum grafiği

Manisa il topraklarının yaklaşık % 46'sı orman ve makilerle kaplıdır. Geniş bir alanı kaplayan makiler dağların kuzey ve batı yamaçlarında yer alır. Bağlar ve zeytinlikler de oldukça yaygındır. Yörede üzüm yetiştiriciliği başta olmak üzere pamuk, zeytin, tütün yetiştiriciliği de yapılmaktadır. Ayrıca, jeotermal ısıtmalı seracılık faaliyetleri de yaygınlaşmaya başlamıştır.

6. JEOLOJİ

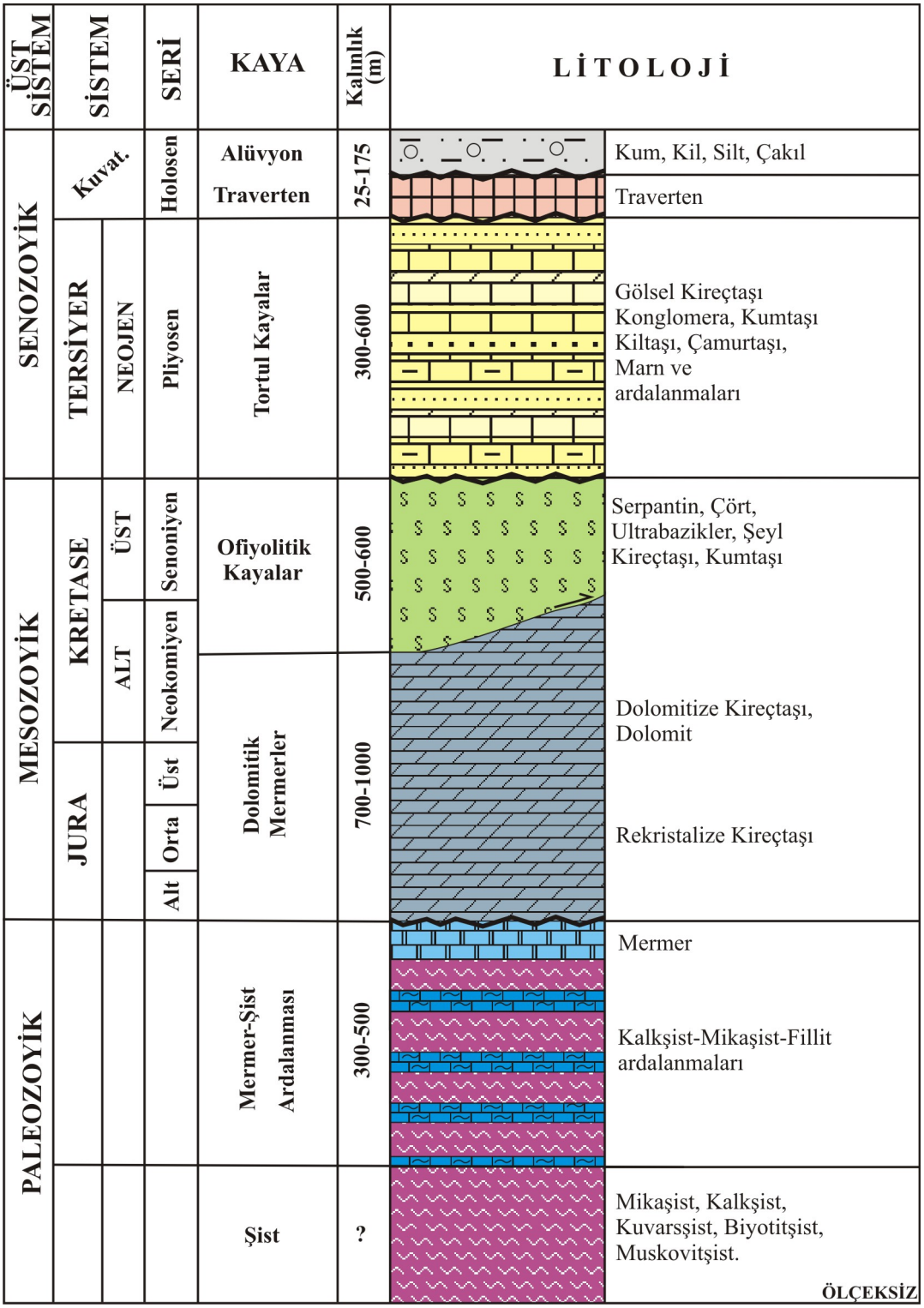
Bu bölümde Urganlı jeotermal alanının genel jeolojisi, stratigrafisi ve tektonik yapının jeotermalle olan ilişkisi açıklanmıştır.

6.1. Stratigrafi

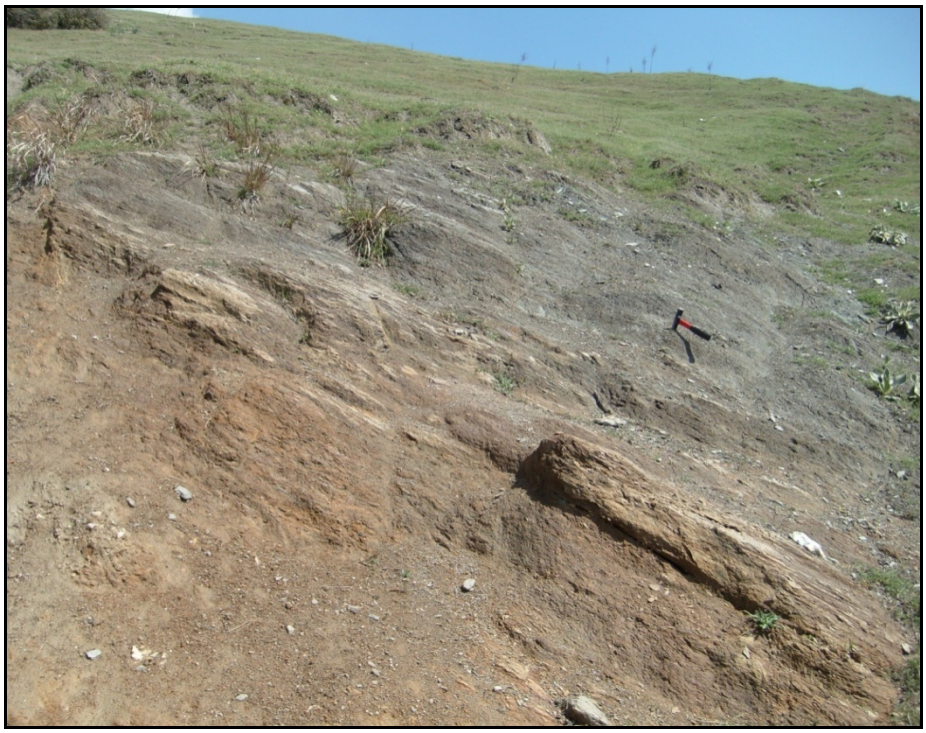
Urganlı jeotermal alanı ve yakın çevresinde stratigrafik olarak alttan üste doğru Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır**.** Bu birimler alt başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

6.1.1. Paleozoyik

Çalışma alanında temeli Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur (Şekil 6.1). Menderes masifi örtü şistleri olarak nitelendirilen bu kayalar kalkşist, mikaşist, kuvarsşist, kuvars-muskovitşist, kuvars-muskovit-biyotitşist gibi değişik şistlerden meydana gelmiştir [1,25,67]. İnceleme alanının hemen kuzeyinde yüzlek verip doğuya, haritalama alanının dışında kalan Kargın köyüne doğru yayılım gösteren bu metamorfitlerin üzerine yine Paleozoyik yaşlı mermerler gelmektedir (Şekil 6.1, 6.2). Alt seviyeleri koyu gri, üste doğru daha açık gri renklenme sunan bu mermerler yer yer dolomitik olup, orta-iri kristallidir (Şekil 6.3). Ayrıca çalışma alanının kuzeyinde Sarnıç tepe ile Kule tepe arasında ve Sarnıç tepenin doğu kesiminde, yukarıda sözü edilen muhtelif şistler arasında bej, kahverengimsi renkte mermer düzeylerine de rastlanmaktadır (Şekil 6.4).



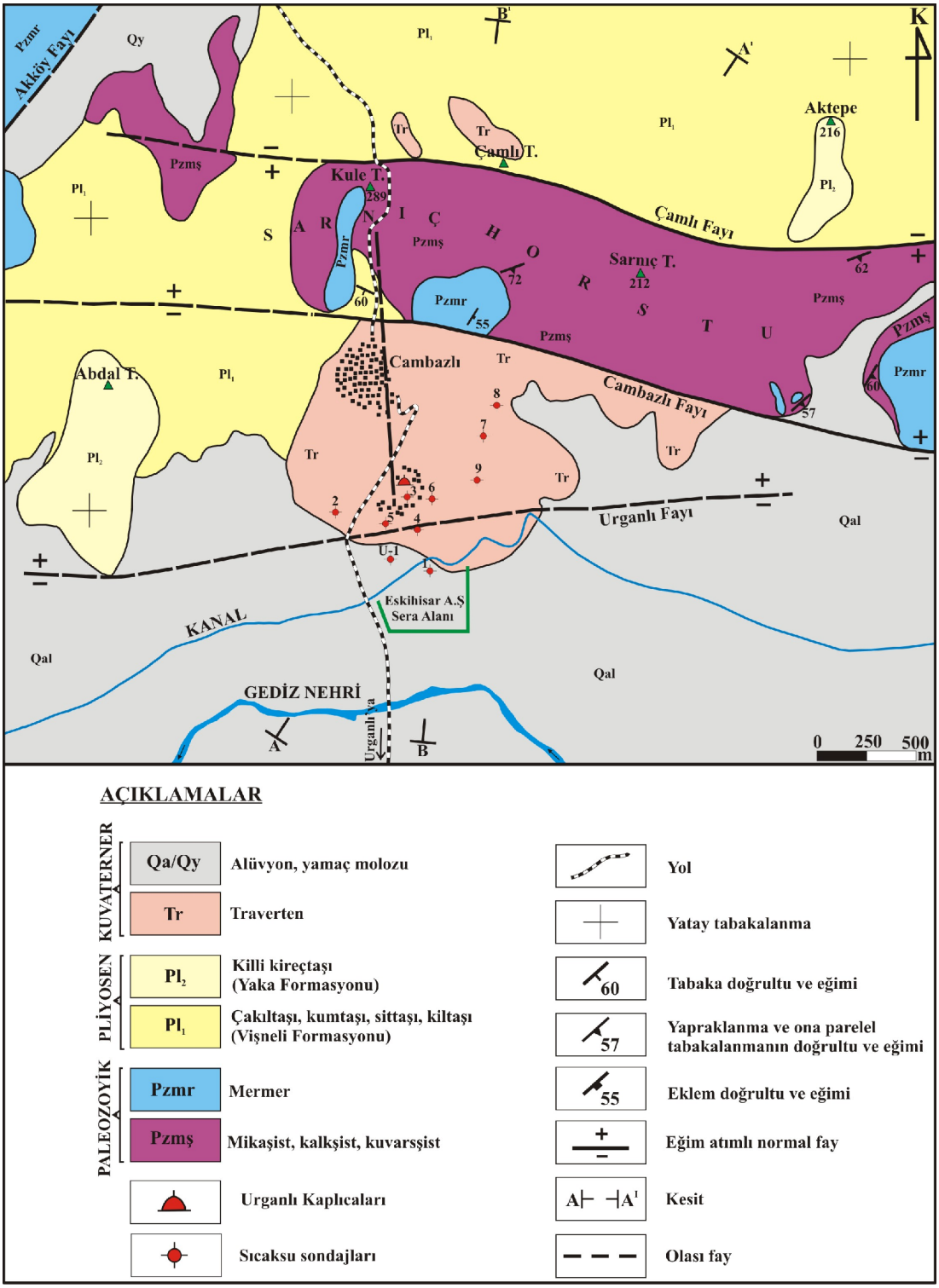
Şekil 6.1: İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [67]



Şekil 6.2: İnceleme alanı kuzeyinde mostra veren şistlerden görünüm



Şekil 6.3: İnceleme alanı kuzeydoğusunda mostra veren mermerlerden görünüm



Şekil 6.4: İnceleme alanının jeoloji haritası [67]

6.1.2. Mesozoyik

Paleozoyik yaşlı temel kayalar üzerinde uyumsuzlukla yer alan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve allokton ofiyolitik kayaçlar inceleme alanının (haritalama alanı dışında) kuzeybatısında yüzlek verirler. Kireçtaşlarının alt seviyeleri genellikle dolomitiktir [1,67].

İkincil kalsit dolgular içeren ve tabakalanması pek belirgin olmayan dolomitler üste doğru kireçtaşlarına geçiş gösterirler (Şekil 6.1). Çeşitli volkanik ve sedimanter kayalardan oluşan ofiyolitik karmaşa veya ofiyolitik melanj adı verilen birim Çaldağ ve yakın çevresinde yaygındır. Serpantinit ve peridotitler ofiyolitik melanj bünyesindeki sedimanter kayalar üzerinde veya içinde bloklar halinde bulunurlar [1,25].

6.1.3. Senozoyik

Senozoyik yaşlı kayaçlar Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer alan Pliyosen yaşlı çökeller ile Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 6.1). Pliyosen'i tabanda çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltaşları (Pl_1) ile bunların üzerine uyumlu olarak gelen killi kireçtaşları ve kiltaşları (Pl_2) oluşturmaktadır. Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı gibi detritik çökeller inceleme alanı çevresinde oldukça yaygındır. Çakıllar genellikle orta-iyi derecede yuvarlaklaşmış, karbonat veya kil çimentoyla gevşek tutturulmuştur (Şekil 6.5). Kumtaşları genel olarak gri, yeşilimsi gri renklidir. Bunlar yer yer ince tabakalanmalı kiltaşı ve silttaşlarıyla ardalanmalıdır (Şekil 6.6). Yine Pliyosen'in üst düzeylerine ait killi kireçtaşları çalışma alanının KD'sundaki Aktepe ile batıdaki Abdal tepe ve güneyinde yayılım gösterir (Şekil 6.7). Bu birim kirli beyaz, sarımsı ve krem renklerde olup, yatay ve yataya yakın eğimlidir.

Akdeniz ve diğ. (1986) tarafından bölgede yapılan çalışmalarda alt Pliyosen yaşlı birimler Vişneli formasyonu, üst Pliyosen yaşlı birimler ise Yaka formasyonu olarak isimlendirilmiştir [1].

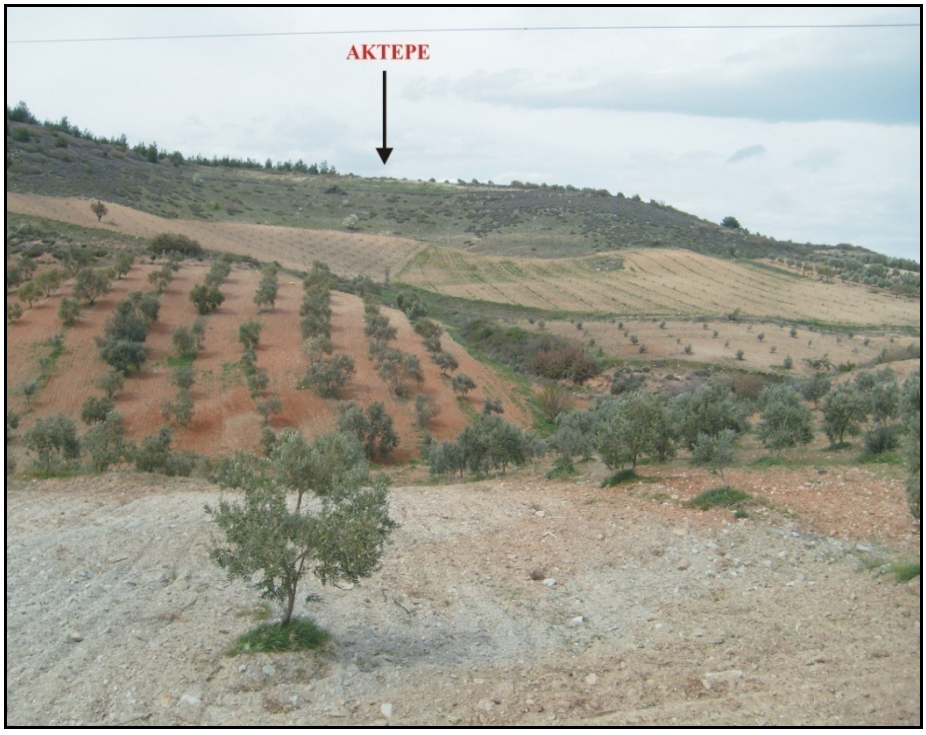
Urganlı jeotermal alanındaki en genç oluşuklar Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlardır. Sıcak suların bıraktığı çökeltilerin oluşturduğu travertenler konumları ve yayılımları yönünden oldukça dikkat çekicidir. Travertenlerin büyük bölümü yatay konumludur. Sıcak suların bıraktığı çökeltilerin oluşturduğu bu travertenler, düşük sertlikte, kirli beyaz, sarımsı kirli beyaz ve gri renklidir [67]. Yatay olarak yayılım gösteren eski travertenleri dikine kesen çatlaklardan yüzeylenen suların oluşturduğu genç travertenler ise, daha dik bir morfoloji oluşturmuştur (Şekil 6.8). Bu genç travertenler, inceleme alanında duvarımsı görünümdedir (Şekil 6.9). Bazı sıcaksu çıkışları çevresinde yeni traverten oluşumları halen devam etmektedir. Kuvaterner yaşlı genç oluşuklardan yamaç molozları, inceleme alanının kuzeybatısında mostra vermektedir (Şekil 6.4). Gediz havzasındaki birimlere ait elemanlardan oluşan alüvyon örtü, inceleme alanının güneyinde Gediz ovasında geniş yayılım gösterir [67].



Şekil 6.5: İnceleme alanında bulunan çakıltaşlarından (Pl_1) bir görünüş



Şekil 6.6: Kule tepe güneyinde mostra veren kumtaşı-çakıltaşı ardalanması



Şekil 6.7: Aktepe ve güneyinde mostra veren killi kireçtaşları (Pl_2)



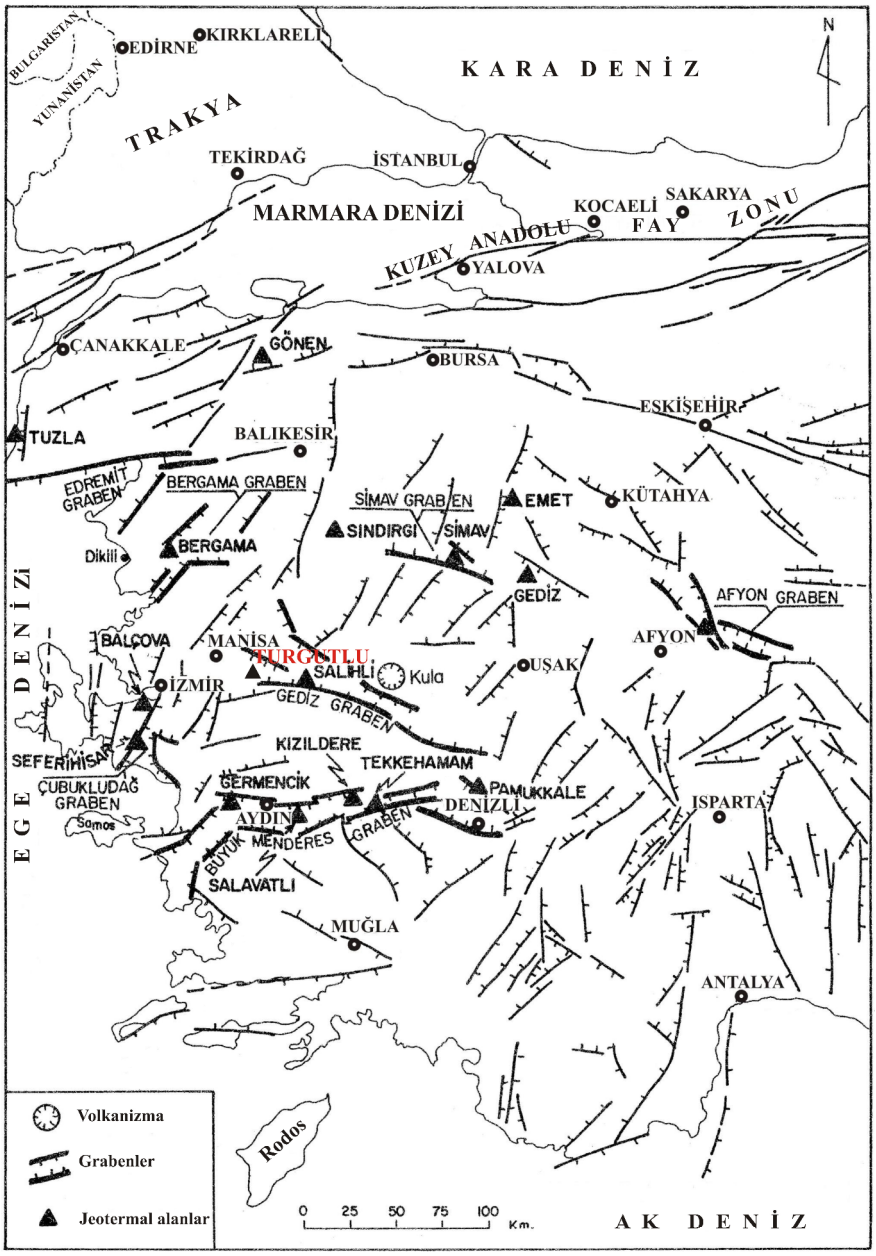
Şekil 6.8: Yatay travertenlerin üzerinde oluşan duvarımsı genç travertenler (Cambazlı fayı güneyi)



Şekil 6.9: Dikey konumlu genç travertenler (Çamlı fayı kuzeyi)

6.2. Tektonik

Bilindiği gibi Neotektonik dönemle birlikte Batı Anadolu'da, K-G yönlü genişlemeye ve D-B yönlü sıkışmaya bağlı olarak birçok graben sistemi meydana gelmiştir. Bu genişleme, graben sisteminin yanı sıra litosfer incelmesini de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, Batı Anadolu ve özellikle Ege bölgesi, aktif tektoniğin denetiminde oluşan jeotermal enerji açısından oldukça önemli yerlerdendir. Turgutlu ilçesine bağlı Urganlı beldesi de Gediz grabeni içersinde yer alan jeotermal alanlardan biridir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10: Batı Anadolu'nun tektonik görünümü [47]

Urganlı jeotermal alanında tektonik aktivitelere bağlı olarak Sarnıç horstundan itibaren güneye ve kuzeye doğru eğim atımlı normal faylar gelişmiştir. İnceleme alanından geçen jeolojik kesitte bu durum izlenebilmektedir (Şekil 6.11,6.12).

Urganlı jeotermal alanındaki en önemli tektonik hat, sıcaksu getirimini sağlayan Cambazlı fayıdır. Eğim atımlı normal bir fay olan Cambazlı fayı, inceleme alanını yaklaşık D-B yönde kat eder. D-B uzanımlı olan bu tektonik hat, Urganlı jeotermal alanına batıdan girer ve yeni Cambazlı köyünün hemen kuzeyinden geçerek doğuya Kargın köyüne doğru şist-traverten dokanağını oluşturur (Şekil 6.4).

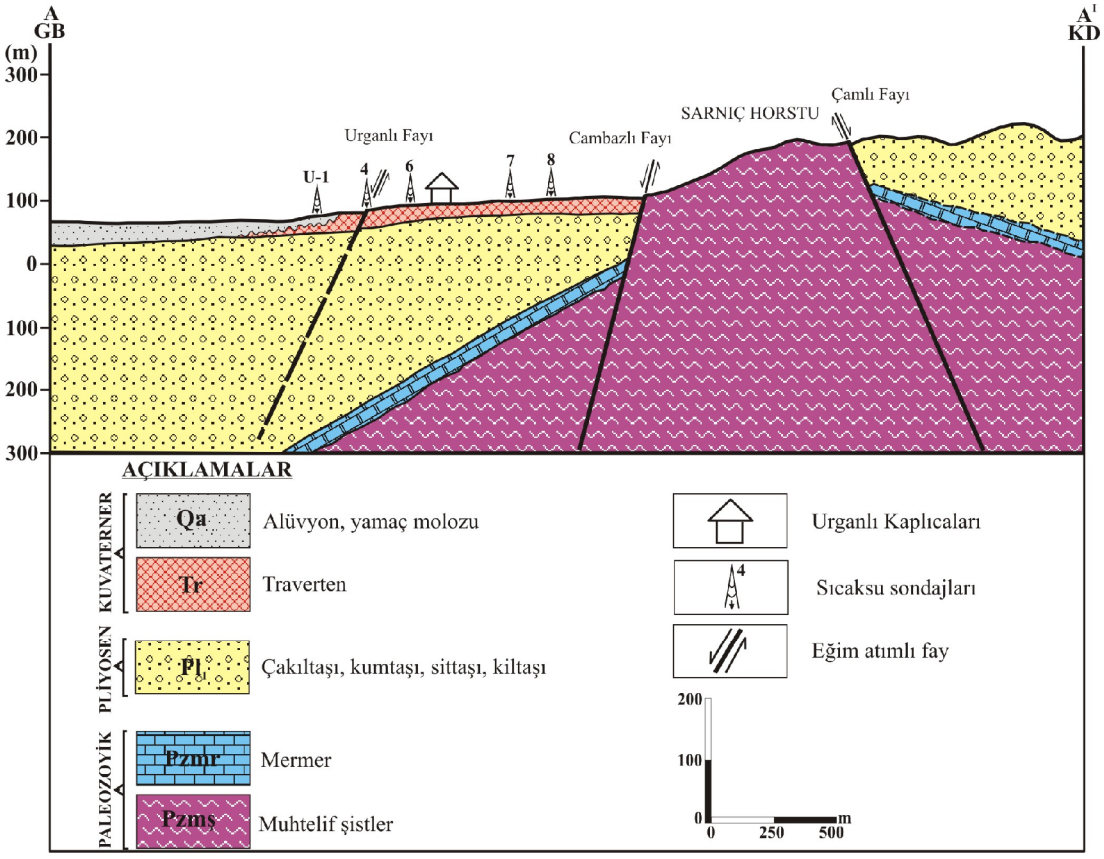
Cambazlı fayının yükselen kuzey bloğu, Paleozoyik yaşlı muhtelif şist ve mermerlerin yüzeylenmesini sağlamıştır. Burada, D-B uzanımlı bir horst oluşturan bu temel kayaçların yükselimine Cambazlı fayı etken olmuştur. Aynı yükselimi kuzeyden yine yaklaşık D-B veya B-KB/D-GD uzanımlı bir tektonik hat sınırlamaktadır. Bu kuzey fayı da eğim atımlı normal bir fay olup "Çamlı fayı" olarak adlandırılmıştır [65,67]. İnceleme alanına doğu yönünden Aktepe güneyinden girer, Sarnıç tepe, Kule tepe ve Çamlı tepenin hemen kuzeyinden batıya doğru devam ederek temel kayalar ile Neojen yaşlı birimlerin dokanağını oluşturur (Şekil 6.4). Cambazlı fayı ile kuzeyindeki Çamlı fayının oluşturduğu genişliği 750-1000 m arasında değişen ve D-B uzanımı yaklaşık 5 km olan bu yükselim "Sarnıç horstu" olarak isimlendirilmiştir [67].

İnceleme alanındaki diğer bir tektonik hat ise daha güneyden geçen yaklaşık D-B uzanımlı, eğim atımlı normal bir fay olan Urganlı fayıdır. Burada güney blok düşmüş kuzey blok yükselmiştir. Cambazlı fayından itibaren güneye doğru bir basamaklanma söz konusudur (Şekil 6.11, 6.12). İnceleme alanının kuzeybatısındaki Akköy fayı da çevredeki önemli tektonik hatlardan biridir.

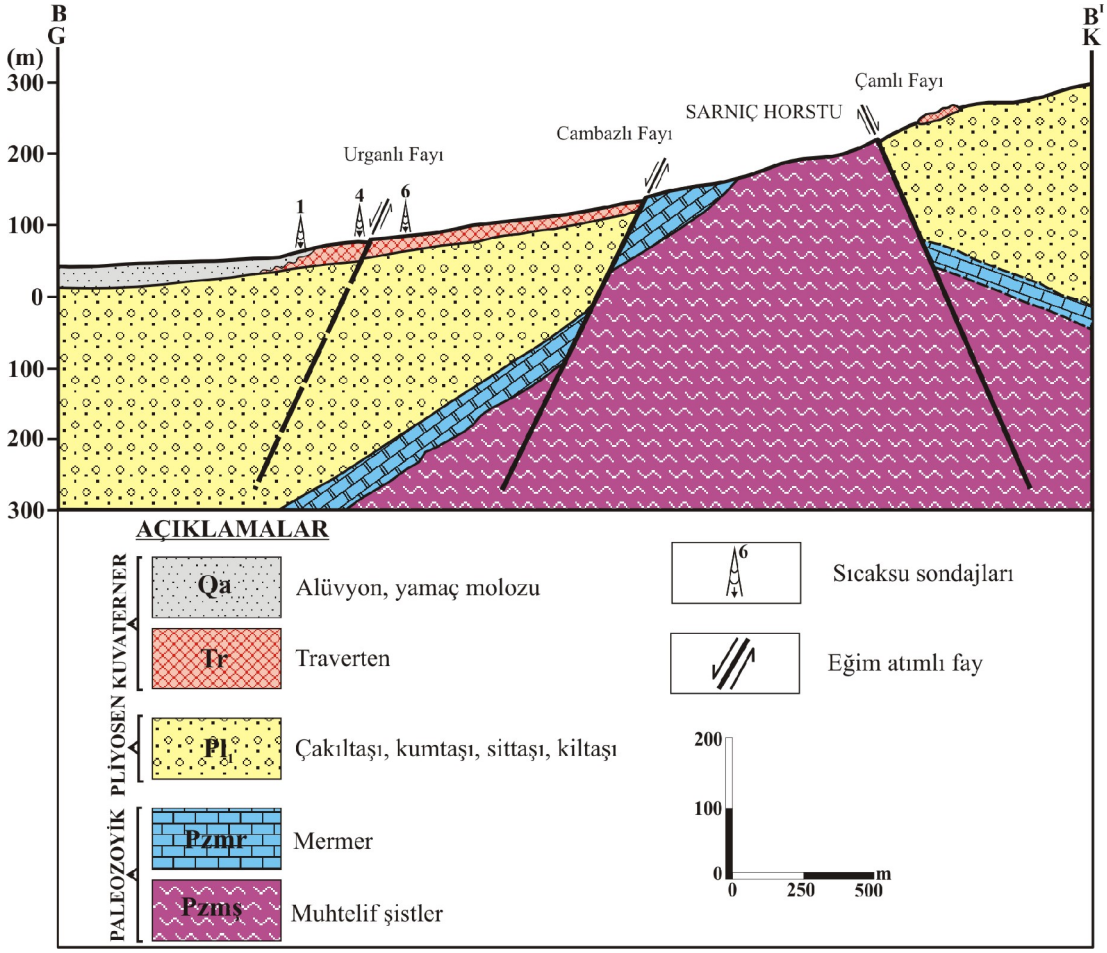
Yine inceleme alanı kuzeyinde Kule tepe boyunca yol yarmalarında şistler ile kumtaşı-çakıltaşı birimlerinde gözlenen yanal ve kesintili değişimler yaklaşık K-G uzanımlı olası bir fayın varlığını ortaya koymuştur (Şekil 6.4).

Urganlı kaplıcalarında açılan EU-3 nolu sondajda büyük bir kaçak zonuna girilmesi ve kırıntılarda aşırı derecede pirit kristallerine rastlanılması bu olasılığı güçlendirmiştir [Servet Yılmazer ile sözlü görüşme].

İnceleme alanındaki Paleozoyik yaşlı kayaçlarda eklem ve çatlak sistemleri iyi gelişmiştir. Ayrıca şistlerde, şistozite ile tabaka doğrultu ve eğimi paralellik göstermektedir. Pliyosen yaşlı tortullar yatay ve yataya yakın konumludur. Aynı şekilde yaşlı travertenler de yataya yakın tabakalanmalıdır. Daha sonra oluşan genç travertenler ise, eski travertenler üzerinde duvar gibi dikey konumludurlar (Şekil 6.8,6.9).



Şekil 6.11: İnceleme alanında A-A' hattından geçen jeoloji enine kesiti



Şekil 6.12: İnceleme alanında B-B' hattından geçen jeoloji enine kesiti

7. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

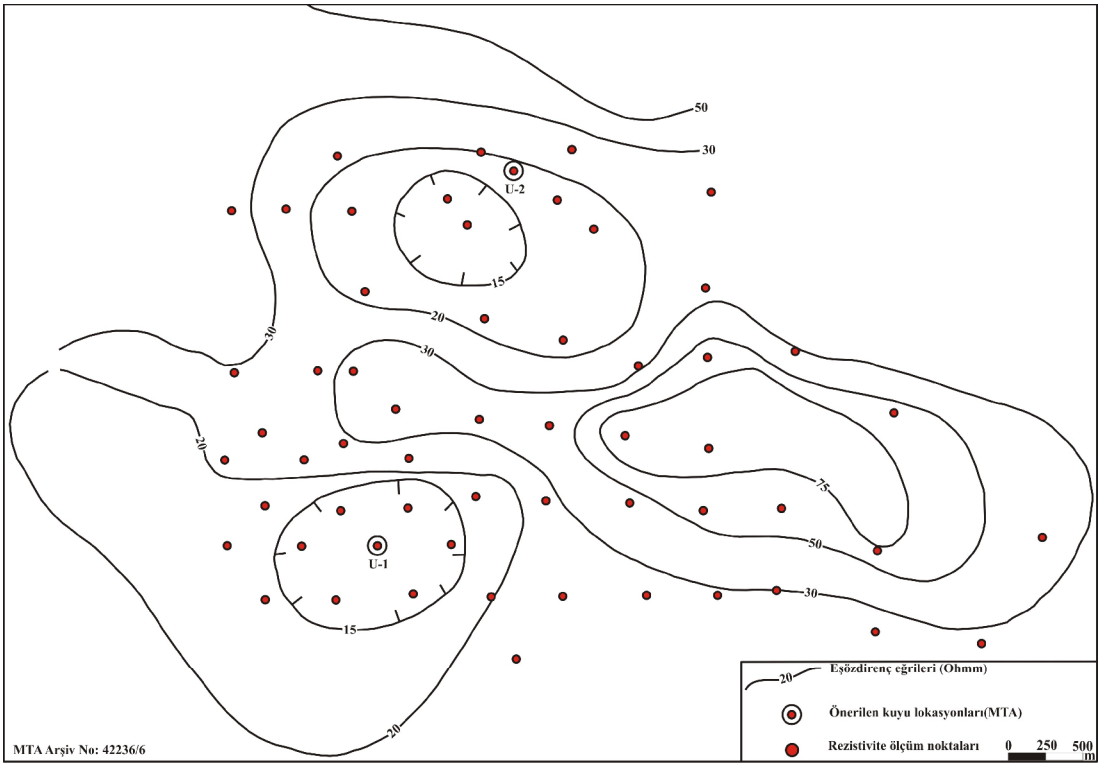
Jeotermal alanların araştırılmasında jeolojik çalışmalara destek olarak yapılan jeofizik etütler, kolay, pratik, ucuz ve güvenilir olması açısından günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeofizik çalışmalar, genellikle sahadaki yapının ortaya çıkarılmasında, derin yapısal unsurların belirlenmesinde, hazne kaya ve örtü kaya ilişkilerinin saptanmasında, sondaj lokasyon yeri ve sondaj derinliğinin tespitinde uygulanan yöntemlerdir. Rezistivite, gravite, doğal uçlaşma (self-potential), sismik, magnetik, magneto-tellürik gibi metotlar jeotermal alanlardaki mevcut fiziksel şartların araştırılmasında kullanılan çalışmalardır. Sıcak suyun varlığı, yoğunluk-manyetik gibi fiziksel koşullardaki değişiklikler, yapısal unsurların varlığından dolayı ortaya çıkan anomaliler, jeofizik yöntemlerle belirlenmeye çalışılır. Sonuç olarak elde edilen jeofizik verilerin jeolojiyle olan uyumu hakkında yorumlamalar yapılmaktadır [65].

7.1. Rezistivite Çalışmaları

Rezistivite, jeotermal enerji araştırmalarında kullanılan en yaygın araştırma yöntemlerinden birisidir. Bir ortamın, içinden geçen elektrik akımına karşı birim hacminin gösterdiği direnç o ortamın rezistivite değeridir. Birimi Ohm'dur (Ω). Rezistivite değerleri, litolojideki değişimler, sıcaklık, akışkanın tuzluluğu, porozite gibi parametrelerin bir fonksiyonudur ve bu parametrelere göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, jeotermal alanlarda, akışkanın tuzluluğunun ve sıcaklığının fazla olması, rezistivite değerlerinin azalması anlamına gelmektedir [65]. Urganlı jeotermal alanında M.T.A tarafından bir çok noktada rezistivite çalışması yapılmıştır [46]. Yapılan bu çalışma sonucunda 500 metre derinlik için eş özdirenç haritası çizilmiş ve düşük rezistivite anomalilerin görüldüğü kuzey ve güney blokta 2 noktada sondaj lokasyonu belirlemişlerdir (Şekil 7.1). Şekle bakıldığında, ortaya çıkan yapının, tez çalışması kapsamında hazırlanan jeoloji haritasıyla uyum gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 6.4).

Orta kısımda, D-B yönünde yüksek rezistivite değerleri gösteren hat, Cambazlı ve Çamlı faylarının etkinliğinde gelişen Sarnıç horstuna işaret etmektedir. Sarnıç horstunu güneyden sınırlayan Cambazlı fayı, yaklaşık D-B uzanımlı ve güneye eğimlidir. Düşük rezistivite değerleri gösteren güney blokta günümüze kadar pek çok sondaj çalışması yapılmıştır. M.T.A 2001 yılında U-1 lokasyonunda ilk sıcaksu kuyusunu açarak sonuca ulaşmıştır [29]. U-1 sondajı, alanda kurulan Göncüoğlu seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Gayzer Yerbilimleri şirketi tarafından 2005 yılından sonra Eskihisar Tarım A.Ş.'nin talebi üzerine, ruhsat alanı sınırları dahilinde birçok noktada rezistivite ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmalarla belirlenen 7 lokasyonda sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Günümüzde bu sıcaksu sondajları Urganlı kaplıcalarının ve Eskihisar Tarım A.Ş seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Sarnıç horstunu kuzeyden sınırlayan Çamlı fayı da yaklaşık D-B uzanımlı ve kuzeye eğimlidir. Düşük rezistivite değerleri gösteren kuzey blokta ise günümüze kadar hiçbir çalışma olmamıştır. Kanaatimizce bu alan, ayrı bir jeotermal saha olarak görülmelidir ve mutlaka bu alanda araştırma sondajları yapılmalıdır.



Şekil 7.1: Urganlı jeotermal alanı için AB/2= 500 m için eş özdirenç haritası

8. HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde, inceleme alanındaki birimlerin hidrojeolojik özelliklerinden, soğuk ve sıcaksu kaynaklarından, açılan sıcaksu kuyularından bahsedilmiştir.

8.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alnında Sarnıç horstu boyunca görülen muhtelif şistler ve mermerlerin Neojen yaşlı birimlerle olan dokanağı faylıdır. Beslenme alanının yüksek kesimlerinde mostra veren mikaşistlerde, tektonizmanın etkisiyle meydana gelen sekonder kırık ve çatlaklar su tutma açısından önemlidir ve hazne kaya özelliğinde olduğu söylenebilir. Aynı şekilde, Mikaşistler içersinde yer yer gözlenen kalkşist geçişleri de iyi bir hazne kaya özelliği gösterebilmektedir. Yine mikaşistler içersinde gözlenen kuvarsşistler ise, gevrek yapısı nedeniyle kırık ve çatlaklar içermektedir. Sekonder porozite ve permabilite özelliği ile kuvarsşistler de yeraltı suyu içerebilir. İnceleme alanında şistler içersinde mostra veren, çatlaklı ve karstik özelliğinden dolayı porozite ve permabilitesi oldukça iyi olan mermerler ise, bölgede en önemli hazne kayacı teşkil etmektedir. Diğer taraftan, inceleme alanında reenjeksiyon çalışmaları kapsamında yapılan kuyu testleri sonucunda yüksek çatlak geçirgenliğine işaret edilmiştir [13].

Kuzeyden güneye doğru gittikçe kalınlaşan Neojen yaşlı birimler inceleme alanı ve çevresinde oldukça yaygındır. Bu birimlerden çakıltaşları ile kumtaşları yeraltısuyu içermekte ve yapılan sondajlardan sıcak ve soğuk sular alınabilmektedir. Killi, marnlı birimler geçirimsiz olup, örtü kaya özelliği göstermektedir.

Doğal akışa sahip sıcaksu kaynaklarının oluşturduğu Kuvaterner yaşlı travertenler ise, çalışma alanında yaygın olarak görülmekte ve bazı noktalarda traverten oluşumları halen devam etmektedir.

Yine Kuvaterner yaşlı oluşumlardan alüvyon örtü, inceleme alanında kalınlığı az olmakla birlikte inceleme alanı güneyine doğru kalınlığı artmakta ve Gediz ovasında geniş yayılım göstermektedir. Bölgede alüvyon birimlerindeki çakıllar su depolama açısından önemlidir.

8.2. Sıcak ve Soğuksu Kaynakları

Urganlı jeotermal alanında küçük-büyük birçok doğal sıcaksu çıkış noktası vardır. Sıcaklıkları 50-75^{o}C, debileri 0.5-2 l/s arasında değişen bu sıcaksu kaynaklarının debileri genellikle beslenmeye bağlı olarak değişim göstermektedir [62,65]. İnceleme alanında sera ve kaplıca ısıtma amaçlı yapılan 10 adet sondaj çalışmasından sonra ise birçok sıcaksu kaynağı kurumuş ya da debilerinde azalmalar olmuştur. Bunun nedeni, jeotermal alandan sera ısıtması için uzun süreli üretimlerin yapılmış olmasının yanı sıra re-enjeksiyon işlemlerinin tam olarak gerçekleştirilememiş olmasının da etkisi vardır [67]. İnceleme alanının güneyinde Urganlı ilçesi ve civarında, halkın su ihtiyacını karşılaması için yapılan ve derinlikleri yaklaşık 20-150 m arasında değişen birçok soğuksu kuyusu ve 10-15 m derinlikte keson kuyular mevcuttur [48]. Urganlı jeotermal alanının güneyinden geçen Gediz nehri, bölgede devamlı akış gösteren en önemli su noktasıdır. İnceleme alanında bulunan diğer dereler ise mevsimsel akışa sahiptir.

8.3. Sıcaksu Sondajları

Urganlı jeotermal alanında biri M.T.A diğer dokuzu özel sektör tarafından yapılmış toplam 10 adet sıcaksu kuyusu bulunmaktadır (Şekil 8.1). Kuyuların derinlikleri 280-605 m arasında değişmektedir. En düşük debi, şu an kullanım dışı olan EU-2 nolu sıcak su kuyusunda 1.5-2 l/s'dir [15]. En yüksek debi ise, EU-7 ve EU-9 nolu sıcak su kuyusunda 40 l/s olarak ölçülmüştür. Kuyular artezyen olup, kuyu başı üretim sıcaklıkları 62-83^{o}C arasında değişmektedir [67].

Sondajlar jeotermal üretime uygun olacak şekilde dizayn edilmiştir. İnceleme alanında yer alan sondaj kuyularının panel diyagramı Şekil 8.2'de verilmiştir.

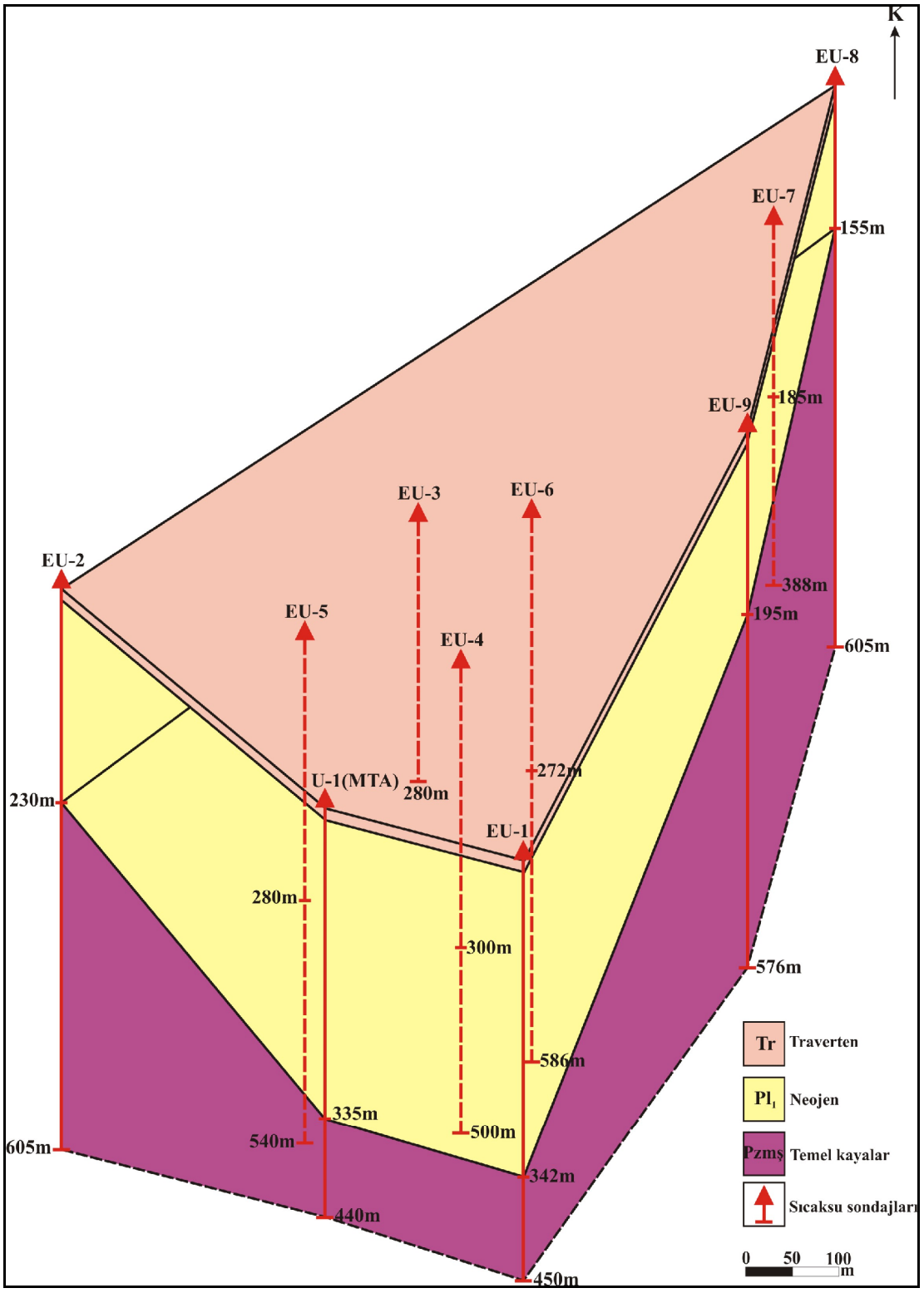
Burada görüleceği gibi kuyuların temel kayaya giriş seviyeleri işaretlenmiştir. Sadece EU-3 nolu kuyu Neojen tortulları içinde kalmıştır. Neojen tortullar, EU-8 nolu kuyunun bulunduğu kuzey noktasından güneye doğru faylanma nedeni ile giderek kalınlaşmaktadır.

Bu durum Şekil 6.4'te işaret edilen Sarnıç yükselimi sonucu gelişmiştir. Bu nedenledir ki, binoküler mikroskopla incelenen sondaj kırıntılarında (Şekil 8.3) Neojen taban seviyelerinde yer yer fay belirtisi olarak nitelendirilen kayma izlerine (Şekil 8.4) rastlanmıştır [67].

İnceleme alanında, EU-3,4,5,6,7,8,9 numaralı kuyulara ilişkin litoloji ve teçhiz durumu EK-A'da verilmiştir.



Şekil 8.1: Sondaj çalışmalarından genel bir görünüm (EU-8 nolu kuyu)



Şekil 8.2: İnceleme alanındaki sıcaksu kuyularının panel diyagramı



Şekil 8.3: Sondaj çalışmalarında binoküler mikroskopla kırıntıların incelenmesi



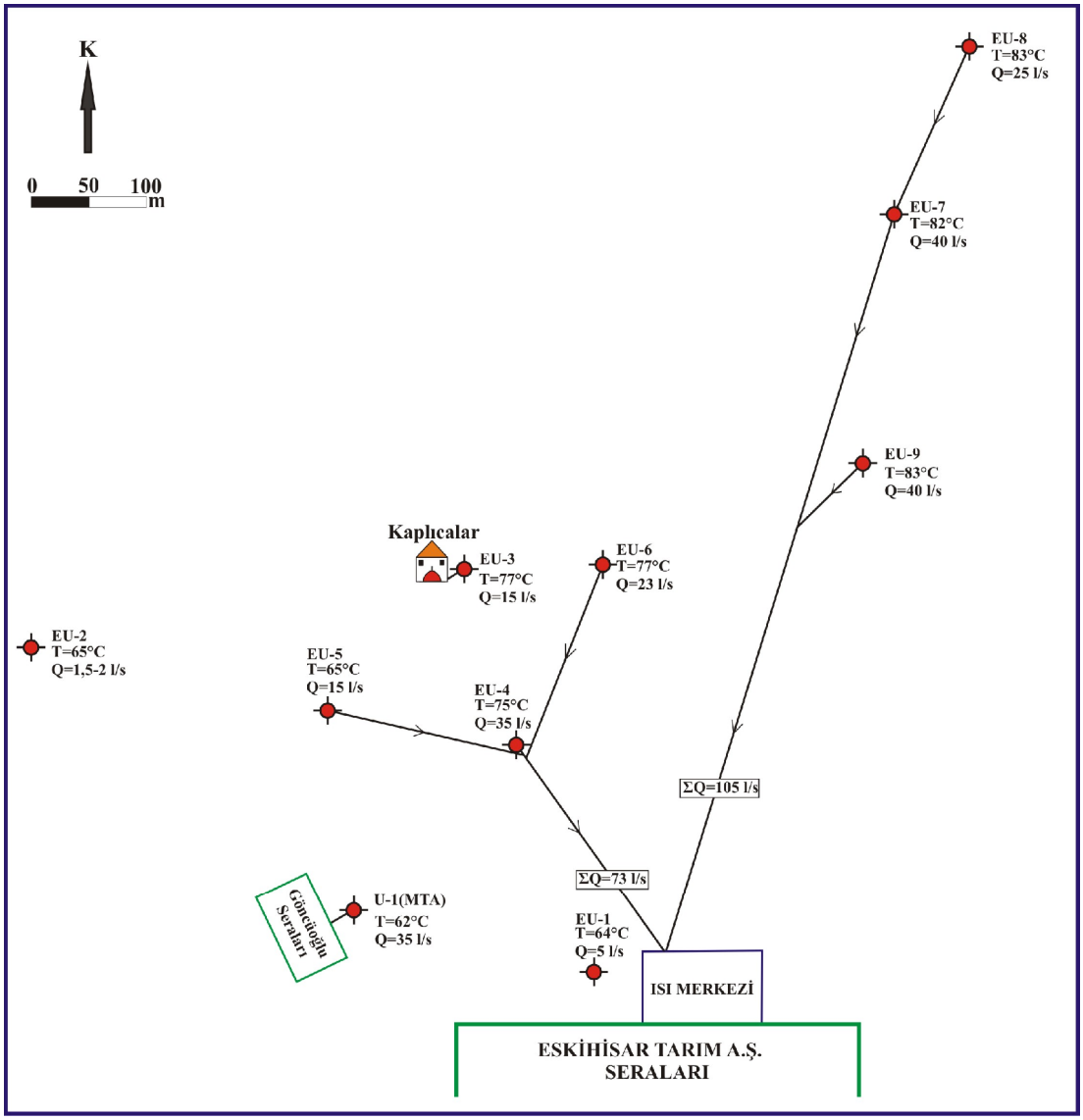
Şekil 8.4: Sondaj kırıntılarında gözlenen kayma izi belirtilerinin genel görünüşü

Urganlı jeotermal alanında ısıtma amaçlı kullanılan kuyuların kullanım yerleri ve isale hatları şematik gösterimi Şekil 8.5'te verilmiştir. Urganlı bölgesinde jeotermal enerji araştırmalarına yönelik ilk sondaj çalışması, derinliği 440 m olan U-1 nolu sondaj kuyusu olup 2001 yılında M.T.A tarafından gerçekleştirilmiştir [29]. Artezyen üretimi ortalama 35 l/s, sıcaklığı 62^{o}C olan U-1 kuyusu yine bu bölgede ilk kez kurulan Göncüoğlu seralarının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Urganlı jeotermal alanında kapsamlı etüt ve sondaj çalışmalarına 2005 yılında başlanılmış ve 2005-2008 yılları arasında 9 adet kuyu açılmıştır. Tablo 8.1'den görüleceği gibi kuyu derinlikleri 280-605 m arasında, sıcaklıklar 62-83^{o}C arasında değişmektedir. Burada işaret edilen EU seri numaralı kuyular Eskihisar Tarım A.Ş adına yapılmış olup, bu kuyulardan EU-4,5,6,7,8,9 nolu kuyular Eskihisar seralarının kullanımındadır. Geri kalan kuyulardan EU-3 nolu kuyu, Urganlı kaplıcalarında kullanılmaktadır. EU-1,2 nolu kuyular, debileri çok az olduğu için şimdilik kullanım dışıdır (Şekil 8.5, Tablo 8.1).

EU-4,5,6, nolu kuyuların toplam debisi 73 l/s, EU-7,8,9 nolu kuyuların toplam debisi 105 l/s'dir. Kuyu sıcaklık değerleri güneyden kuzeye sıcaksu getirimini sağlayan Cambazlı fayına doğru artış göstermektedir (Şekil 6.11, 8.5). Bu durum, EU-7,8,9 nolu kuyuların Cambazlı fayına olan yakınlığı nedeni ile fay boyunca derinlerden gelen sıcak suyun güneye doğru yayılmadan üretilmesinin bir sonucu olabilir [66].

Tablo 8.1: İnceleme alanında yapılan sıcaksu sondajlarına ait bilgiler [67]

Kuyu No	**Derinlik (m)**	**Debi (l/s)**	**Sıcaklık (^{o}C)**	**Üretim Şekli**	**Açılış Yılı**	**Kullanım Yerleri**
U-1	440	35	62	Artezyen	2001	Göncüoğlu Seraları
EU-1	450	5	64	Pompa	2005	Kullanılmıyor
EU-2	605	1.5-2	65	Artezyen	2005	Kullanılmıyor
EU-3	280	15	77	Artezyen	2006	Urganlı Kaplıcaları
EU-4	500	35	75	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım Seraları
EU-5	540	15	65	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım Seraları
EU-6	586	23	77	Artezyen	2006	Eskihisar Tarım Seraları
EU-7	388	40	82	Artezyen	2007	Eskihisar Tarım Seraları
EU-8	600	25	83	Artezyen	2007	Eskihisar Tarım Seraları
EU-9	576	40	83	Artezyen	2008	Eskihisar Tarım Seraları



Şekil 8.5: Sıcaksu kuyularına ait isale hatlarının şematik gösterimi

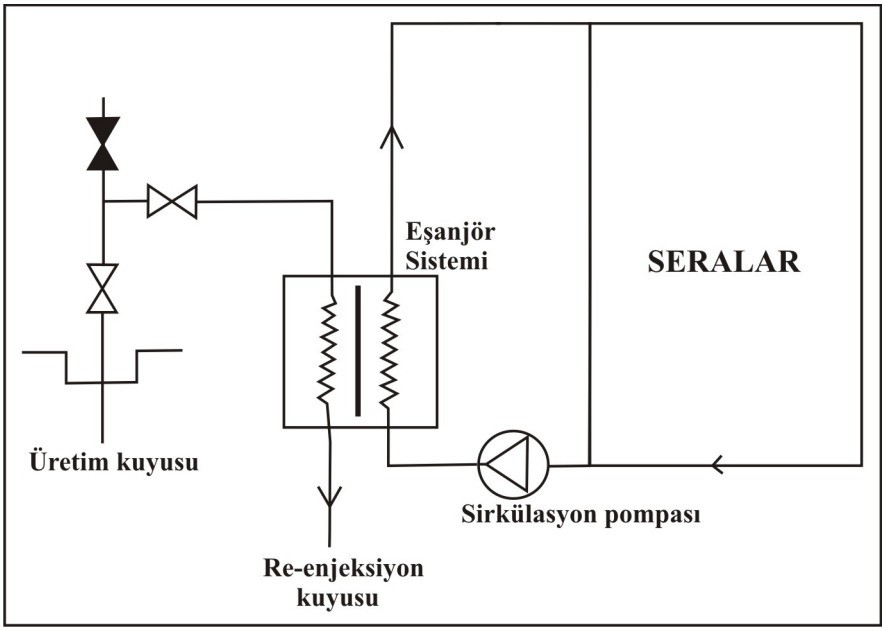
Eskihisar Tarım A.Ş seralarının ısıtılmasında kullanılan EU-4,5,6 nolu kuyuların suları bir isale hattından, EU-7,8,9 nolu kuyuların suları ise ayrı bir isale hattından seralara taşınmaktadır (Şekil 8.5). Burada EU-4,5,6 nolu kuyular re-enjeksiyon kuyuları olarak düşünülmektedir. İsale hattında sıcaklık kaybını önlemek için izolasyonlu çelik borular kullanılmakta olup, sıcak sular bu borular vasıtasıyla yaklaşık 1 m yer altından seralara getirilmektedir (Şekil 8.6). Seralara getirilen su, sera girişinde eşanjör sistemine verilmeden önce borularda ve eşanjörlerde meydana gelebilecek kabuklaşma etkisini azaltmak için seperatör tanklarından geçirilerek, gaz ve buhar içeriğinden arındırılmaktadır (Şekil 8.7). Seperatörden geçen sıcaksu, ısı merkezinde eşanjör (ısı değiştirici) sistemine verilerek ısısı, kapalı çevrim olarak seraların ısıtılması sağlayan tatlı suya aktarılmaktadır (Şekil 8.8).



Şekil 8.6: Sıcak suların isale hattı ile seralara götürülmesi



Şekil 8.7: Seperatör tankı (U-1 kuyusu)



Şekil 8.8: Eşanjör sisteminin temel çalışma prensibi [30]

9. KUYULARIN ISI POTANSİYELLERİ

Bir cismin M gramının sıcaklığını ΔT kadar artırmak için verilmesi gerekli ısı miktarı veya ΔT kadar azaltmak için cisimden alınması gerekli ısı miktarı pratik olarak aşağıda verilen enerji formülü ile hesaplanır ve birimi kilokalori/saattir (kcal/h) [34,64,68].

$$Q = MxCx\Delta T \tag{9.1}$$

Q = Isı miktarı (kcal/h)
M = Suyun kütlesi (debi değeri, l/h)
C = Cismin öz ısısı (kcal/kg.^{o}C, suyun öz ısısı 1 kcal/kg.^{o}C'dir)
ΔT = Sıcaklık farkı (T_1-T_2)
T_1 = Suyun ilk kullanım sıcaklığı (^{o}C)
T_2 = Suyun alt kullanım sıcaklığı (^{o}C)

Elde edilen ısı enerjisi miktarları megavat termal (MW_t) olarak aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [64,68];

$$1MW_t = \frac{kcal/hx1.162}{10^6} \tag{9.2}$$

Sera ısıtılmasında kullanılan kuyuların görünür ısı potansiyeli hesaplamaları yapılırken kuyuların alt kullanım sıcaklık değeri 50^{o}C olarak kabul edilmiştir [64,67,68]. Kuyuların sıcaklık ve debi değerleri Şekil 8.5'te görülmektedir. EU-3,4,5,6,7,8,9 ve U-1 nolu sıcaksu kuyuları için 9.1 ve 9.2'de verilen formüller uygulanmıştır (Tablo 9.1).

Göncüoğlu seralarının ısıtılmasında kullanılan U-1 nolu sıcaksu kuyusu 1512000 kcal/h (1.75 MW_t), Urganlı kaplıcalarında kullanılan EU-3 nolu sıcaksu kuyusu ise, 1458000 kcal/h (1.69 MW_t) görünür ısı potansiyeline sahiptir.

Eskihisar Tarım A.Ş tarafından kullanılan EU-4,5,6,7,8,9 nolu sıcaksu kuyularından hesaplanan görünür ısı potansiyellerinin toplamı 18525600 kcal/h'tir (21.52 MW_t).

EU-7,8,9 nolu kuyuların toplam görünür ısı potansiyeli 12330000 (14.32 MW_t) kcal/h'tır (Tablo 9.1). Bu ısı enerjisi ile 105 dönüm sera ısıtması sağlanmaktadır.

Urganlı jeotermal alanı için mevcut kuyulardan elde edilen toplam görünür ısı potansiyeli 21495600 kcal/h'tir (24.96 MW_t). Turgutlu yöresinde 110 m^2'lik bir konut için 4560 kcal/h'lik (5.3 KW/h) ısı enerjisi ihtiyacı esas alındığında [20], 24.96 MW_t'lik toplam görünür ısı enerjisi ile 4715 konut ısıtılabilecektir. Aynı zamanda linyit için 4000 kcal/h, fuel-oil için 10000 kcal/h ısı değeri baz alınırsa, 24.96 MW_t ısı enerjisi, 5370 kg/h linyite ve 2150 kg/h fuel-oile eşdeğerdir [64,68].

Tablo 9.1: Kuyuların görünür ısı potansiyelleri

Kuyu No	**Görünür Isı Potansiyeli**	
	(kcal/h)	**(MW_t)**
U-1	1512000	1.75
EU-3	1458000	1.69
EU-4	3150000	3.66
EU-5	810000	0.94
EU-6	2235600	2.60
EU-7	4608000	5.35
EU-8	2970000	3.45
EU-9	4752000	5.52
Toplam	**21495600**	**24.96**

10. KUYULARDA İŞLETİM PROBLEMLERİ

İnceleme alanında bulunan Göncüoğlu ve Eskihisar seralarının ısıtılması için toplam 7 kuyudan istifade edilmektedir. Ancak bu kuyular faaliyete geçmeden önce ve üretimleri sırasında herhangi bir test çalışması yapılmamıştır. Ayrıca bu kuyuların üretimleri artezyendir. Oysa aynı kuyulardan pompalı üretim gerçekleştirilmiş olsa, belki de daha az sayıda kuyudan daha fazla ısı enerjisi elde etmek mümkün olabilirdi [67].

Kuyuların işletilmesinde diğer bir problem, üretilen sıcak suların eşanjör çıkışından sonra re-enjeksiyonun yapılmamış olmasıdır. Bilindiği gibi re-enjeksiyon haznenin basınç ve üretim dengesini sağlamaktadır. Re-enjeksiyonun yapılmamış olması nedeniyle kuyulardan kapasiteleri doğrultusunda üretim elde edilememektedir.

Kabuklaşma özelliği gösteren bu sular, kuyularda inhibitörler kullanılmaması nedeniyle kuyu başlarında (Şekil 10.1), eşanjörlerde (Şekil 10.2) ve isale hattı borularında (Şekil 10.3) kabuklaşmaya neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak eşanjörlerden gerektiği gibi ısı transferi sağlanamamakta ve üretilen termal sudan yeterli ısı enerjisi alınamamaktadır [67].



Şekil 10.1: U-1 (M.T.A) kuyusunda meydana gelen kabuklaşma



Şekil 10.2: Eşanjör içi kabuklaşma oluşumu



Şekil 10.3: İsale hattı borularında meydana gelen kabuklaşma

Yukarda açıklanan nedenlerden dolayı 2008 yılında Turgutlu Belediyesi'nin talebi üzerine Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti. ve Enerson Mühendislik Ltd. Şti. tarafından kuyu testleri planlanmıştır. Kuyu testlerinin amacı, kuyuların birbirlerine olan etkileşimini, re-enjeksiyona uygunluğunu ve kuyularda kullanmak üzere uygulanacak olan inhibitörün derinliğini saptamaktır.

Yapılan test çalışmalarında EU-4,5,6 nolu kuyular re-enjeksiyon kuyusu olarak planlanırken, EU-7,8,9 nolu kuyular, diğer kuyulara nazaran yüksek sıcaklık ve debiye sahip olmasından dolayı üretim kuyusu olarak planlanmıştır. Kuyuların üretim ve re-enjeksiyon kuyuları olarak seçilmesinde jeolojik yapı çok etkili olmuştur [66]. Şekil 6.11, 6.12'de görüleceği gibi, Cambazlı fayının eğimi güneye doğru olup bütün kuyular, sıcak suyu getiren bu fayın güneyinde kalmaktadır. EU-4, 5 ve 6 nolu kuyulara doğru (kuzeyden güneye), örtü kaya kalınlaşmakta ve kuyuların sıcaklıkları da azalmaktadır. Bu veriler ışığında sahanın güneyi re-enjeksiyon, kuzey kesimi de üretim kuyuları olması açısından uygun görülmüştür [66]. Üretim kuyularındaki girişim testleri Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti. tarafından, diğer testler ise, Enerson Mühendislik Ltd. Şti. tarafından gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında re-enjeksiyon ve inhibitör kullanımı çalışmaları halen devam etmektedir.

10.1. EU-7,8,9 Nolu Üretim Kuyularında Yapılan Girişim Testleri

İnceleme alanında Eskihisar Tarım A.Ş seralarının ısıtılmasında kullanılan EU-7,8,9 nolu üretim kuyularında kuyular arası mesafelerin uygunluğunu, kuyuların birbirlerini etkileyip etkilemediğini (girişim), sağlıklı bir üretim için üretim basınçlarının kaç bar olması gerektiğini belirleyebilmek için pratik olarak girişim test çalışmaları yapılmıştır. Girişim testleri, Temmuz 2008'in ilk haftasında gerçekleştirilmiştir [66]. Yaz aylarında ısıtma olmadığından sadece test amacı ile üretim yapılmıştır (Şekil 10.4,10.5).

Yapılan çalışmada, bir kuyudan belirli zaman aralıklarında debi artacak şekilde vana-tur sayısı ayarlanarak üretim yapılırken diğer iki kuyuda gözlem yapılmış ve kuyu başı basınç değişiklikleri izlenmiştir. Bu işlem üç kuyu için tekrarlanmıştır. Elde edilen veriler grafiklere aktarılarak yorumlanmıştır (Şekil 10.6,10.7,10.8).

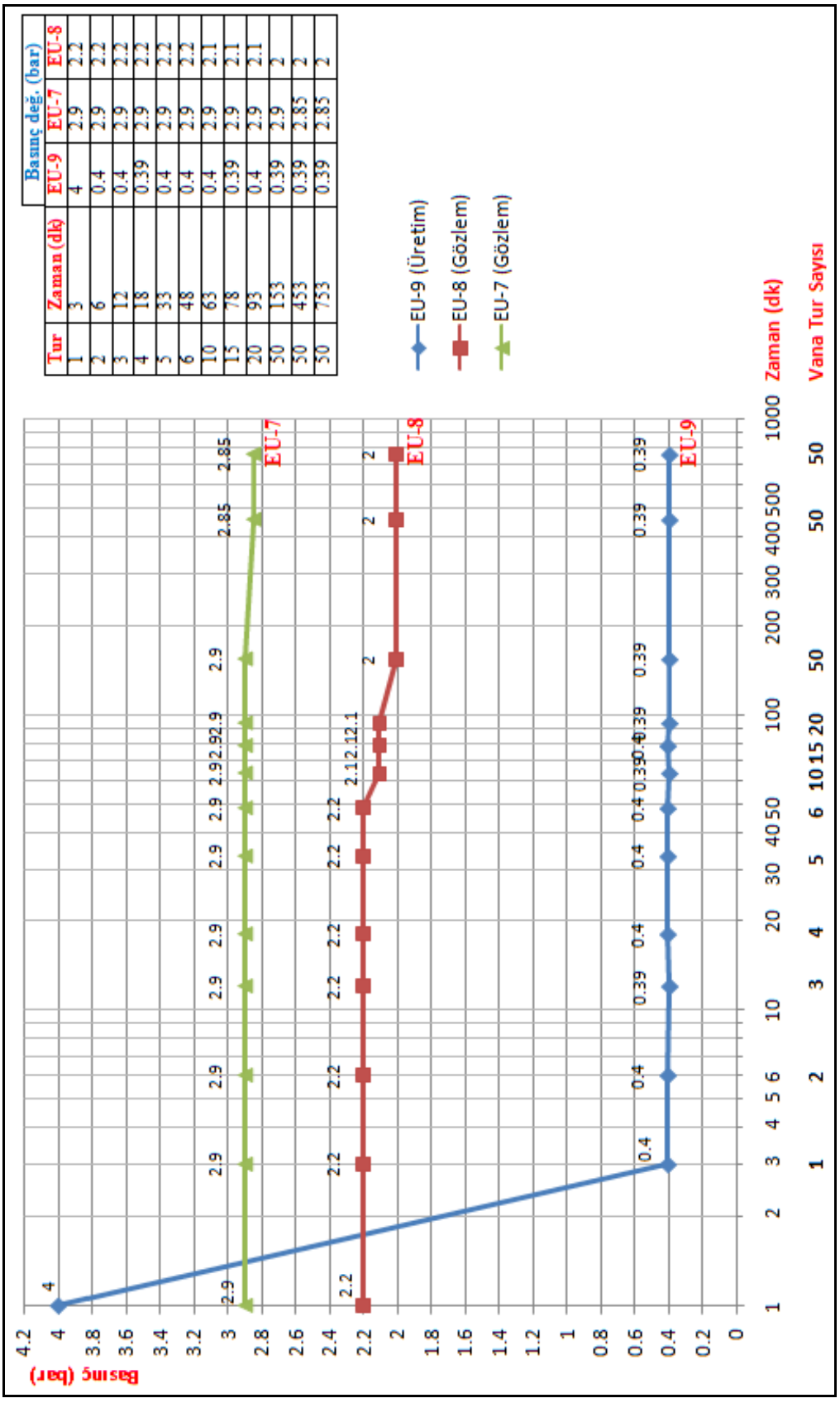


Şekil 10.4: EU-9 nolu kuyuda girişim test çalışması

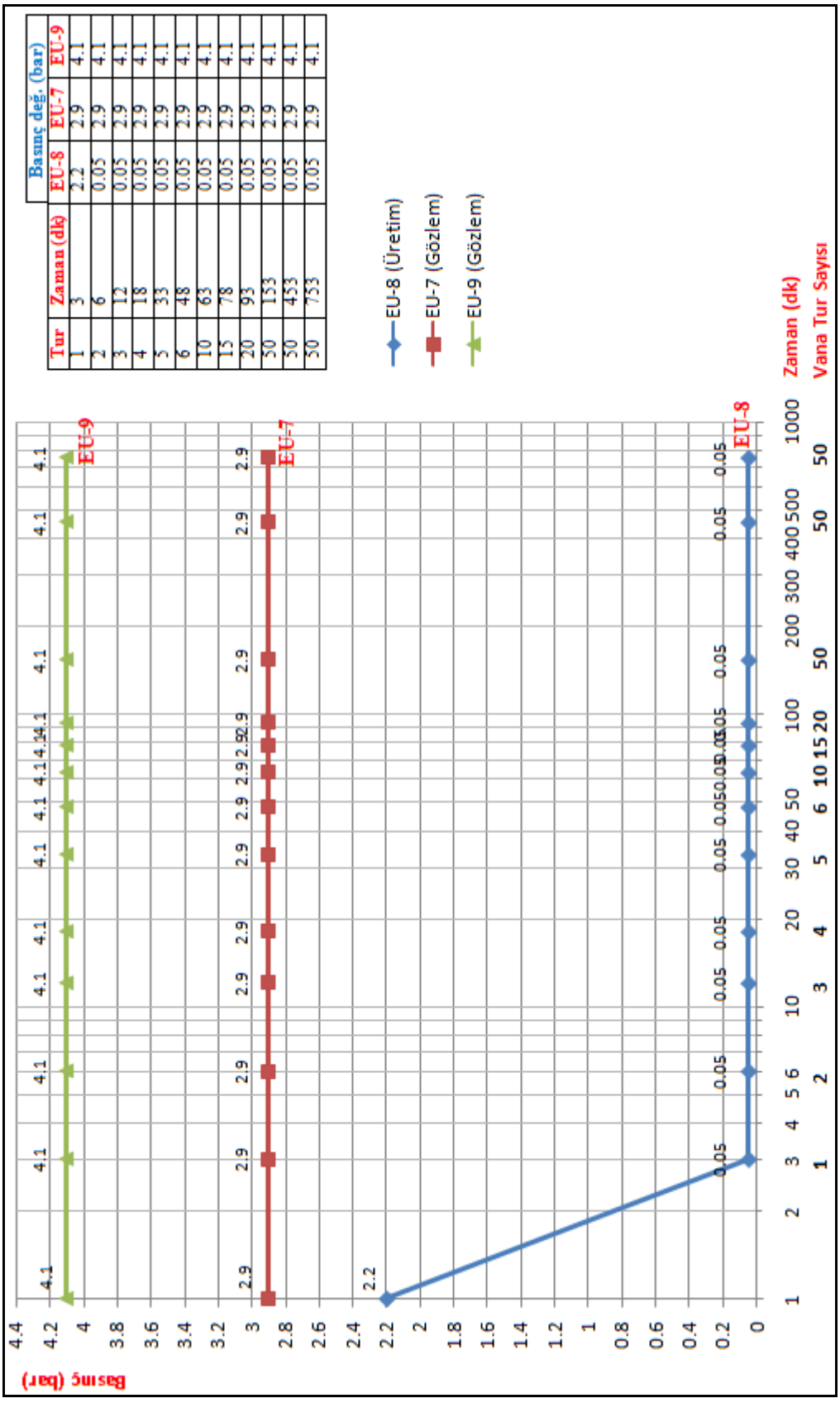


Şekil 10.5: EU-7 nolu kuyuda girişim test çalışması

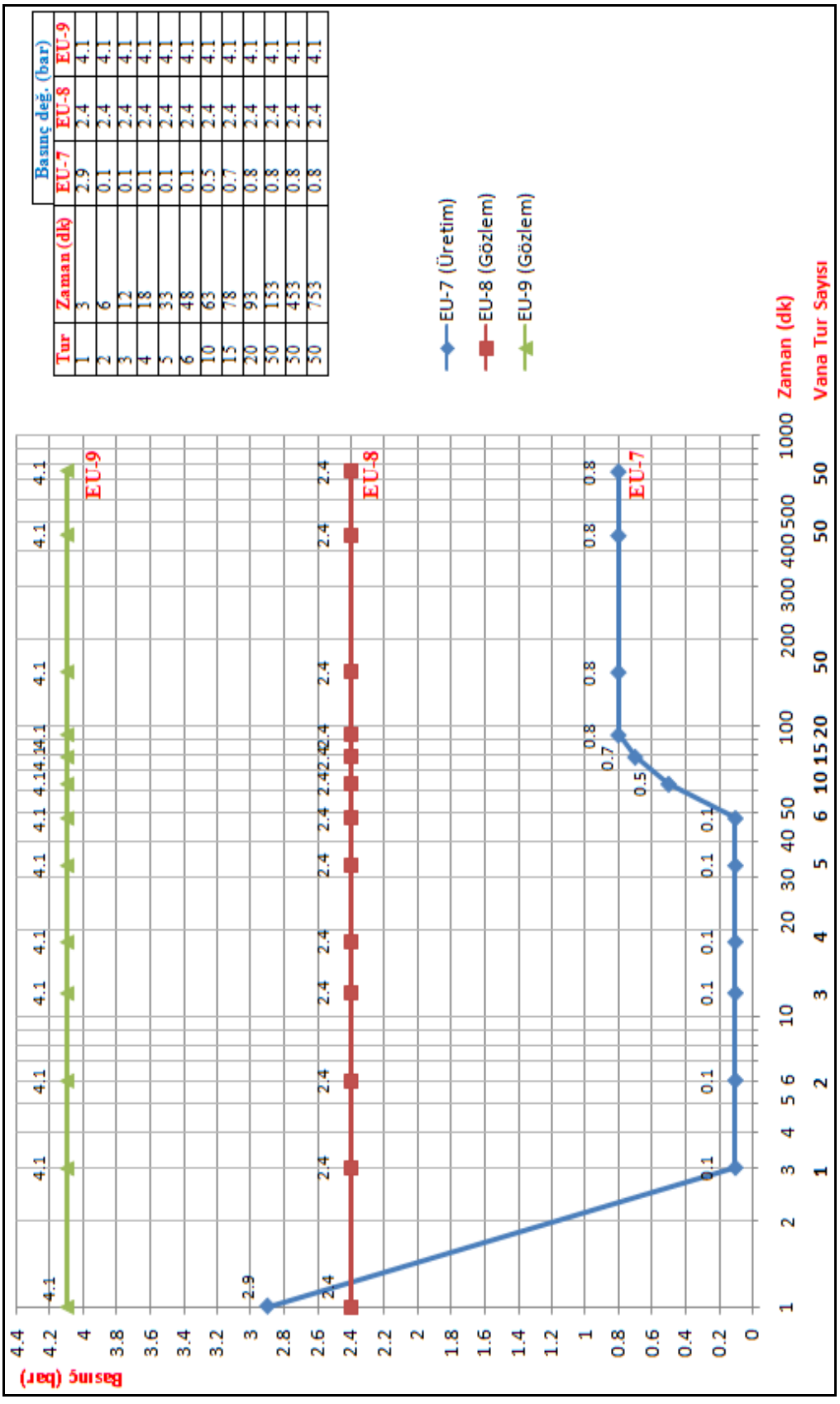
Grafiklere bakıldığında kuyulardan biri maksimum debide üretimde iken, gözlem yapılan diğer iki kuyuda test bitimine kadar kuyu başı manometre basınçları kontrol edilmiş ve basınç değerlerinde bir değişiklik gözlenmemiştir. Yani yapılan üç ayrı denemede gözlem kuyularında ölçülen basınç eğrileri ile üretim kuyularının üretim basınç eğrileri birbirlerine paralel bir durum göstermiştir (Şekil 10.6,10.7,10.8). Dolayısıyla kuyular arası mesafe mevcut üretim şartlarında uygun olup, kuyular arasında etkileşim söz konusu değildir. Eğer gözlem kuyularında basınç düşümleri meydana gelseydi, bazı kuyularda basınç düşümünün yanı sıra debi düşümleri de gözleneceğinden, kuyular arası girişim söz konusu olacak ve sağlıklı bir üretim için, üretim basıncı ayarlaması yapılacaktı.



Şekil 10.6: EU-9 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi



Şekil 10.7: EU-8 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi



Şekil 10.8: EU-7 kuyusu üretimde iken gözlem kuyularında basınç-zaman ilişkisi

11. URGANLI YÖRESİ SICAK SULARININ OLUŞUM MODELİ

Jeotermal enerjinin tanımı ve oluşumu hakkında açıklamalar jeotermal enerji başlığı altında verilmiştir. Bu bölümde ise, Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli anlatılmıştır.

Genel olarak, yeryüzüne düşen yağış suları, beslenme alanı içersinde yüzeydeki kırıklı, çatlaklı ve geçirimli birimlerden yer kabuğuna doğru süzülmeye başlar. Tektonizmanın da etkisiyle meydana gelen kırıklardan derinlere doğru süzülerek magma intrüzyonları tarafından ısıtılan kayalara yakınlaşır ve o bölgelerde ısınmaya başlar. Daha sonra sıcak akışkan hazne kaya içersinde depolanır. Hazne kaya içersinde depolanan akışkanın bir kısmı kırıklar yolu ile yeryüzüne ulaşarak doğal sıcaksu kaynaklarını oluşturur.

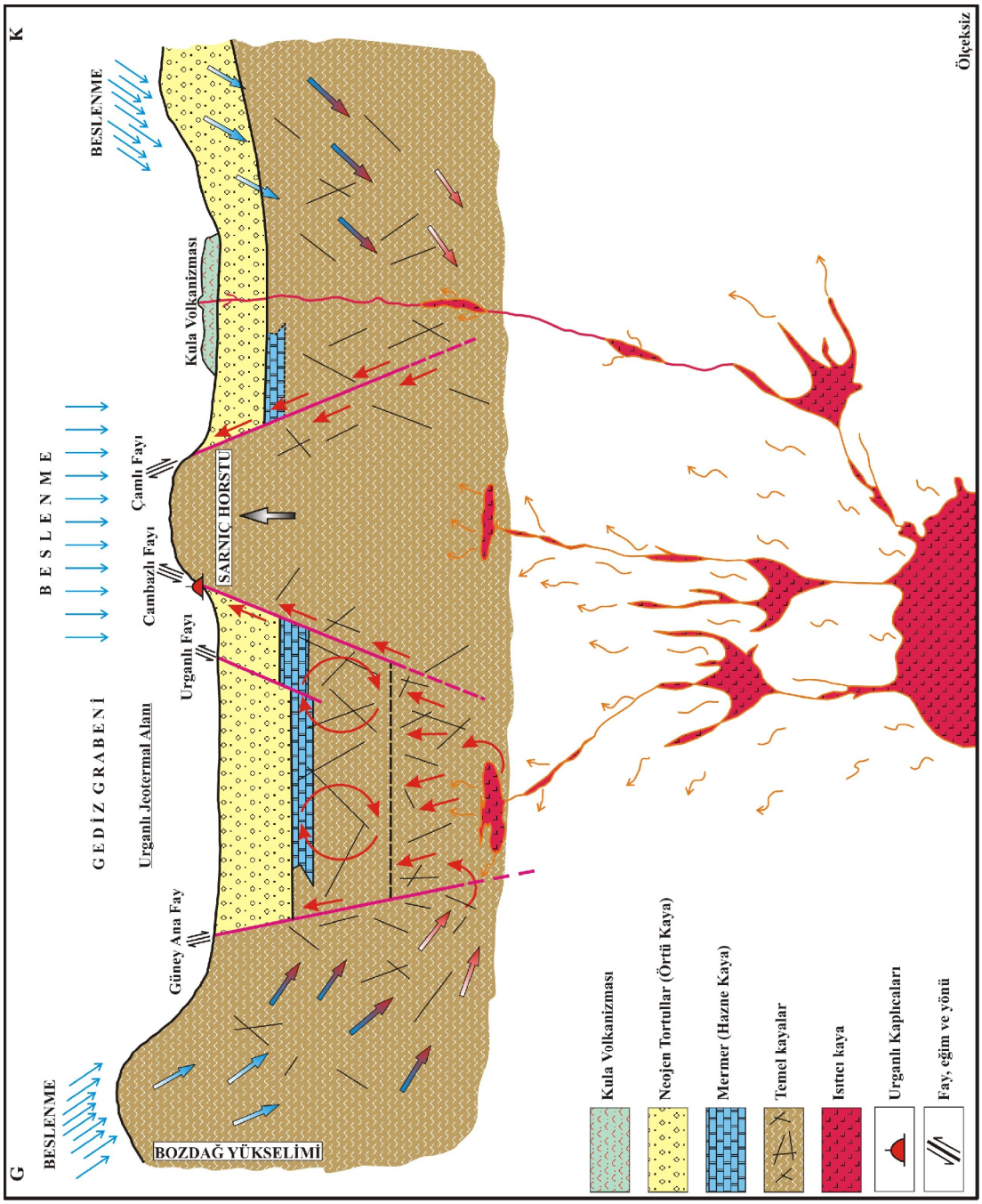
Urganlı jeotermal alanı için hazırlanan sıcak suların oluşum modeli Şekil 11.1'de verilmiştir. Turgutlu ve Alaşehir ilçeleri boyunca yaklaşık D-B yönde uzanan Gediz Grabeni'nin kuzey kanadında yer alan Urganlı jeotermal alanı, genç tektonik aktiviteden oldukça etkilenmiştir. Böylece, Menderes Masifi temel kayaları olarak adlandırılan muhtelif şist ve mermerler yoğun kırık ve çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Yoğun kırık ve çatlaklı bir yapı kazanan bu kayalar, geçirimli bir ortam sağlayan hazne kayayı teşkil etmektedir.

Urganlı jeotermal alanının kuzeyinde bulunan yükseltiler ile güneyinde bulunan Bozdağ yükselimi beslenme açısından oldukça önemlidir. Bu alanlara düşen yağış suları ile doğudan Gediz nehri boyunca olan yüzey ve yeraltı akışları Urganlı jeotermal alanını beslemektedir.

Beslenme bölgelerinden süzülerek yeraltına geçen sular, ısıtıcı kayaya doğru ilerlerken ısı akısının etkisiyle ısınarak Cambazlı fayının kontrolünde olduğu gibi diğer etkili faylar boyunca hazne kayalara kadar yükselir. Suların bu dolaşımı sırasında kimyasal özellikleri de değişikliklere uğramaktadır.

Urganlı jeotermal alanında sığ derinliklerde ısınarak, meydana gelen zayıflık zonlarından yüzeylenen birçok doğal sıcaksu kaynağı vardır. Ayrıca Neojen yaşlı birimlerden de sondajlar yardımıyla sıcaksu alınabilmektedir (EU-3 kuyusu). Bu durum, Neojen yaşlı tortullar içersinde de sığ bir rezervuarın varlığını ve beslenme koşullarının ne kadar iyi olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Urganlı jeotermal alanında sıcak su getirimini sağlayan en önemli tektonik hat Cambazlı fayıdır. Hazne kaya, yoğun kırık ve çatlağa sahip muhtelif şist ve mermerlerdir. Neojen yaşlı tortulların killi düzeyleri ise örtü kaya niteliğindedir. Jeotermal akışkanı besleyen suların akışı hidrolik eğime uygun olarak kuzeyden, güneyden ve doğudan olmaktadır (Şekil 11.1).



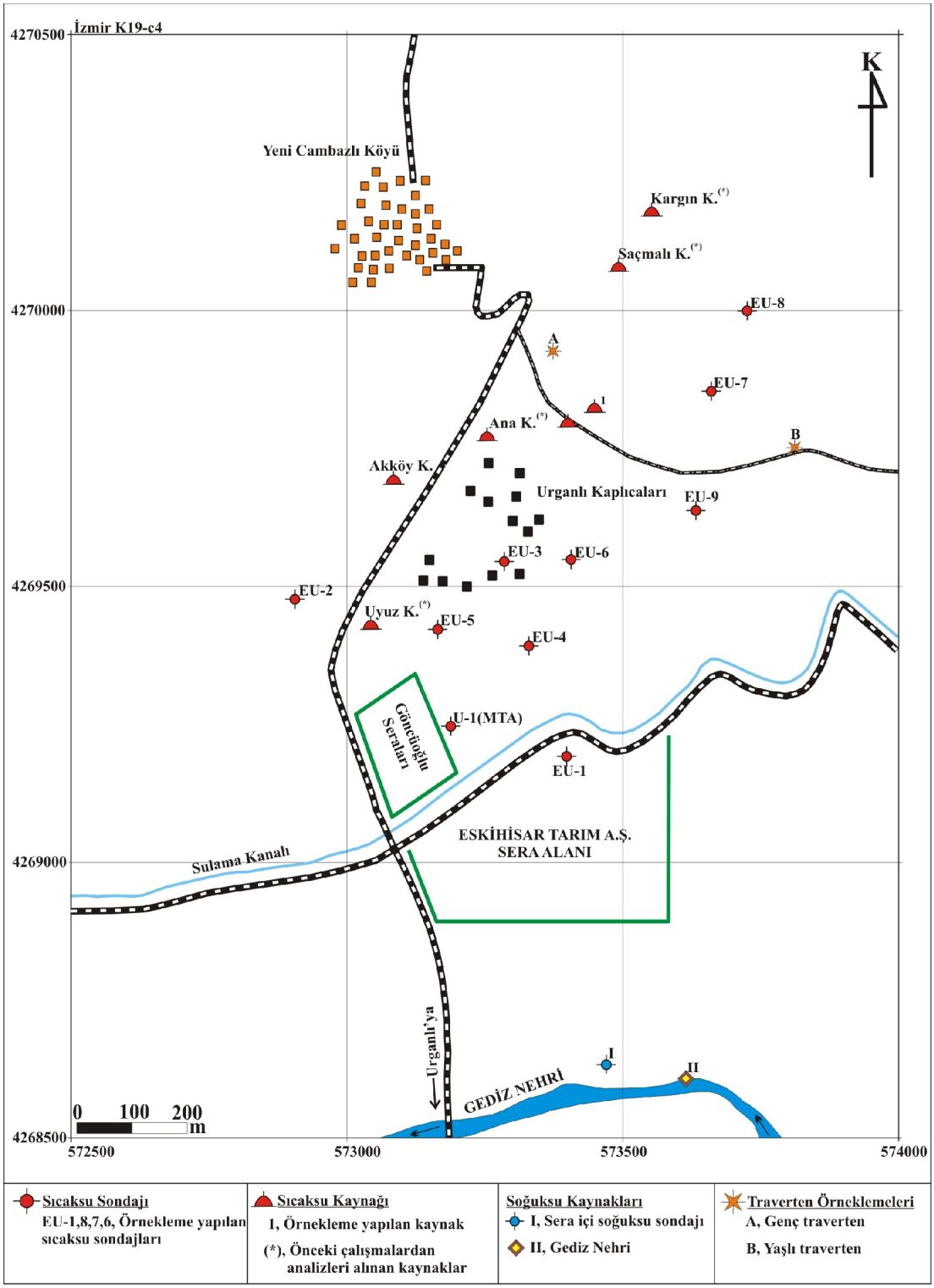
Şekil 11.1: Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli

12. URGANLI BÖLGESİ SULARININ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Urganlı jeotermal alanındaki suların kimyasal parametrelerini belirlemek amacıyla rezervuar ortamını temsilen sıcak su sondajlarından dört adet (EU-1,8,7,6), doğal sıcaksu kaynağından bir adet (1 nolu kaynak), yüzey ve yeraltı sularını temsilen Eskihisar Tarım A.Ş seralarına ait soğuksu sondajından bir adet (I) ve Gediz nehrinden bir adet (II) olmak üzere dört farklı su grubundan toplam yedi adet örnekleme yapılmıştır (Şekil 12.1).

Suların sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) gibi fizikokimyasal özellikleri kaynak ve kuyu başlarında ölçülmüştür (Şekil 12.2,12.3).

Suların kimyasal analiz sonuçları ve sınıflandırılmasında kullanılan hidrojeokimyasal hesaplamaların sonuçları Tablo 12.1,12.2,12.3,12.4,12.5,12.6,12.7'de verilmiştir. Ayrıca, su kimyası verilerinin yorumlama aşamasında bölgede daha önce yapılan çalışmalardan kaynak sularının kimyasal analiz sonuçları da [39] dikkate alınmıştır (Tablo 12.8).



Şekil 12.1: İnceleme alanında örnekleme yapılan noktaları gösteren kroki



Şekil 12.2: EU-7 nolu kuyudan örnek alımı



Şekil 12.3: Kaynak başlarında yapılan ölçümler

Tablo 12.1: EU-1 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: EU-1 Sıcaksu Sondajı				**T (°C)**	64.70	**Y**: 0573389	
Örnek No: 1		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	6.54	**X**: 4269203	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**% mg/l**	**% meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	406.32	17.67	70.74	68.29	0.01767	**SiO_2**	42.03
K^+	41.18	1.06	7.17	4.08	0.00106	**F**	3.68
Ca^{2+}	102.69	5.13	17.88	19.85	0.00257	**B**	9.96
Mg^{2+}	24.17	2.01	4.21	7.79	0.00101	**Li**	1.01
Cl^-	52.70	1.48	3.25	5.46	0.00148	**NH_4**	11.02
SO_4^{2-}	3.46	0.07	0.21	0.27	0.00004	**NO_3**	0.79
HCO_3^-	1563.11	25.62	96.53	94.27	0.02562	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			25.87	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			574.36
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			27.18	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			1619.27
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			53.05	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			2193.63
% e (Hata Yüzdesi)			-2.47	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.030
EC (µS/cm)			4268	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			72.37
Sertlik (Fr)			35.74	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			9.34
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rCl>rSO_4			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-HCO_3							

Tablo 12.2: EU-8 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: EU-8 Sıcaksu Sondajı				**T (°C)**	83	**Y**: 0573718	
Örnek No: 2		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	6.89	**X**: 4270008	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	438.04	19.05	74.99	73.10	0.01905	**SiO_2**	42.02
K^+	41.45	1.06	7.10	4.08	0.00106	**F**	3.86
Ca^{2+}	83.21	4.16	14.25	15.97	0.00208	**B**	10.67
Mg^{2+}	21.40	1.78	3.66	6.85	0.00089	**Li**	1.11
Cl^-	56.50	1.59	3.51	5.88	0.00159	**NH_4**	13.66
SO_4^{2-}	2.85	0.06	0.18	0.22	0.00003	**NO_3**	2.07
HCO_3^-	1550.41	25.42	96.31	93.90	0.02542	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			26.05	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			584.10
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			27.07	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			1609.76
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			53.12	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			2193.86
% e (Hata Yüzdesi)			-1.91	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.030
EC (µS/cm)			4981	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			77.18
Sertlik (Fr)			29.72	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			11.05
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi**: $rHCO_3$>rCl>rSO_4			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-HCO_3							

Tablo 12.3: EU-7 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: EU-7 Sıcaksu Sondajı				**T (°C)**	82	**Y**: 0573653	
Örnek No: 3		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	6.57	**X**: 4269861	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	439.70	19.12	77.52	75.60	0.01912	**SiO_2**	41.31
K^+	39.72	1.02	7.00	4.03	0.00102	**F**	3.87
Ca^{2+}	64.90	3.25	11.44	12.83	0.00162	**B**	10.78
Mg^{2+}	22.90	1.91	4.04	7.55	0.00095	**Li**	1.14
Cl^-	56.24	1.58	3.59	6.01	0.00158	**NH_4**	21.29
SO_4^{2-}	2.19	0.05	0.14	0.17	0.00002	**NO_3**	1.45
HCO_3^-	1509.10	24.74	96.27	93.82	0.02474	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			25.29	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			567.22
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			26.37	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			1567.53
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			51.66	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			2134.75
% e (Hata Yüzdesi)			-2.09	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.028
EC (µS/cm)			4901	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			79.62
Sertlik (Fr)			25.77	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			11.91
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rCl>rSO_4			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-HCO_3							

Tablo 12.4: EU-6 nolu sondajın kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: EU-6 Sıcaksu Sondajı				**T (°C)**	77	**Y**: 0573653	
Örnek No: 4		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	6.52	**X**: 4269861	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	442.68	19.25	78.29	76.73	0.01925	**SiO_2**	29.97
K^+	43.20	1.11	7.64	4.42	0.00111	**F**	4.55
Ca^{2+}	57.12	2.86	10.10	11.39	0.00143	**B**	11.12
Mg^{2+}	22.47	1.87	3.97	7.47	0.00094	**Li**	1.13
Cl^-	54.20	1.53	3.49	5.84	0.00153	**NH_4**	10.98
SO_4^{2-}	1.30	0.03	0.08	0.10	0.00001	**NO_3**	0.59
HCO_3^-	1499.57	24.58	96.43	94.05	0.02458	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			25.08	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			565.47
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			26.14	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			1555.07
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			51.22	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			2120.54
% e (Hata Yüzdesi)			-2.06	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.028
EC (µS/cm)			4886	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			81.15
Sertlik (Fr)			23.64	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			12.52
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rCl>rSO_4			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-HCO_3							

Tablo 12.5: Sıcaksu kaynağının kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: Sıcaksu Kaynağı				**T (°C)**	52	**Y**: 0573438	
Örnek No: 5		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	6.23	**X**: 4269833	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	455.23	19.79	76.31	74.52	0.01979	**SiO_2**	39.45
K^+	42.71	1.10	7.16	4.12	0.00110	**F**	3.80
Ca^{2+}	76.26	3.81	12.78	14.36	0.00191	**B**	10.85
Mg^{2+}	22.32	1.86	3.74	7.00	0.00093	**Li**	1.16
Cl^-	55.87	1.57	3.43	5.74	0.00157	**NH_4**	6.12
SO_4^{2-}	15.86	0.33	0.97	1.20	0.00017	**NO_3**	1.13
HCO_3^-	1556.76	25.52	95.60	93.06	0.02552	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			26.56	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			596.52
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			27.42	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			1628.49
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			53.99	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			2225.01
% e (Hata Yüzdesi)			-1.60	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.030
EC (µS/cm)			3876	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			78.64
Sertlik (Fr)			28.37	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			11.75
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rCl>rSO_4			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-HCO_3							

Tablo 12.6: Soğuksu sondajının kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı: Seraiçi Soğuksu				**T (°C)**	15.8	**Y**: 0573462	
Örnek No: 6		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	7.67	**X**: 4268641	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	76.65	3.33	37.86	31.03	0.00333	**SiO_2**	22.25
K^+	4.32	0.11	2.13	1.03	0.00011	**F**	0.16
Ca^{2+}	84.79	4.24	41.88	39.48	0.00212	**B**	0.83
Mg^{2+}	36.68	3.06	18.12	28.46	0.00153	**Li**	0.06
Cl^-	20.59	0.58	3.13	5.17	0.00058	**NH_4**	0.90
SO_4^{2-}	40.71	0.85	6.18	7.56	0.00042	**NO_3**	7.54
HCO_3^-	597.29	9.79	90.69	87.27	0.00979	**NO_2**	<0.01
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			10.74	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			202.44
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			11.22	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			658.59
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			21.96	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			861.03
% e (Hata Yüzdesi)			-2.19	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.015
EC (µS/cm)			828	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			32.06
Sertlik (Fr)			36.48	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			1.74
Katyon Dizilimi: r(Na+K)>rCa>rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rSO_4>rCl			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-Ca-Mg-HCO_3							

Tablo 12.7: Gediz nehrinin kimyasal analiz sonuçları

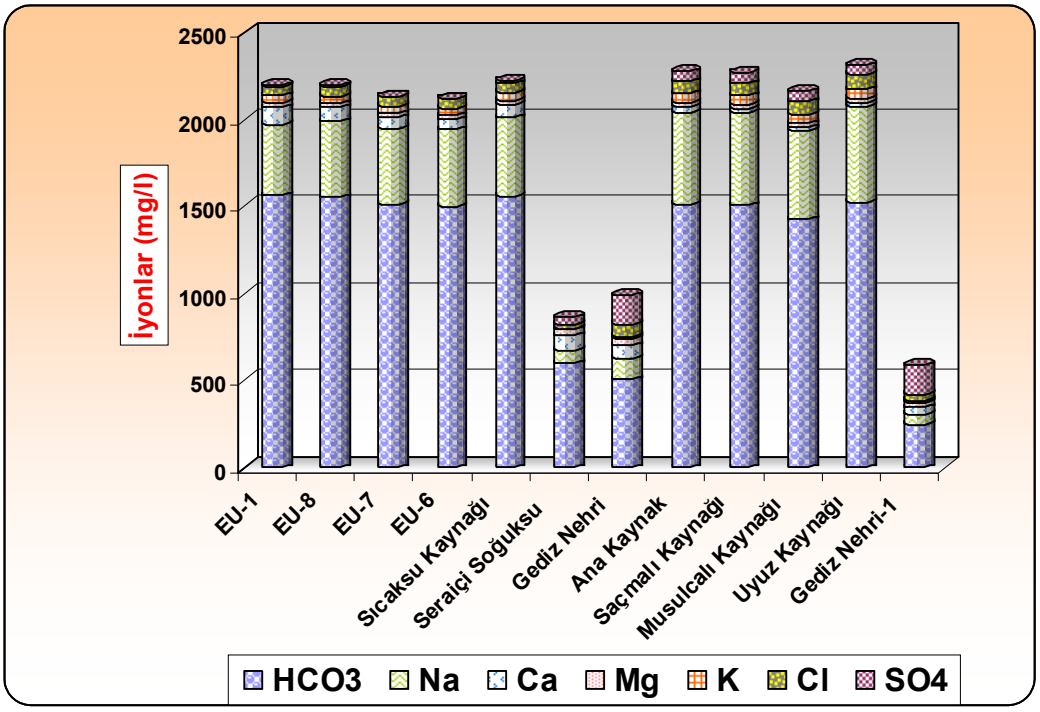
Örnek Adı: Gediz Nehri				**T (°C)**	10.1	**Y**: 0573606	
Örnek No: 7		**Tarih**: 17.01.2008		**pH**	7.77	**X**: 4268615	
İyon	**mg/l**	**meq/l**	**%mg/l**	**%meq/l**	**mol/l**	**Diğer İyonlar (mg/l)**	
Na^+	120.44	5.24	48.48	41.50	0.00524	**SiO_2**	14.85
K^+	12.34	0.32	4.97	2.51	0.00032	**F**	0.22
Ca^{2+}	77.17	3.86	31.06	30.58	0.00193	**B**	1.65
Mg^{2+}	38.47	3.21	15.49	25.41	0.00160	**Li**	0.13
Cl^-	69.38	1.95	9.36	14.25	0.00195	**NH_4**	9.81
SO_4^{2-}	166.92	3.48	22.51	25.36	0.00174	**NO_3**	2.10
HCO_3^-	505.15	8.28	68.13	60.39	0.00828	**NO_2**	3.223
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			12.62	**Toplam Katyon Miktarı (mg/l)**			248.42
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			13.71	**Toplam Anyon Miktarı (mg/l)**			741.45
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			26.33	**Toplam İyon Miktarı (mg/l)**			989.87
% e (Hata Yüzdesi)			-4.16	**İyonlaşma Gücü (mol/l)**			0.018
EC (µS/cm)			899	**% Na (Sodyum Yüzdesi)**			44.01
Sertlik (Fr)			35.32	**SAR (Sodyum Adsorb. Oranı)**			2.79
Katyon Dizilimi: r(Na+K)> rCa> rMg				**Anyon Dizilimi:** $rHCO_3$>rSO_4>rCl			
Hidrokimyasal Fasiyes Tipi: Na-Ca-Mg-HCO_3							

Tablo 12.8: Sıcaksu kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (mg/l) [48]

Örnek Adı	**Ana Kaynak**	**Saçmalı Kaynağı**	**Musulcalı Kaynağı**	**Uyuz Kaynağı**	**Gediz Nehri-1**
Örnek No	8	9	10	11	12
Tarih	1992	1992	1992	1992	1992
T (°C)	62	62	78	51	21
pH	6.61	6.75	6.72	6.73	7.71
EC (µS/cm)	2200	2232	2306	2211	800
Ca^{2+}	32	23	19	22	36
Mg^{2+}	22	23	22	21	33
Na^+	529	533	514	554	60
K^+	50	50	49	52	9
Cl^-	73	74	73	85	37
SO_4^{2-}	54	61	59	53	163
HCO_3^-	1514	1507	1424	1523	246
B	11	10	10	9	1.16
Li	1.42	1.49	1.41	1.46	0.07

Urganlı jeotermal alanında örnekleme yapılan suların sıcaklıları sondajlarda 64-83^{o}C arasında olup, kaynakta ise 52^{o}C'dir. Toplam çözünmüş madde (TDS) miktarı sondajlarda 2100-2350 mg/l arasında olup, kaynakta ise 2225 mg/l'dir. Sıcak suların elektriksel iletkenlik değerleri (EC) sondajlarda 4268-4981 µS/cm olup, kaynakta ise 3876 µS/cm'dir. Sıcak suların pH değerleri ise 6.23-6.89 arasında değişmektedir. Sera içi soğuk su sondajında TDS, EC ve pH değerleri sırasıyla 891 mg/l, 828 µS/cm ve 7.67'dir. Gediz nehri suyunda ise TDS, EC ve pH sırasıyla 990 mg/l, 899 µS/cm ve 7.77'dir (Tablo 12.1,12.2,12.3,12.4,12.5,12.6,12.7).

Alandaki suların anyon ve katyon dağılımlarına bakıldığında, tüm sıcaksu kaynak ve sondajlarda Na^{+} ve HCO_3^{-} iyonu hakimdir. Seraiçi soğuksu sondajında ise Ca^{2+}, Na^{+} ve HCO_3^{-} iyonları, Gediz nehri suyunda da Na^{+}, SO_4^{2-} ve HCO_3^{-} iyonları en yüksek değerdedir (Şekil 12.4). Şekilden de görülebileceği gibi, sıcak su sondaj ve kaynak suların iyon içerikleri birbirlerine benzer değerdedir.



Şekil 12.4: İnceleme alanı sularının majör iyon dağılımları

Sıcak ve mineralli suların toplam çözünmüş madde miktarı soğuk sulara göre oldukça fazladır. Sıcaksu, derinlerde dolaşarak su-kayaç etkileşimi ile mineral yönünden zenginleşir ve ısınarak yükselir. Soğuk sular ise, sığ dolaşımlı sular olması nedeniyle toplam çözünmüş madde miktarı fazla değildir.

Suların Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'ne (A.I.H) göre sınıflandırılmasında bazı fiziksel özelliklerin yanında iyonların %miliekivalen değerleri bilinmelidir. Sınıflamada, miliekivalen değeri olarak %20'yi aşan iyonlardan önce katyonlar, sonra anyonlar giderek azalacak şekilde yan yana yazılmaktadır. Sıcaklık olarak, $20^{o}C$'den yüksek sıcaklığa sahip sular sıcaksu, toplam çözünmüş madde miktarı 1000 mg/l'yi geçen sular da mineralli su olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca sınıflamaya mg/l olarak sınır değerleri geçen özel elemanlar da yazılmalıdır. A.I.H sınıflamasına göre özel elamanlar ve sınır değerleri Tablo 12.9'da verilmiştir [4,7].

Tablo 12.9: A.I.H' ye göre özel elamanlar ve sınır değerleri (mg/l)

Özel Elemanlar	**Sınır Değerleri**
H_2S+HS	5
Fe	20
I	5
As	1
F	5
B	10
H_2SiO_3	50
C_{org}	10
Rn	5 nCi/l
CO_2	> %10 hacim

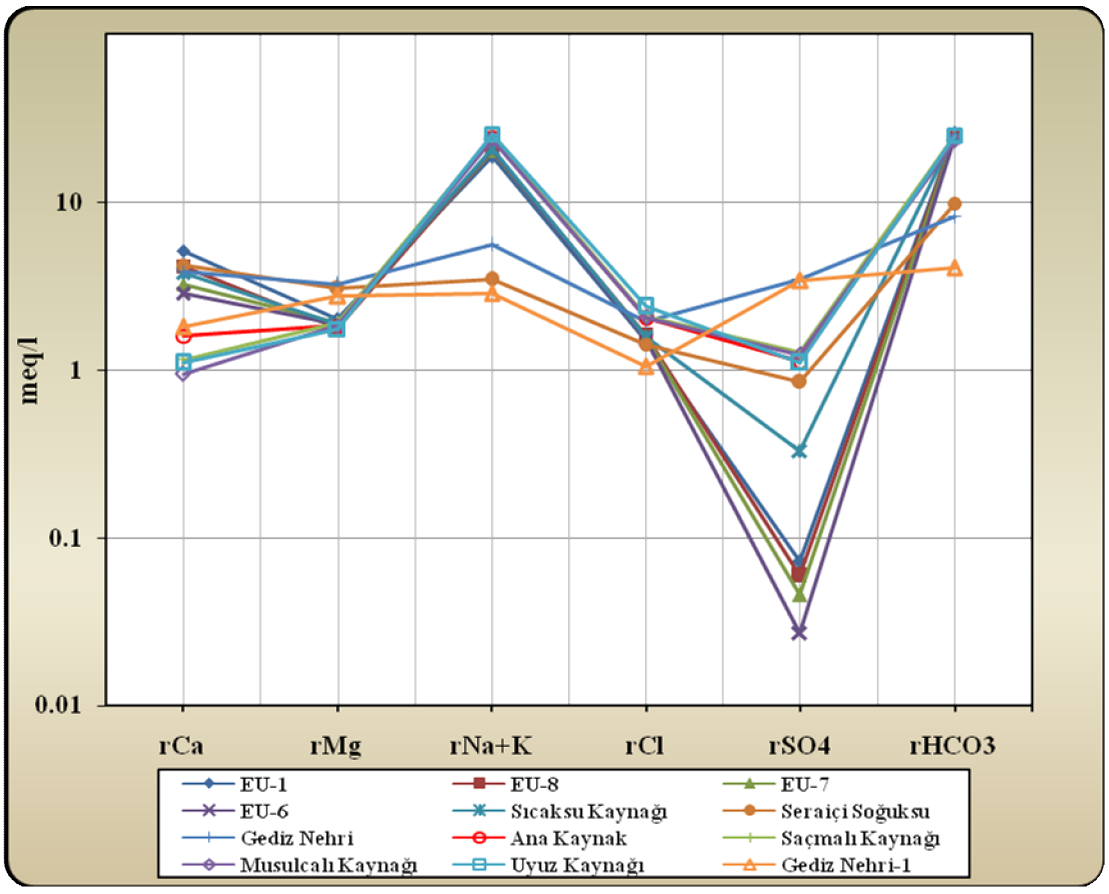
İnceleme alanı sıcak suları, A.I.H sınıflamasına göre, "Na'lı, HCO_3'lı, SiO_2'li, B'lu, CO_2'li sıcak ve mineralli sular" sınıfındadır [58,60].

12.1. Suların Sınıflandırılması ve Grafiklerle Gösterimi

Suların kimyasal analiz sonuçlarının bütün olarak grafik üzerinde gösterilmesi, benzer ve farklı kökenli suların birbirleriyle karşılaştırılması açısından hidrojeolojide oldukça yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu bölümde, Urganlı jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk sular için hazırlanan, Schoeller, Piper, Langeiler-Ludwig (LL), Cl-SO_4-HCO_3 diyagramları irdelenmiştir.

12.1.1. Schoeller diyagramı

Bu diyagramda benzer kökenli, aynı akiferden gelen sular ve aynı beslenme alanına sahip sular paralel pikler vermektedir [7,43]. Urganlı sıcak ve mineralli suların yarı logaritmik diyagramında iyonların miliekivalen değerlerini birleştiren doğrular birbirine çok yakın geçmektedir. Bu durum, suların benzer bileşimli olduğunu göstermektedir (Şekil 12.5).



Şekil 12.5: İnceleme alanı sularının Schoeller diyagramında gösterimi

Sıcak suların yerel yağışlardan beslenip aynı kimyasal bileşime sahip akiferden veya kayaçlardan geldiği anlaşılmaktadır [43]. Diyagramda 1992 ve 2008 yılı Kimyasal analiz sonuçları karşılaştırıldığında Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4 ve Cl gibi majör iyonlar açısından sıcaksu kaynaklarında pek fazla bir farklılığın olmadığı görülür ancak sıcaksu sondajlarında SO_4 içeriği düşüktür (Şekil 12.5). Sıcaksu sondajlarına göre, kaynaklardaki SO_4 iyonu fazlalığı, Neojen yaşlı birimlerdeki sülfürlü minerallerin (piritlerin) oksitleşmesinden kaynaklanabileceği olasıdır [38,63]. Seraiçi soğuksu sondajının da, sıcaksu kaynaklarına paralellik göstermesi sıcak sularla soğuksuların karıştığını göstermektedir. Gediz nehri suları ise, birbirlerine göre paralellik gösterseler de, SO_4 ve Cl iyonları dışında diğer iyonlarda 2008 yılı analizlerinde artma gözlenmektedir (Tablo 12.8). Bu nedenle, Gediz nehri suları, doğal ve yapay kirlenmelerin etkisinde kalmıştır denilebilir.

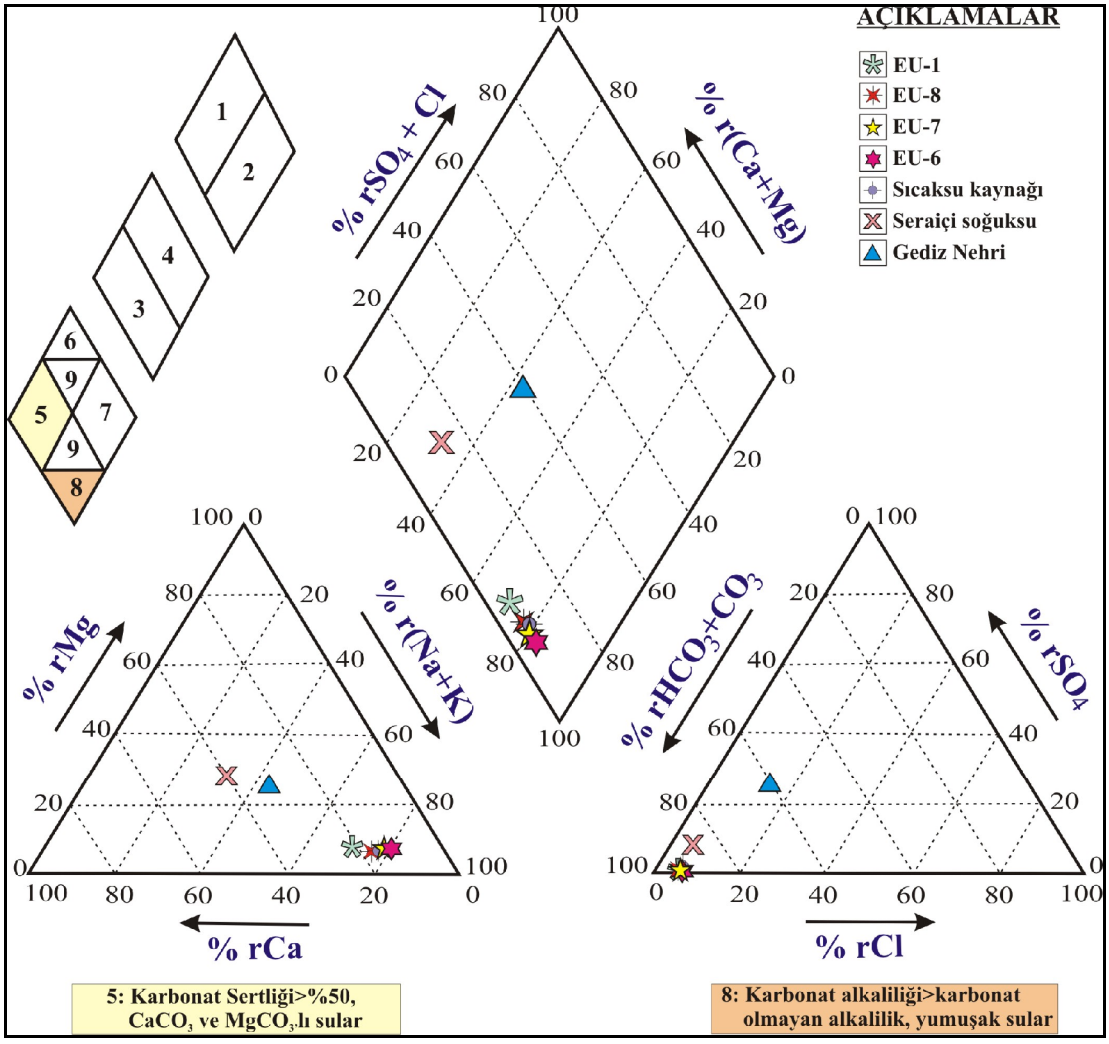
İnceleme alanındaki tüm sıcak sular Na-HCO_3'lı su tipini yansıtmaktadır. Sulardaki iyonların sıralanması katyonlarda r(Na+K)>rCa>rMg, anyonlarda ise $rHCO_3$>rCl>SO_4 şeklindedir. Soğuk sularda ise rCa>r(Na+K)>rMg ve $rHCO_3$>SO_4>rCl şeklinde olup, Ca,Na-HCO_3,SO_4 su tipini yansıtmaktadır (Tablo 12.10).

Tablo 12.10: Sularda bulunan iyonların dizilimi ve su tipleri

Numune Adı	**Katyon Dağılımı**	**Anyon Dağılımı**	**Su Tipi**
EU-1	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
EU-8	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
EU-7	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
EU-6	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Sıcaksu Kaynağı	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Sera içi Soğuksu	rCa>r(Na+K)>rMg	$rHCO_3$>SO_4>rCl	Ca,Na-HCO_3,SO_4
Gediz Nehri	r(Na+K)>rCa>rMg	$rHCO_3$>SO_4>rCl	Na,Ca-HCO_3,SO_4
Ana Kaynak	r(Na+K)>rMg>rCa	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Saçmalı Kaynağı	r(Na+K)>rMg>rCa	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Musulcalı Kaynağı	r(Na+K)>rMg>rCa	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Uyuz Kaynağı	r(Na+K)>rMg>rCa	$rHCO_3$>rCl>SO_4	Na-HCO_3
Gediz Nehri-1	r(Na+K)>rMg>rCa	$rHCO_3$>SO_4>rCl	Na,Mg-HCO_3,SO_4

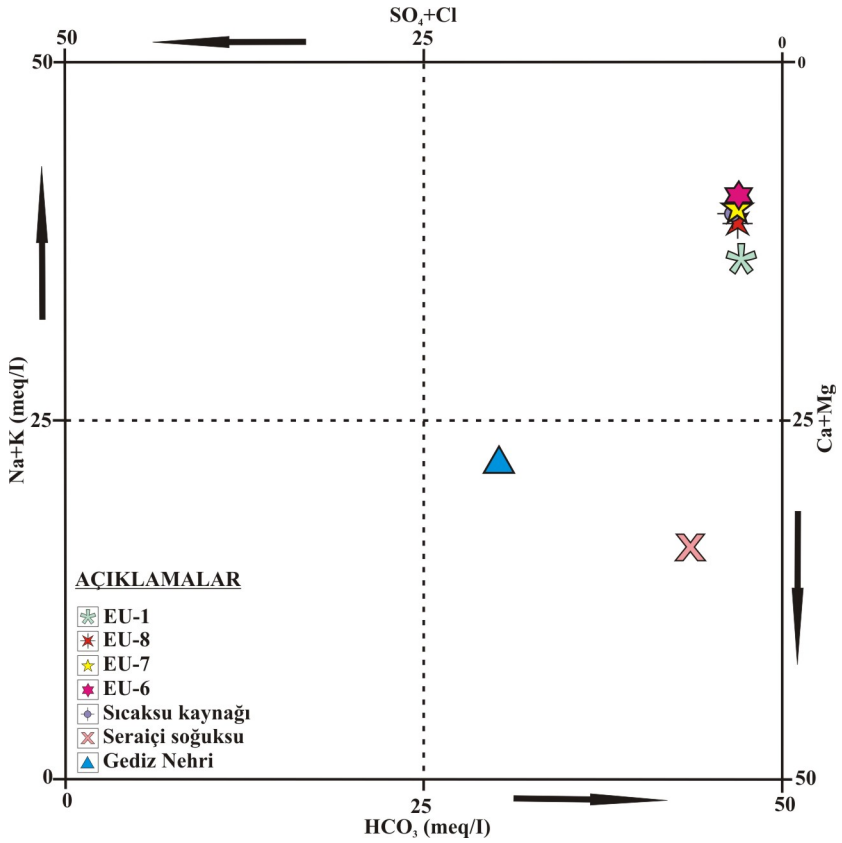
12.1.2. Piper ve Langeiler-Ludwig diyagramı

Piper diyagramı, anyon ve katyonların yüzde miliekivalen (% meq) cinsinden ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar, suların hidrojeokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Suların Piper üçgen diyagramındaki konumlarına göre sıcak ve mineralli sular 8 nolu bölgeye düşmekte ve karbonat alkaliliği>karbonat olmayan alkalilik olmak üzere doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular sınıfına girmektedir [39,7]. Seraiçi soğuksu ve Gediz nehri suyu ise, 5 nolu bölgeye düşmekte ve karbonat sertliği % 50'den fazla olan $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sular sınıfına girmektedir (Şekil 12.6).



Şekil 12.6: İnceleme alanı sularının Piper diyagramında gösterimi

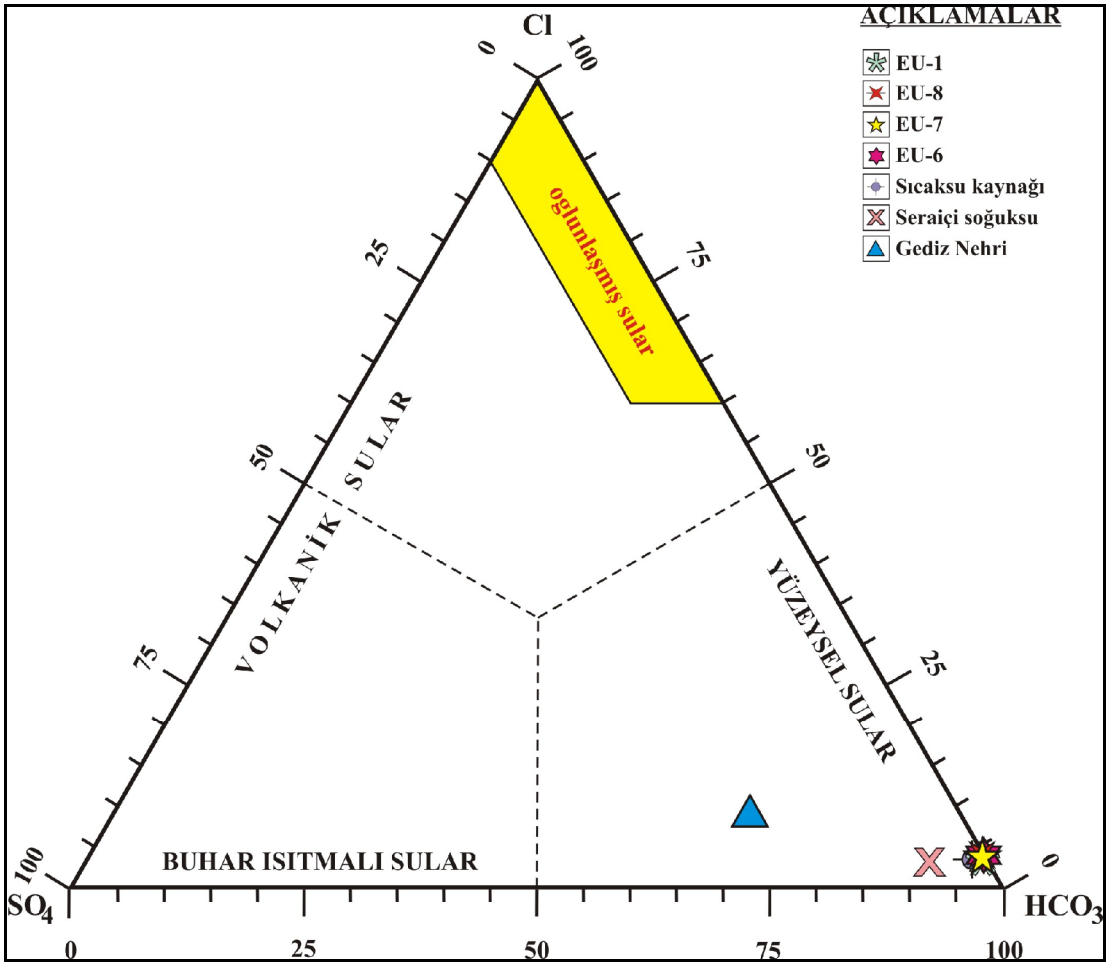
Langelier-Ludwig (LL) diyagramı ise, iyonların meq/l değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen ve suların sınıflamasında kullanılan kare diyagramlardan birisidir [27,38]. LL diyagramında da Gediz nehri ve seraiçi soğuksu örnekleri Ca,Mg-HCO_3 su tipini, tüm sıcaksu noktaları ise, Na-HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 12.7). Bu da, yüksek hidrolik iletkenliğe sahip akiferde, yavaş dolaşımdan dolayı kayaçlarla temas süresi uzayan Na-HCO_3 tipli sıcak suların, artan çözünürlük tepkimeleriyle iyon miktarlarının arttığını göstermektedir. Soğuk sular ise, Ca,Mg-HCO_3'lı sular tipinde olup, sığ kuşaklarda hızlı dolaşan, düşük iyon konsantrasyonlu yeraltı sularını işaret etmektedir [38].



Şekil 12.7: Urganlı sularına ait Langeiler-Ludwig diyagramı (Na+K)-HCO_3)

12.1.3. Cl-SO_4-HCO_3 Giggenbach diyagramı

Suların kökenlerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan diyagramlardan birisi de Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramıdır. Diyagram üç bölümden meydana gelmektedir. Cl köşesine yakın olan sular olgun suları, SO_4 köşesine yakın olan sular buhar ısıtmalı suları, HCO_3 köşesine yakın olan sular ise, olgunlaşma sürecini tamamlamamış, su-kayaç etkileşiminin hala devam etmekte olduğu yüzey/kenar sularını temsil etmektedir [38]. İnceleme alanı suları için hazırlanan diyagrama baktığımızda sıcak ve soğuksu kaynaklarının tamamı HCO_3 köşesinde yer almaktadır (Şekil 12.8).



Şekil 12.8: Urganlı sularına ait Cl-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramı

Dolayısıyla, Urganlı jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli sular, olgunlaşma sürecini tamamlamayan karışım sularını yansıtmaktadır. Sıcak suların HCO_3 içerikleri 1500-1560 mg/l arasında, olup soğuk sularda 500-600 mg/l arasındadır.

Sıcak sulardaki yüksek HCO_3 içeriği, jeotermal akışkanı besleyen CO_2'li suların karbonatlı kayalarla etkileşimi sonucu çözünerek yeraltı suyuna geçmektedir [38,37,44]. SO_4 derişimleri ise, sıcaksu sondajlarında 1-4 mg/l arasında çok düşük değerler gösterirken, sıcaksu kaynağında 15.86 mg/l, seraiçi soğuksu sondajında 40.71 mg/l, Gediz nehrinde ise, 166.92 mg/l'dir. İnceleme alanında, gerek Neojen yaşlı birimlerde, gerekse temel kayalar arasında en yaygın olarak görülen sülfit minerali pirit mineralidir (EK A). Sulardaki SO_4 içeriğinin ise, piritlerin oksidasyonu ile gerçekleştiği söylenebilir. Piritin oksidasyonu aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmekte olup bu şekilde SO_4 açığa çıkmaktadır [44,38].

$$FeS_2 + 3.5O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+ \qquad (12.1)$$

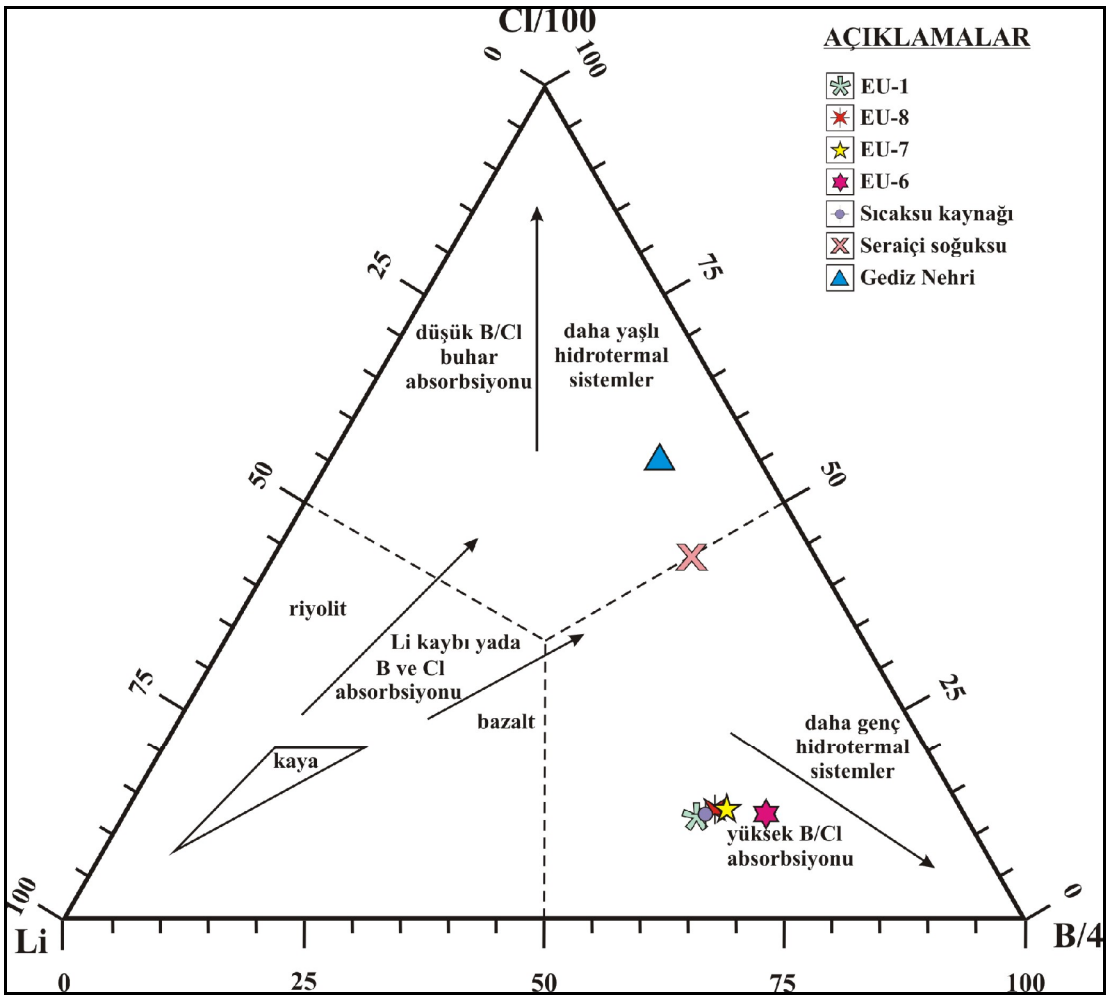
Cl iyonu ise, sıcaklıkla beraber çözünürlüğün artmasından dolayı derin kökenli olabileceği gibi, sıcak suları besleyen meteorik kökenli yağışlardan da kaynaklanabilmektedir.

12.1.4. Cl-Li-B diyagramı

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular için hazırlanan Cl-Li-B diyagramı Şekil 12.9'da verilmiştir [23]. Sıcak su sondaj ve kaynaklarındaki B değerleri 9-11.12 mg/l, Li değerleri 1.01-1.16 mg/l arasında değişirken, seraiçi soğuksu kaynağında B değeri 0.83 mg/l, Li değeri 0.06 mg/l'dir. Gediz nehrinde ise, B değeri 1.65 mg/l, Li değeri 0.13 mg/l'dir. Li ve B iyonlarının, sıcaklıkla doğru orantılı olarak çözünürlükleri artmaktadır ve genellikle derin kökenlidir. Sıcaksu kaynaklarındaki yüksek orandaki B, çoğunlukla suyun geçtiği ana kayalardan gelmektedir. Ayrıca bor, kil mineralleri tarafından absorblanarak ta zenginleşmektedir [44].

Diyagram incelendiğinde, tüm sıcaksu kaynaklarının bor köşesine yakın olduğu ve yüksek B/Cl buhar absorbsiyonu bölgesine düştüğü görülmektedir (Şekil 12.9). Yüksek bor içeren sıcak ve mineralli sular için göreceli olarak daha genç bir hidrotermal sistemin varlığı düşünülebilir [21,53].

İnceleme alanı sıcak ve mineralli sularındaki bor fazlalığı, su-kayaç etkileşiminden olabileceği gibi, genç magma sokulumlarından ve/veya denizel çökellerin metamorfizmasından kaynaklanabilir [48,21]. Ayrıca, sıcaksu kaynakları soğuksu akiferlerini etkilemektedir. Soğuk sulardaki nispeten yüksek bor içeriği bunun bir sonucudur [44].



Şekil 12.9: Urganlı sularına ait Cl-Li-B üçgen diyagramı

12.2. Sularının Köken Benzerliklerinin İrdelenmesi

Suların köken benzerliklerinin araştırılmasında kullanılan en pratik yöntemlerden birisi suda çözünmüş halde bulunan iyonların ve suların fizikokimyasal özelliklerin birbirleriyle olan ilişkilerinin değerlendirilmesidir. Genel olarak, aynı kökenli sıcak ve soğuk suların iyon miktarları ve diğer fizikokimyasal özellikleri birbirine benzer olacaktır.

12.2.1. Suların kimyasal parametreleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi

Sularda çözünmüş halde bulunan maddeler ve suların fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkilerin irdelenmesi, hidrojeokimyasal süreçlerin değerlendirmesi sırasında faydalı olmaktadır [51]. Bu nedenle, Urganlı jeotermal alnındaki sıcak ve soğuk suların kimyasal parametreleri regresyon analizi yöntemiyle karşılaştırılarak aralarındaki doğrusallık ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Genel olarak, "y = ax + b" olarak tanımlanan doğru denkleminde, "a" doğrunun eğim katsayısını, "b" ise, sabit katsayı olup doğrunun "y" eksenini kestiği noktayı gösterir. Hesaplanan korelasyon katsayılarıyla (r), doğru denkleminin, iyi bir doğrusallık sunup sunmadığı değerlendirilir. Ancak, iki parametre arasındaki korelasyon katsayısı, "-1" ile "+1" arasında ($-1 < r < 1$) değişen bir değer olup, pozitif korelasyon (+), değerlendirilen iki parametre arasındaki doğru orantıyı; negatif korelasyon (-) ise, değerlendirilen iki parametre arasındaki ters orantıyı göstermektedir. 1'e yaklaşan değerler iki parametre arasındaki iyi bir doğrusallığı gösterir [51].

Urganlı bölgesinde örnekleme yapılan sularının kimyasal özellikleri Tablo 12.1, 12.2,12.3,12.4,12.5,12.6,12.7'de verilmiştir. İnceleme alanında, 1,2,3,4,5,6,7 örnek numaralı sıcak ve soğuk sular arasındaki kimyasal parametreler için regresyon analizi yapılmış ve verilen korelasyon katsayıları (r) Aquachem programında [9] hazırlanmıştır (Tablo 12.11). Değerlendirmeler, iki parametre arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 12.11: Suların kimyasal özellikleri arasındaki doğrusallık ilişkileri

mg/l	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Li	B	SiO_2	F	Ba	Sr	EC	pH	T (°C)
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Na^+	1.00	0.99	-0.21	-0.99	0.41	-0.74	0.99	0.97	1.00	0.87	0.99	0.76	0.75	0.97	-0.95	0.92
K^+		1.00	-0.17	-0.97	0.46	-0.70	0.98	0.96	0.99	0.85	0.98	0.74	0.72	0.96	-0.94	0.91
Ca^{2+}			1.00	0.18	-0.22	0.03	-0.09	0.01	-0.22	0.16	-0.25	0.18	0.23	-0.23	0.17	-0.24
Mg^{2+}				1.00	-0.27	0.83	-0.99	-0.96	-0.99	-0.90	-0.98	-0.81	-0.76	-0.98	0.93	-0.94
Cl^-					1.00	0.31	0.28	0.36	0.38	0.12	0.33	0.21	0.23	0.34	-0.26	0.27
SO_4^{2-}						1.00	-0.82	-0.74	-0.76	-0.83	-0.79	-0.67	-0.61	-0.79	0.76	-0.80
HCO_3^-							1.00	0.98	0.99	0.93	0.98	0.80	0.78	0.97	-0.95	0.93
Li								1.00	0.96	0.95	0.93	0.84	0.87	0.92	-0.93	0.87
B									1.00	0.87	0.99	0.76	0.73	0.98	-0.94	0.93
SiO_2										1.00	0.84	0.91	0.93	0.86	-0.84	0.85
F											1.00	0.70	0.66	0.98	-0.94	0.94
Ba												1.00	0.94	0.78	-0.63	0.78
Sr													1.00	0.69	-0.70	0.66
EC														1.00	-0.87	0.99
pH															1.00	-0.80
T (°C)																1.00

(Parantez içindeki değerler, regresyon için veri sayısını göstermektedir)

Tablo 12.11'de verilen korelasyon katsayılarına bakıldığında, suların sıcaklığı (T) ile elektriksel iletkenlik (EC) arasında çok iyi bir doğrusal ilişki (r=0.99) ve doğru orantı (pozitif korelasyon) gözlenmektedir. Dolayısıyla suların sıcaklığı arttıkça elektriksel iletkenlik değerleri de artacaktır. Aynı şekilde suların sıcaklığı ve EC değeri ile SiO_2, Na, K, HCO_3, Li, F ve B iyonları arasında gözlenen doğrusal ilişki (r>0.85) bu iyonların sularda baskın olduğunu gösterebilir ve aynı zamanda bu iyonların, sıcaklıkla beraber çözünürlüklerinin de artacağı sonucu çıkarılabilir. Bundan dolayı sularda çözünen toplam madde miktarı ile EC arasında da doğrusal bir ilişki söz konusudur. Sıcaklık ile pH arasında ise, negatif korelasyon (r=-0.80) ve ters orantı gözlenmektedir. Suların pH'ı çoğunlukla CO_2–(CO_3+HCO_3) dengesinin etkisindedir. CO_2 gazının suda çözünme miktarı da basınç ve sıcaklığa bağlıdır [44,31]. Sıcaklıkla beraber CO_2 gazı suda fazla çözüneceğinden sular asidik (pH<7) özellik göstermektedir. Yani, sıcaklık arttıkça pH değeri düşmektedir sonucu çıkarılabilir. Genel olarak, jeotermal alanlarda Cl miktarı ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki vardır [63]. Ancak tabloya baktığımızda Cl ile sıcaklık arasında bir ilişki yoktur. Bu durum inceleme alanında, sıcak sularla soğuk suların karışması ve/veya yüzeysel kirlenmelerin olabileceğini göstermektedir. Na ve HCO_3 iyonu ise, hem birbirleri arasında hem de K, Li, B, F iyonları arasında çok iyi bir doğrusallık (r>0.90) sunmaktadır. Buradan da, sıcak suların aynı akifer ortamından gelen derin dolaşımlı sular olduğu sonucu çıkarılabilir. Na ve HCO_3 iyonları kendi aralarında çok iyi bir pozitif korelasyon (r=0.99) göstermelerinin yanında Ca ve Mg iyonlarıyla kötü bir doğrusallık ve negatif korelasyon (-1<r<0) göstermektedir. İnceleme alanı sularında Na iyonu artarken, Ca ve Mg iyonları azalmaktadır. Na iyonu, HCO_3 iyonuyla çok iyi bir doğrusal ilişki içindeyken; Ca ve Mg iyonları, HCO_3 iyonuyla kötü bir doğusal ilişki sunmaktadır. Buda inceleme alanında, sadece su-kayaç etkileşimi ve çözünme reaksiyonlarının yanında, doğal yumuşatma reaksiyonu olarak bilinen ve eksi (-) yüklü kolloidal yapıdaki killerin bir özelliği olan katyon değişimi olayını da gösterebilir [48,49,52].

Sonuç olarak, inceleme alanındaki suların hidrojeokimyasal süreçlerinin belirlenmesinde, su-kayaç etkileşimi ve çözünme reaksiyonlarının yanında, katyon değişimi, yüzeysel kirlenmeler ve sıcak sularla soğuk suların karışması gibi olaylar da etkili olabilmektedir.

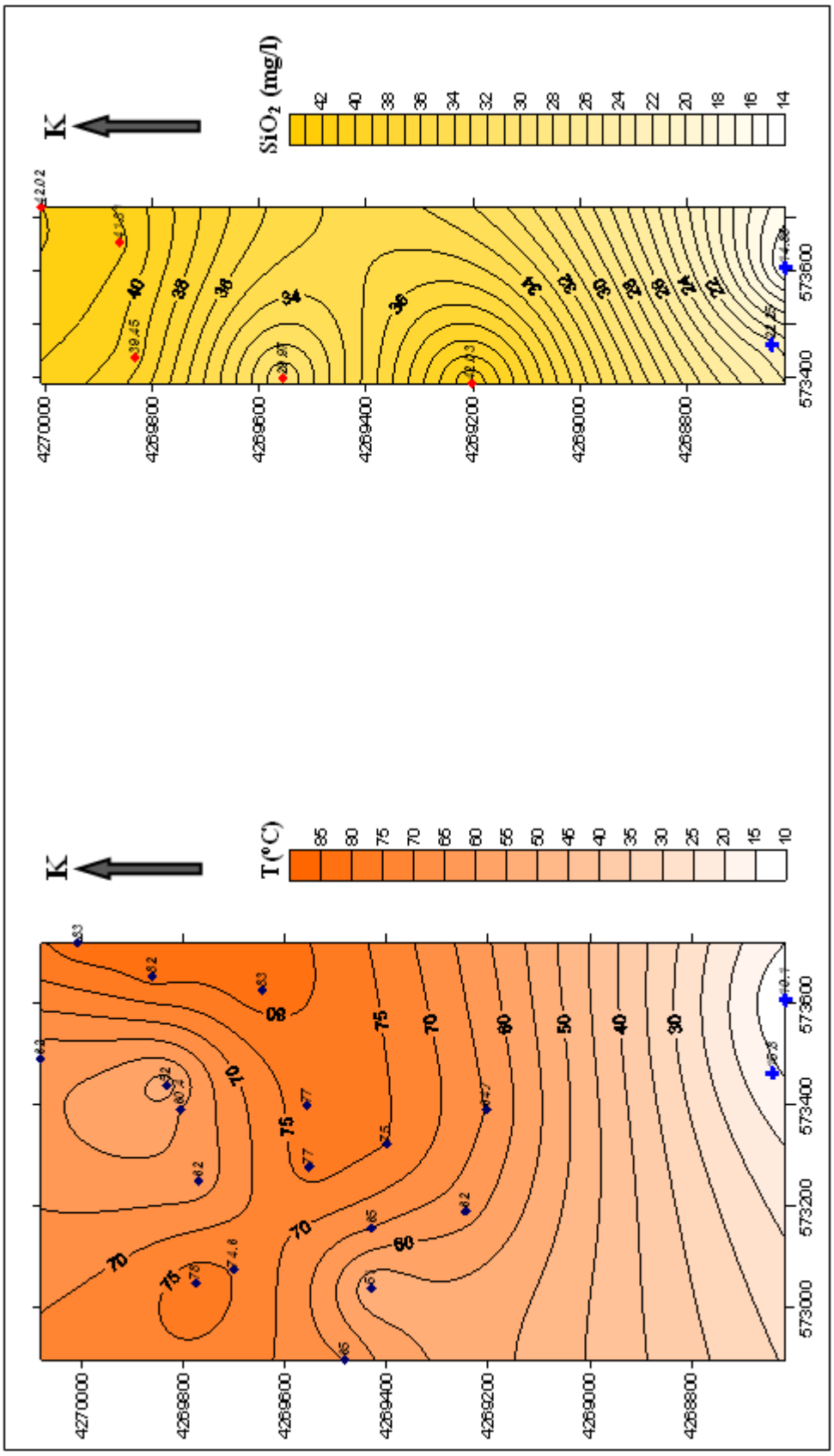
12.2.2. Sıcaklık-SiO_2 dağılımı

Sıcaklık ve SiO_2 eş dağılım haritasına baktığımızda, genel olarak suların sıcaklık ve SiO_2 değerlerinin kuzeyden güneye doğru azaldığı görülmektedir (Şekil 12.10). Çalışma alanının KD'sunda bulunan EU-8 nolu sıcaksu sondajı en yüksek sıcaklık ve SiO_2 değerine sahiptir. Silisyumun sıcaklıkla beraber çözünürlüğünün attığı göz önünde bulundurulursa, Urganlı jeotermal alanında beslenme yönünde (güneye doğru) suların sıcaklıları ve SiO_2 değerleri azalmaktadır. Ancak seraiçi soğuksu sondajında ve Gediz nehrinde kısmen yüksek olan silisyum değerleri sıcak sularla soğuk suların bir miktar karıştığının bir göstergesi olabilir. Genel olarak sıcak sulardaki düşük silisyum değerleri ise, sıcak suların nispeten hızlı dolaşımlı sular olduğunu gösterebilir.

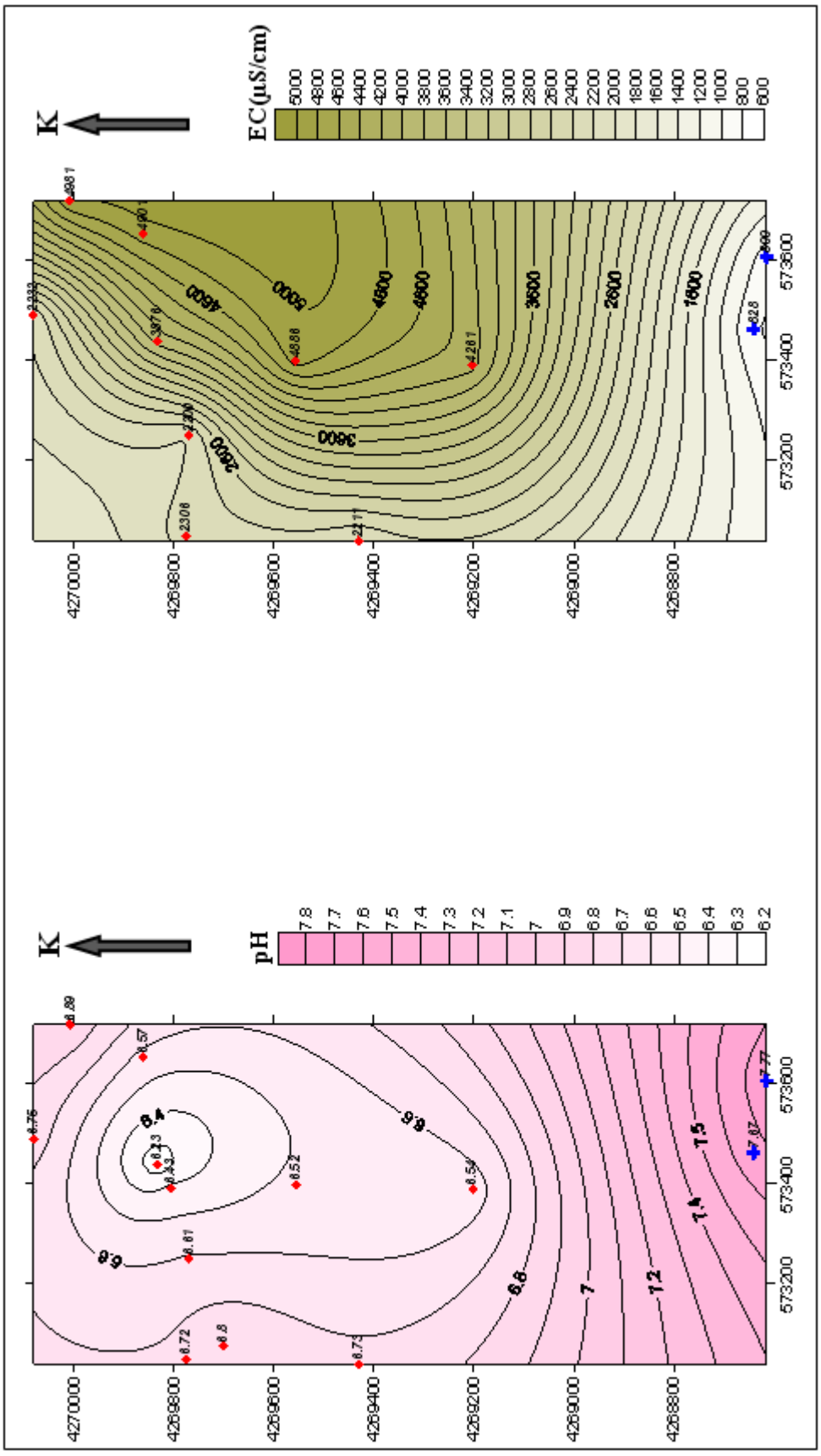
12.2.3. pH-Elektriksel iletkenlik dağılımı

Sıcak ve soğuk sulardaki eş EC ve pH dağılım haritası Şekil 12.11'de verilmiştir. Eş pH dağılım haritasında, pH değerleri kuzeyden güneye artmaktadır. Sıcaksu kaynakları asidik (pH<7), soğuksu kaynakları ise, bazik (pH>7) özelliktedir. Sıcaksu kaynaklarında basınç ve sıcaklık koşullarının değişmesiyle CO_2 gazının suda fazla çözünmesi pH değerini azaltmakta ve sıcak sulara asidik özellik kazandırmaktadır [44]. Ayrıca, sülfürlerin oksitleşmesiyle ortaya çıkan asitlerin yeraltı sularına karışması da pH değerini azaltmaktadır [38]. İnceleme alanında yapılan sondajlarda, Neojen birimlerde ve temel kayalarda bol pirit (FeS_2) oluşumlarına rastlanmıştır (EK A). Dolayısıyla, Urganlı jeotermal sisteminde de yoğun pirit varlığı, sülfürlerin oksitleşmesini arttırarak sıcak suların pH değerlerini düşürmüştür.

Sıcaksu sondajlarında EC değerleri, 4268-4981 µS/cm arasında, sıcaksu kaynaklarında ise 2200-3876 µS/cm, soğuksu noktalarında ise 800-900 µS/cm arasındadır. EC değerleri, sıcaklığa bağlı olarak yine kuzeyden güneye doğru azalmaktadır (Şekil 12.11). Sıcaksu sondajlarındaki yüksek EC değerlerine karşın sıcaksu kaynaklarındaki kısmen düşük EC değerleri, soğuk sularla olan karışımın bir sonucu olabilir.



Şekil 12.10: Suların eş sıcaklık ve SiO_2 dağılım haritaları



Şekil 12.11: Suların eş pH ve EC dağılım haritaları

12.2.4. Sodyum-Bikarbonat dağılımı

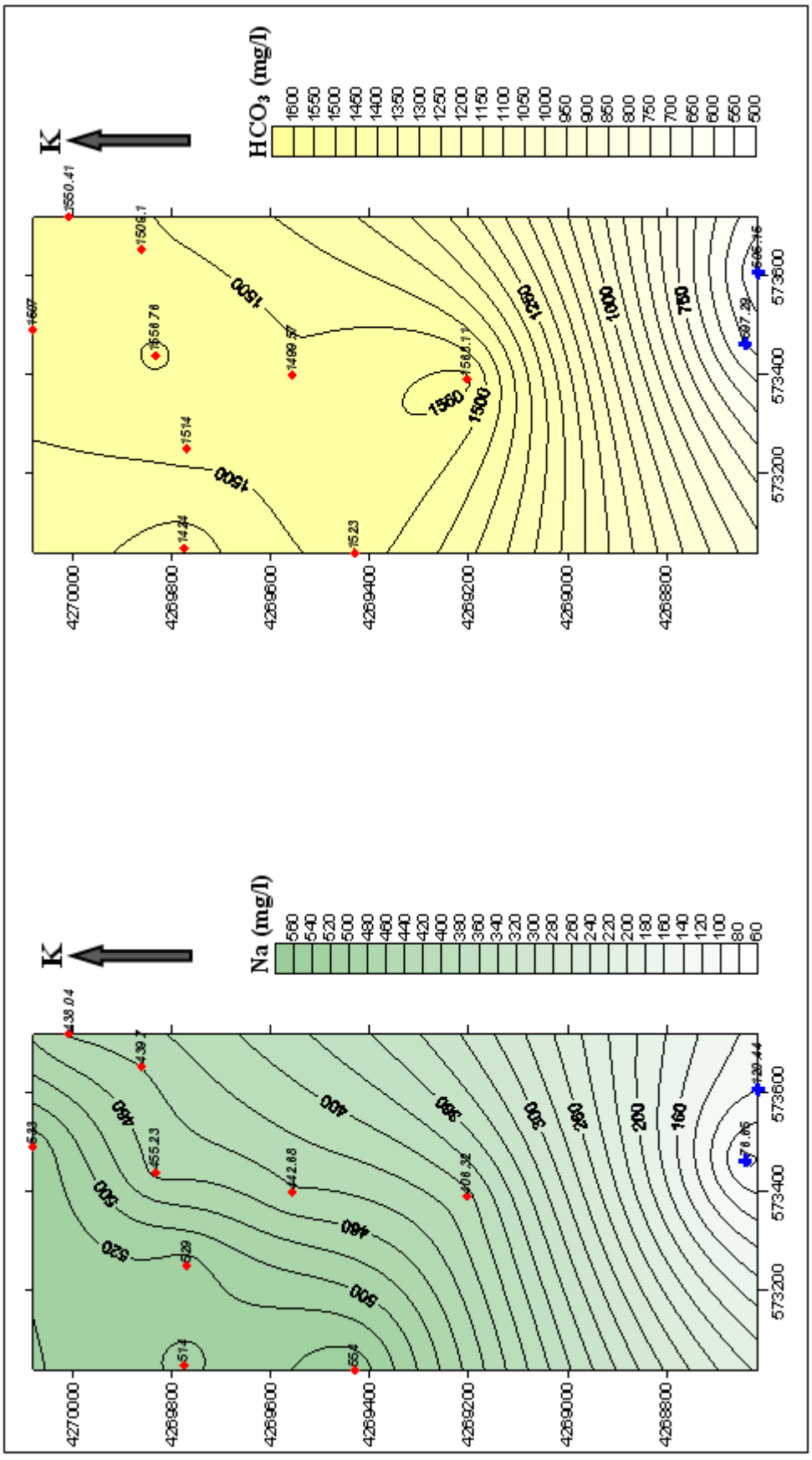
İnceleme alanındaki sıcak sularda baskın olarak bulunan Na iyonunun eş dağılım haritasına bakıldığında, K-KD'da bulunan sıcaksu sondajlarının Na değerleri, K-KB'da bulunan sıcaksu kaynaklarının Na değerlerine göre azdır (Şekil 12.12). Suların kimyasal analiz sonuçlarına göre, sıcak sulardaki Na fazlalığının aksine, Ca ve Mg iyonlarının azlığı dikkat çekmektedir. Bu durum, birçok araştırmacı tarafından da ifade edilen katyon takası ile açıklanabilir. Tarcan (1995) Turgutlu yöresinde sıcaksu kaynaklarına göre yaptığı çalışmalarında Na artışını, şistlerin ve/veya Neojen yaşlı tortulların killerindeki Na iyonunun, karbonatların çözünürlüğü ile suda artan Ca (ve/veya Mg) iyonuyla yer değiştirmesi olarak açıklamıştır [48,49,52]. Ancak inceleme alanında, sıcaksu kuyularında Neojen yaşlı birimler, temel kayalara kadar kapalı boru ile kapatıldığı için Na fazlalılığı iyon takasından ziyade su-kayaç etkileşimi ile de olmaktadır. Sıcaksu kuyularından yapılan örneklemelerde Na değerlerinin yüksek olması, suyun kayaçtan iyon çözme eğiliminin kuvvetli olduğunu göstermektedir [38]. Yani, sodyum fazlalığının katyon takasının yanı sıra, derin kökenli olabileceği ve sodyumlu silikat minerallerinin (sodyumlu plajioklasların) ayrışması ile artabileceği düşünülebilir [8]. Şekil incelendiğinde K-KB kesimde kalan sıcaksu kaynaklarında, K-KD kesiminde kalan sıcaksu sondajlarına nazaran Na içeriklerinin fazlalığı, Neojen yaşlı birimlerin killi düzeylerinde meydana gelen katyon takasının katkısı olarak açıklanabilir. Bu nedenledir ki kaynaklarda beslenme bölgesinden boşalım bölgesine doğru Na artışı gözlenmektedir (Şekil 12.12).

HCO_3 ise, karbonatlı kayaların CO_2'li sularla etkileşimi sonucu çözünerek yeraltı suyuna geçmektedir. HCO_3'lı sular genellikle SO_4 bakımından fakir, CO_2 bakımından zengin sulardır [8]. HCO_3 değerleri de, pH ve kısmi CO_2 gaz basıncının kontrolünde değişmektedir. Sıcak sularda CO_2 gaz basıncının etkisi, soğuk sulara nazaran fazladır [63]. Dolayısıyla, güneye doğru akış yönünde suların sıcaklıkları ve CO_2 gaz basıncının etkisi azalmaktadır. Buna bağlı olarak ta HCO_3 değerleri düşmektedir denilebilir (Şekil 12.12). Ancak sıcaksu kaynaklarındaki ve EU-1 nolu sondajda gözlenen kısmen yüksek HCO_3 değerleri bu suların karışım suyu olduğunu gösterebilir.

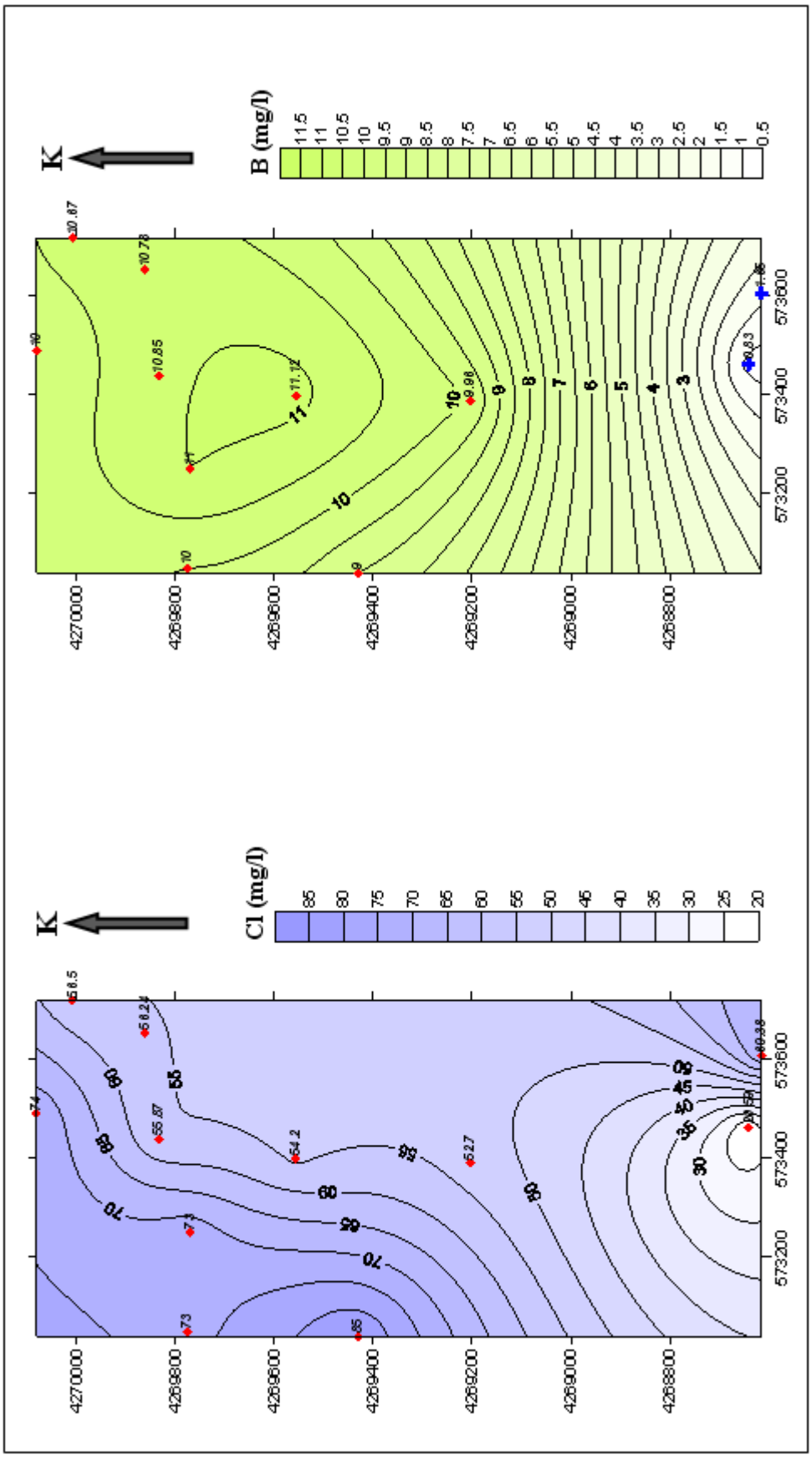
12.2.5. Klor-Bor dağılımı

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların klor ve bor dağılım haritaları Şekil 12.13'te verilmiştir. Genellikle suların sıcaklıkları ile klor ve bor miktarları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Klor miktarları, sıcak ve soğuk sularda çok fazla değişiklik göstermemekle beraber soğuksu kaynaklarındaki klor fazlalığı, sıcak sularla olan karışımdan meydana gelebilir. Harita incelendiğinde, güneyde Gediz nehrine doğru klor değerlerinde bir azalma gözlenirken, Gediz nehri ve seraiçi soğuksu sondajının bulunduğu alanda tekrar bir artış söz konusudur. Bu da, Gediz nehrinin, yüzeysel atıklarla ve sıcaksu deşarjlarıyla kirlendiğini, soğuksu sondajlarının da bu kirlenmeden etkilendiğini gösterebilir. Metamorfik kayalardan gelen yeraltı sularının 0.4-106 mg/l arasında klor içerdiği düşünülürse [44], sıcak suların klor içeriği derin kökenli olmalıdır. Sıcaksu sondajlarına nazaran sıcaksu kaynaklarındaki kısmen yüksek klor içeriği soğuk sularla olan karışımın bir sonucu olabilir.

Bor ise, sıcaklıkla çözünürlüğün artmasından dolayı sıcaksu kaynaklarında çok fazla değerler sunmaktadır. Şahinci (1991a) birçok sıcaksu kaynağındaki yüksek orandaki borun, çoğunlukla suyun geçtiği ana kayadan geldiğini vurgulamıştır [44]. Bu nedenle bor, jeotermal alanlar için iyi bir ipucu olabilmektedir [63]. İnceleme alanında bor değerleri, sıcaksu kaynaklarının bulunduğu kuzey noktasından güneye doğru azalmaktadır (Şekil 12.13). Sıcak sularda bor gelişi mika içerikli kayalardan ve kireçtaşlarından olabileceği gibi, jeotermal ısıyı sağlayan magmatik sokulumlardan faylar yoluyla da olmaktadır [44,63,21]. Dolayısıyla bor da klor gibi derin kökenli olmalıdır. Ayrıca Neojen yaşlı birimler içersinde organik maddelerin bozunumu ile de bor ortaya çıkmaktadır [38,44].



Şekil 12.12: Suların eş Na ve HCO_3 dağılım haritaları



Şekil 12.13: Suların eş Cl ve B dağılım haritaları

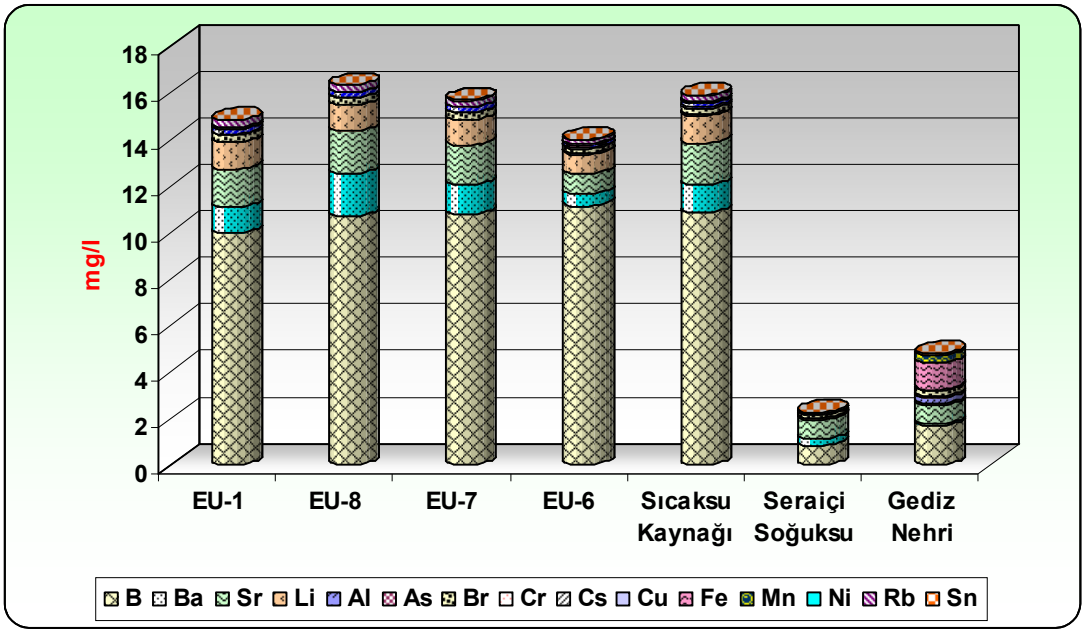
12.3. Suların İz Element Analizlerinin Grafiklerle Gösterimi

Genellikle Al, As, B, Ba, Cs, Li, Mn, Sr gibi elementler, sıcak sularda normal yeraltı sularına göre daha fazla miktarlarda bulunabilirler [38]. Bu elementlerden bazıları doğal olarak bazıları da beşeri faaliyetler sonucu yeraltı sularına geçmekte ve içme, kullanma suyu olarak belirlenen sınır değerler üzerine çıkabilmektedir. Sularda bulunan iz element konsantrasyonları düşük değerler gösterse de su kalitesi ve insan sağlığı açısından önemli olabilmektedir.

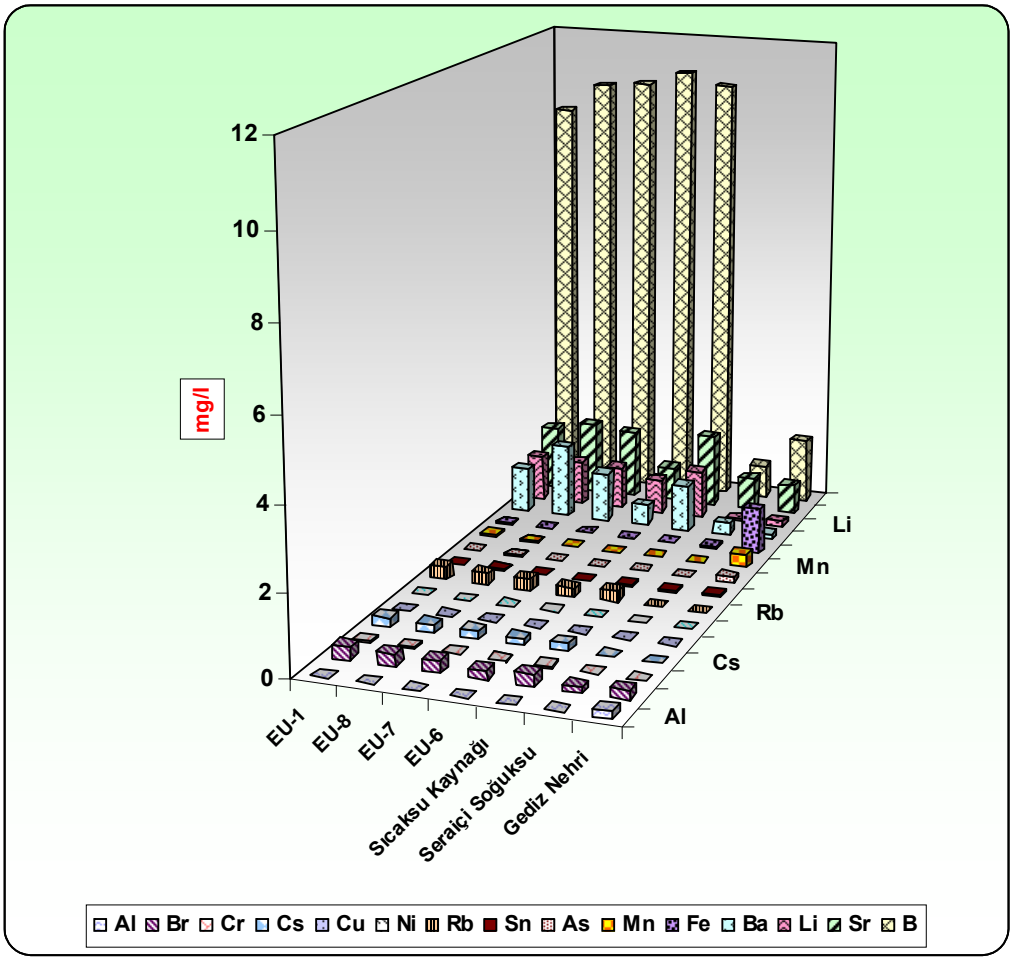
Bu anlamda, inceleme alanı suları için iz element analiz sonuçları Tablo 12.12'de verilmiştir. Değerlendirmeleri de hazırlanan grafikler yardımıyla yapılmıştır (Şekil 12.14,12.15).

Tablo 12.12: Urganlı bölgesi sularının iz metal analiz sonuçları (mg/l)

Örnek Adı	**EU-1 Sondajı**	**EU-8 Sondajı**	**EU-7 Sondajı**	**EU-6 Sondajı**	**Sıcaksu Kaynağı**	**Seraiçi Soğuksu**	**Gediz Nehri**
Örnek No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Al	0.05	0.009	0.006	0.003	0.003	0.003	0.197
As	0.0008	0.007	0.0056	0.0005	0.004	0.008	0.12
B	9.97	10.68	10.79	11.12	10.85	0.83	1.65
Ba	1.13	1.84	1.25	0.532	1.17	0.301	0.121
Br	0.323	0.301	0.295	0.218	0.286	0.135	0.229
Cd	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Cr	0.042	0.038	0.033	0.029	0.044	0.014	0.012
Cs	0.208	0.191	0.195	0.144	0.185	0.0069	0.0042
Cu	0.0006	0.0012	0.0008	0.0005	0.0009	0.0007	0.0054
Fe	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.029	0.031	1.144
Hg	0.0001	0.0004	0.0004	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Li	1.15	1.11	1.07	0.856	1.2	0.07	0.136
Mn	0.055	0.023	0.016	0.00016	0.02	0.0016	0.355
Ni	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0015	0.0042
Pb	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0012
Rb	0.321	0.29	0.28	0.21	0.27	0.027	0.017
Sb	0.00074	0.0036	0.0026	0.0002	0.0023	0.00034	0.0127
Se	0.002	0.0019	0.0017	0.0014	0.0021	0.0023	0.0021
Sn	0.015	0.02	0.02	0.011	0.033	0.025	0.057
Sr	1.62	1.83	1.72	0.86	1.82	0.82	0.75
Zn	<0.0005	0.0026	0.0028	<0.0005	<0.0005	0.004	0.0197



Şekil 12.14: Suların iz metal derişimlerinin sütun diyagram ile gösterimi



Şekil 12.15: Suların iz metal derişimlerinin sütun dağılım diyagramı

Grafiklerden de görüleceği gibi bor konsantrasyonu, sıcaksu kaynak ve sondajlarında en yüksek değerindedir. Gediz nehrinde kısmen yüksek değer gösteren borun en düşük değeri soğuksu sondajındadır.

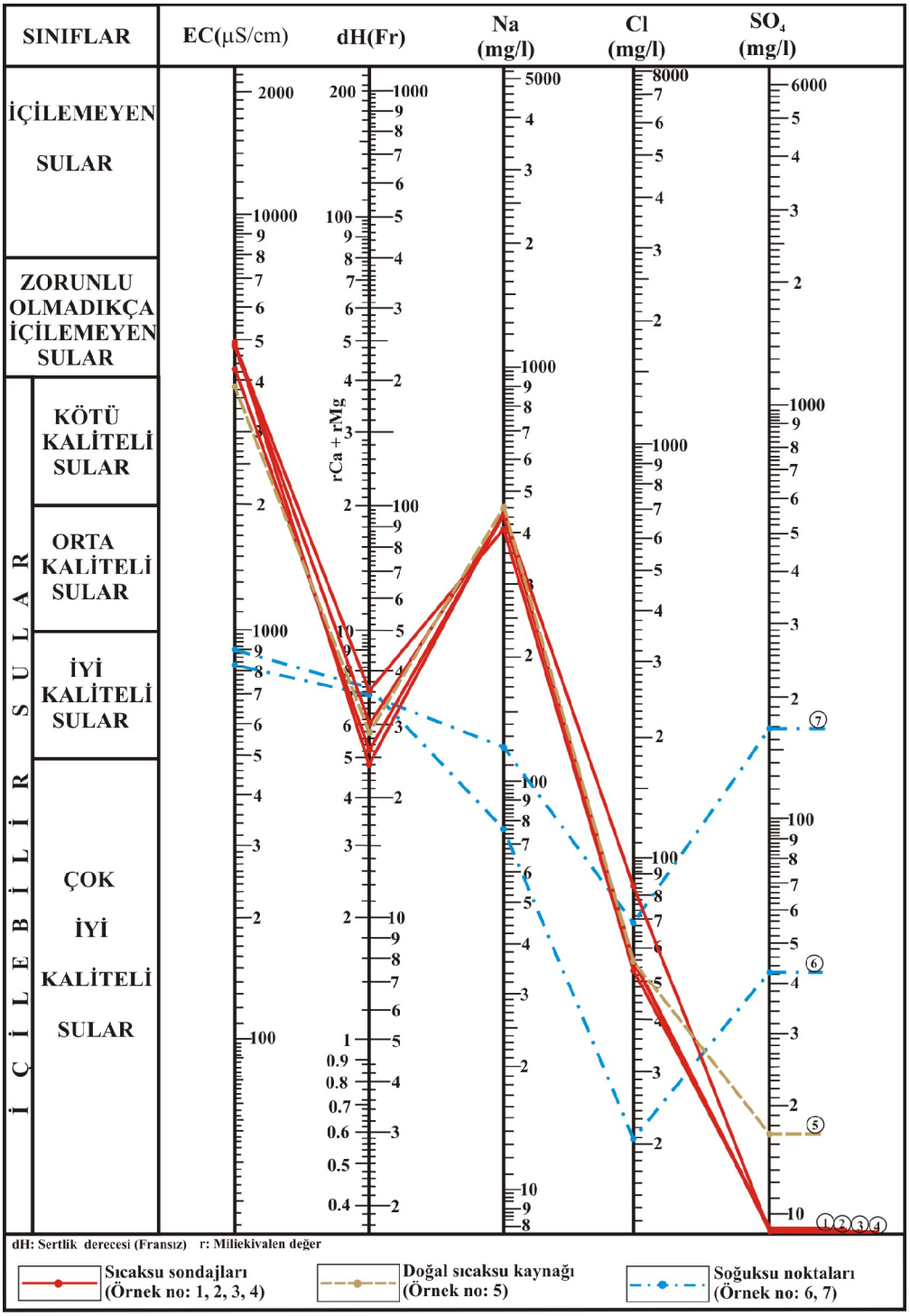
Stronsiyum elementi ise, tüm sularda 0.75-1.62 mg/l arasında yaklaşık değerler göstermekte iken, sıcak sularda nispeten fazla değerlerdedir (Tablo 12.12). Li ve Ba sıcak sularda yüksek değerlerde iken, soğuksu noktalarının lityum ve baryum içerikleri azdır. Demir elementinin en yüksek değeri Gediz nehrindedir. Bu da, Gediz nehrinin endüstriyel atıklarla kirlenme etkisinde olduğunu gösterebilir. Sıcaksu sondajlarında ise, 0.01 mg/l'den küçük olan demir elementi sıcaksu kaynağında ve soğuksu sondajında 0.03 mg/l civarındadır. Brom elementi ise, tüm su kaynaklarında düşük ve benzer derişimler sunmaktadır. Grafiklerden de görüleceği gibi, bütün diğer elementlerin konsantrasyonları, inceleme alanı sıcak ve soğuksuları için düşük değerler sergilemektedir (Şekil 12.14,12.15). Li, B, Sr, Ba gibi elementlerinin sıcaklıkla beraber çözünürlüklerinin arttığı bilinmektedir ve bu durum grafiklerden de izlenebilmektedir. Bu elementlerin kısmen soğuksu noktalarında da diğer elementlere nazaran fazla değerler göstermesi sıcak sularla soğuk suların bir miktar karıştığının göstergesi olabilir.

12.4. Suların İçilebilme Özellikleri

Temiz ve sağlıklı bir içme suyu için her ülkenin kendine özgü standartları vardır. Ülkemizde de Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Sağlık Bakanlığı içme suları ile ilgili parametrelerin sınır değerlerini belirleyen ve yönetmelikleri hazırlayan kurumlardır. Suların kimyasal analiz sonuçlarına göre içme ve kullanma diyagramları hazırlanarak iyonların sınır değerleri standartlarına göre araştırılmaktadır.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların kimyasal analiz sonuçları ve diyagramlarda kullanılmak üzere hesaplanan değerleri Tablo 12.1,12.2,12.3,12.4, 12.5,12.6,12.7'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 12.14 ve 12.15'te suların fiziksel, kimyasal özelliklerine göre içme ve kaplıca sularında kabul edilebilir sınır değerleri verilmiş olup [41,56], suların bu sınır değerlere göre kıyaslamaları yapılmıştır.

Urganlı yöresine ait sular için hazırlanan Schoeller içilebilme diyagramı Şekil 12.16'da verilmiştir. Diyagramda suların, 25°C'de EC, toplam Fransız sertlik derecesi (Fr), mg/l olarak Na^+, Cl^-, SO_4^{2-} iyon değerleri kullanılmıştır. Diyagramda kıyaslama açısından soğuksu kaynaklarıyla beraber sıcaksu kaynakları da gösterilmiştir (Şekil 12.16).



Şekil 12.16: Urganlı suları için hazırlanan Schoeller içilebilme diyagramı

Diyagrama bakıldığında, inceleme alanındaki bütün sular, içilebilir sular sınıfına girmektedir. Ancak sular, diyagramın oluşturulmasında kullanılan parametrelere göre değişik özellikler sunmaktadır. Örneğin, sertliklerine göre tüm sular iyi kaliteli sular sınıfındadır. EC değerlerine bakıldığında ise, sıcak sular (1,2,3,4,5 nolu örnek) zorunlu olmadıkça içilmeyen sular sınıfında iken, seraiçi soğuksu sondajı (6 nolu örnek) ve Gediz nehri (7 nolu örnek) iyi kaliteli sular özelliği göstermektedir (Şekil 12.16).

Suların içme kalitesini etkileyen özelliklerden olan sertlik, Ca ve Mg'un meydana getirdiği bikarbonat, sülfat, klorür ve nitrat bileşiklerinden ileri gelmektedir. Ca, Mg bikarbonatlardan meydana gelen ve suların kaynatılmasıyla giderilen sertliğe geçici sertlik (karbonat sertliği) denir. Kaynatma dışında, suya amonyak ya da sönmüş kireç katıldığında geçici sertlik karbonat tuzları şeklinde çökelir. Ca ve Mg'un, karbonatlardan başka tuzlarından ileri gelen ve suların kaynatılmasıyla giderilemeyen sertliğe ise kalıcı sertlik (karbonat olmayan sertlik) denmektedir. Suların kaynatılmasıyla giderilemediği için kalıcı sertliği azaltmak için sulara Na_2CO_3 gibi kimyasallar ilave edilir. Toplam sertlik ise, kalıcı sertlik ile geçici sertliğin toplamıdır [44].

Suların toplam sertlikleri, Fransız, Alman, İngiliz gibi sertlik dereceleriyle ifade edilmektedir. En yaygın olarak kullanılan sertlik derecesi Fransız sertlik derecesidir. Toplam Fransız sertliği, meq/l olarak suların içerdiği Ca ve Mg iyonlarının toplamının beş katıdır [7]. Urganlı yöresi sularının sertlik derecelerine göre sınıflandırılması Tablo 12.13'te görülmektedir. Tablodan anlaşılacağı gibi inceleme alanı sıcak ve soğuk suları sert ve çok sert sular sınıfına girmektedir.

Tablo 12.13: Urganlı yöresi sularının sertlik derecelerine göre sınıflandırılması [44]

Sertlik derecesi (Fr)	**Suyun sınıfı**	**Urganlı suları**
0-10	Memba suyu	-
11-22	Tatlı su	-
23-32	Sert su	2,3,4,5 nolu örnekler
33-54	Çok sert su	1,6,7 nolu örnekler
>55	Çok fazla sert su	-

İnceleme alanındaki suların, içme suyu standartlarına göre değerlendirilmesi için Tablo 12.14'te insani tüketim amaçlı sular hakkında yayımlanan yönetmelikte belirtilen parametrelerin sınır değerleri verilmiştir [56]. Tabloya bakıldığında içme sularında yönetmelik sınır değeri 0.3 mg/l olan bor, seraiçi soğuksu sondajında 0.83 mg/l'dir. Seraiçi soğuksu sondajı, bor elementi hariç yönetmelikte verilen diğer parametrelerin sınır değerlerine uygundur. Gediz nehrinde, nitrit, bor, arsenik, demir, antimon değerleri yönetmelikte verilen sınır değerleri aşmaktadır. Sıcak sular ise, sodyum, potasyum, bor, flor içeriklerinin fazla olması nedeniyle yönetmelik değerlerine uygun değildir (Tablo 12.1,12.2,12.3,12.4,12.5,12.6,12.7,12.12,12.14).

Tablo 12.14: İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik [56]

a) Fiziksel Özellikler	
Renk Pt / Co olarak	10 birim
Bulanıklık SiO_2 veya Jackson birimi	5 birim
b) Kimyasal Özellikler	
Klorür (Cl^-)	250 mg/l
Sülfat (SO_4^{2-})	250 mg/l
Kalsiyum (Ca^{2+})	100 mg/l
Magnezyum (Mg^{2+})	50 mg/l
Sodyum (Na^+)	175 mg/l
Potasyum (K^+)	12 mg/l
Alüminyum (Al)	0.2 mg/l
pH	5.5 – 8.5
c) İstenmeyen Maddeler	
Nitrat (NO_3^-)	45 mg/l
Demir (Fe)	0.3 mg/l
Mangan (Mn)	0.05 mg/l
Bakır (Cu)	1.5 mg/l
Çinko (Zn)	5.0 mg/l
Florür (F^-)	1.5 mg/l
Organik Maddeler İçin Sarf edilen Oksijen Miktarı	3.5 mg/l
Amonyak (NH_3)	0.05 mg/l
Bor (B)	0.3 mg/l
Nitrit (NO_2^-)	0.05 mg/l
d) Zehirli Maddeler	
Arsenik (As)	0.01 mg/l
Kadmiyum (Cd)	0.003 mg/l
Siyanid	0.01 mg/l
Krom (Cr)	0.05 mg/l
Civa (Hg)	0.001 mg/l
Nikel (Ni)	0.02 mg/l
Kurşun (Pb)	0.01 mg/l
Antimon (Sb)	0.005 mg/l
Selenyum (Se)	0.01 mg/l

Tablo 12.15: Kaplıcalar yönetmeliğinde belirtilen parametrelerin sınır değerleri [41]

a) Fiziksel Özellikler	
Koku	(-)
Tat	(-)
Renk	(-)
Bulanıklık	(-)
b) Fizikokimyasal Özellikler	
pH	(-)
Elekriksel İletkenliği (µS/cm 25 ^{O}C)	(-)
Karbondioksit (CO_2)	(-)
c) Kimyasal Özellikler	
KATYONLAR	
Sodyum (Na^+)	(-)
Potasyum (K^+)	(-)
Amonyum (NH_4^+)	0.50 mg/l
Magnezyum (Mg^{2+})	(-)
Kalsiyum (Ca^{2+})	(-)
Mangan (Mn)	(-)
Demir (Fe)	(-)
ANYONLAR	
Florür (F^-)	(-) (*)
Klorür (Cl^-)	(-)
Bromür (Br)	(-)
İyodür (I)	(-)
Nitrit (NO_2^-)	0.05 mg/l
Nitrat (NO_3^-)	45 mg/l
Sülfat (SO_4^{2-})	(-)
Hidrojenfosfat (H_2PO_4)	(-)
Bikarbonat (HCO_3^-)	(-)
Hidrojensülfür/Sülfür (H_2S)	(-)
Fosfat (PO_4)	(-)
d) Çözünmeyen Maddeler	
Silikat Asidi	(-)
Borik asit	(-)
e) Eser Elementler	
Arsenik (As)	(-)
Kadmiyum (Cd)	0.003 mg/l (**)
Krom (Cr)	0.05 mg/l (**)
Civa (Hg)	0.05 mg/l (**)
Nikel (Ni)	0.02 mg/l (**)
Kurşun (Pb)	0.01 mg/l (**)
Antimon (Sb)	0.005 mg/l (**)
Selenyum (Se)	(-)
Baryum (Ba)	(-)
Bakır (Cu)	(-)
Çinko (Zn)	(-)
Kobalt (Co)	(-)
Molibden (Mo)	(-)
Kalay (Sn)	(-)
Alüminyum	(-)

(*)	Florür konsantrasyonu 1 mg/l'nin üzerinde olması halinde kullanıcılar tarafından görülecek yerlerde Suyun florür içerdiği ilan edilmeli, 2 mg/L üzerinde olması halinde 0 –7 yaş grubu çocuklar için içilerek kullanılmasının uygun olmadığı ilan edilmelidir.
(**)	Belirtilen değerlerin aşılması halinde bu suların içme ve inhalasyon kürlerinde kullanılması engellenmelidir.
(-)	Yönetmelik değeri bulunmamaktadır.

1,2,3,4,5 örnek numaralı sıcak sular, Tablo 12.15'te verilen kaplıcalar yönetmeliği [41] sınır değerlerine göre irdelendiğinde, flor (F) ve amonyum (NH_4) değerlerinin sınır değerler üstünde olduğu görülmektedir. Sıcak suların F içeriği 3.68-4.55 mg/l arasında, NH_4 içeriği ise 6.12-11.02 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 12.1,12.2, 12.3,12.4,12.5,12.6,12.7). Bu durumda, Urganlı kaplıcalarında kullanılan sıcak suların F içeriği kullanıcılar tarafından görülecek şekilde ilan edilmeli ve 0-7 yaş grubu çocuklar için içilerek kullanılmasının uygun olmayacağı belirtilmelidir. Yine NH_4 içeriği yüksek olan bu suların, içme ve inhalasyon kürlerinde kullanılması engellenmelidir (Tablo 12.15).

İnceleme alanı sularındaki NH_4 fazlalığı dikkat çekmektedir. Urganlı ve civarındaki yerleşim yerlerinde kanalizasyon sistemi olmadığı için evsel atıkların dışarıya atılması, Gediz nehrinin endüstriyel atıklardan aşırı kirlenmesi ve bu suyun tarımda kullanılması, yoğun tarımsal faaliyetler sonucu suni gübrelerin kullanılması gibi faktörler hem toprak kirlenmesine hem de yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla sulardaki NH_4 fazlalığı yapay kirlenmenin bir göstergesidir.

12.5. Suların Tarımda Kullanılma Özellikleri

Tarımda kullanılacak olan sulama sularının kimyasal kompozisyonları toprak ve bitki veriminde oldukça önemli olmaktadır. Sularda fazla miktarda çözünmüş iyonlar, toprağı ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyerek verimi düşürebilir. Bu açıdan suların kimyasal analiz sonuçlarına göre sulamaya uygunluğu hazırlanan diyagramlar yardımı ile belirlenebilmektedir. Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan en yaygın diyagramlar, ABD tuzluluk ve Wilcox diyagramlarıdır. Bu bölümde, Urganlı jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak sular için hazırlanan ABD tuzluluk ve Wilcox diyagramından bahsedilecektir. Ayrıca, sulardaki klor ve bor konsantrasyonları sulama suyu açısından irdelenecektir. Diyagramların yorumlanmasında kullanılan ve hesaplanan parametreler Tablo 12.1,12.2,12.3,12.4,12.5,12.6,12.7'de verilmiştir.

12.5.1. Sodyum tehlikesi (SAR) ve ABD tuzluluk diyagramı

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde sodyum konsantrasyonu oldukça önemlidir. Sulardaki aşırı sodyum konsantrasyonu, toprağın sulanmasından sonra üst seviyelerde toplanarak bir tabaka oluşturabilir ve bitkilerin hava almasını engelleyerek olumsuz etkiler yaratabilir [44]. Sodyum adsorbsiyon oranı, iyonların meq/l değerleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}} \tag{12.2}$$

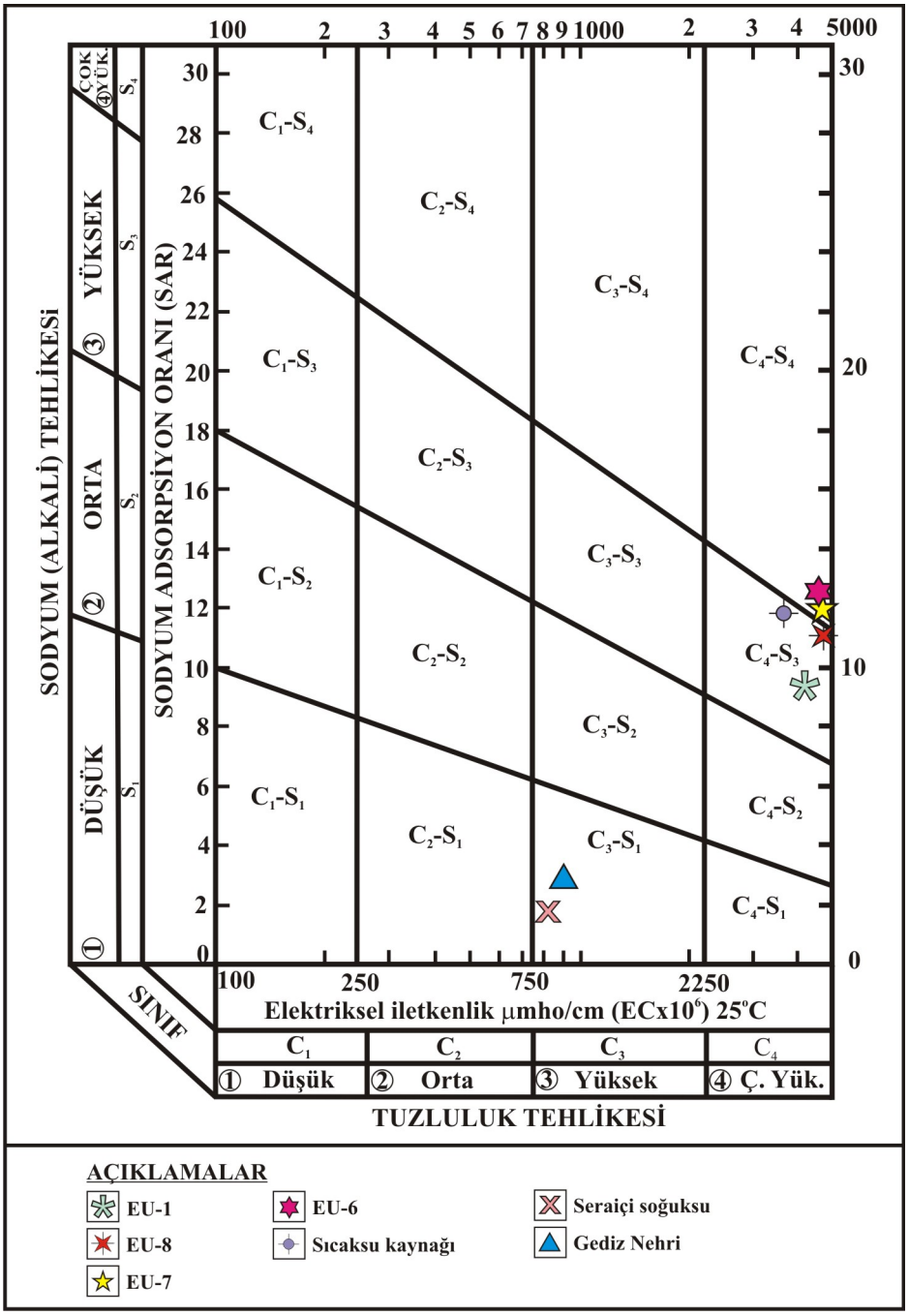
İnceleme alanı sularının SAR değerlerine göre sınıflaması Tablo 12.16'da, ABD tuzluluk diyagramı Şekil 12.17'de verilmiştir. Tablo 12.16'da verilen sınıflamaya göre inceleme alanı suları çok iyi ve iyi özellikte sulama suyu özelliği göstermektedir.

Tablo 12.16: Urganlı yöresi sularının SAR değerlerine göre sınıflandırılması

Sınıflandırma	**SAR değeri**	**İnceleme alanı suları**
Çok iyi özellikte sulama suları	< 10	1,6,7 nolu örnekler
İyi özellikteki sulama suları	10-18	2,3,4,5 nolu örnekler
Orta özellikte sulama suları	18-26	-
Fena özellikte sulama suları	> 26	-

Suların elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranına göre hazırlanan ABD tuzluluk diyagramı 16 bölgeden oluşmaktadır (Şekil 12.17, Tablo 12.17). ABD tuzluluk diyagramında düşey eksen sodyum adsorbsiyon oranını (SAR), yatay eksen 25^{o}C'deki elektriksel iletkenlik (EC) değerini göstermektedir (Şekil 12.17). Diyagramda "C" simgesi tuzluluğu, "S" simgesi sodyum içeriğini ifade etmektedir [7,63]. Şekil incelendiğinde EU-1,8 nolu sıcaksu sondajları ve 5 nolu sıcaksu kaynağı "C_4-S_3" bölgesinde olup, çok fazla tuzlu ve fazla sodyumlu su sınıfına girdiğinden bazı bitkiler dışında sulama suyu olarak kullanılmamalıdır. EU-7 ve EU-6 nolu sıcaksu sondajları "C_4-S_4" bölgesine düştüğünden sulama suyu olarak kullanılması uygun değildir. 6 nolu seraiçi soğuksu sondajı ile 7 nolu Gediz nehri suyu "C_3-S_1" bölgesine düşmektedir.

Dolayısıyla, 6 ve 7 nolu sular fazla tuzlu ve az sodyumlu su özelliğindedir. Sodyum içeriği bakımından her türlü tarıma uygun olan 6 ve 7 nolu soğuksu kaynakları, tuzluluk açısından drenajı yapılmadan sulama suyu olarak kullanılmamalıdır (Şekil 12.17, Tablo 12.17).



Şekil 12.17: İnceleme alanı sularının ABD tuzluluk diyagramında gösterimi

Tablo 12.17: Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması [7]

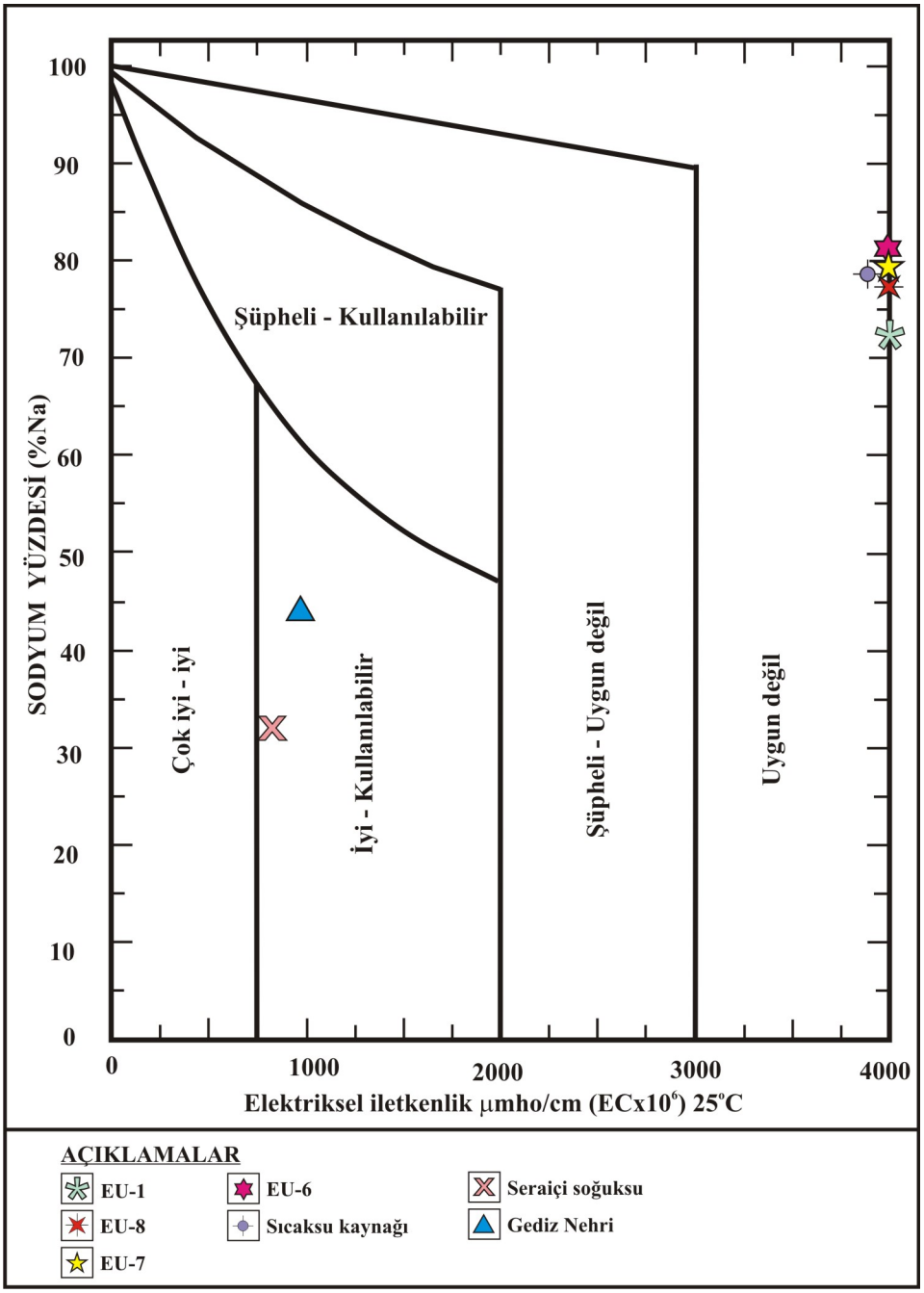
Tuzluluğa Göre Alt Sınıflar	**C_1**	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.
	C_2	Orta tuzlulukta su. Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılır
	C_3	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmadan bitkiler için kullanılmaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
	C_4	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenajı yapılırsa bazı bitkiler için kullanılabilir.
Sodyum Miktarlarına Göre Alt Sınıflar	**S_1**	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.
	S_2	Orta derecede sodyumlu su. Permabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
	S_3	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
	S_4	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılamaz.

12.5.2. Wilcox diyagramı

Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan diğer bir yöntemde Wilcox diyagramıdır. Suların elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum yüzde (%Na) değerleri bu diyagrama taşınarak sulama suları doğrudan yorumlanabilmektedir. Diyagramda yatay eksen suların elektriksel iletkenlik değerlerini, düşey eksen de sodyum yüzdelerini göstermektedir. Suların sodyum yüzdeleri, iyonların meq/l değerleri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [7].

$$\%\mathrm{rNa} = \frac{(\mathrm{rNa} + \mathrm{rK})\mathrm{x}100}{\mathrm{rCa} + \mathrm{rMg} + \mathrm{rK}} \tag{12.3}$$

İnceleme alanı suları için hazırlanan Wilcox diyagramı Şekil 12.17'de görülmektedir. Diyagrama baktığımızda EU-1,8,7,6 nolu sıcaksu sondajları ve sıcaksu kaynağı, sulama suyu olarak "uygun değil" sınıfına girmektedir. Seraiçi soğuksu sondajı ve Gediz nehri suyu sulama için "iyi-kullanılabilir sular" özelliği göstermektedir (Şekil 12.18).



Şekil 12.18: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramında gösterimi

12.5.3. Klor ve bor tehlikesi

Sulama sularında yüksek derişimdeki klor ve bor iyonları bitkilerin gelişimlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkiler tarafından kolayca soğrulan klor iyonu bitki dokularında ve yapraklarda birikerek yaprak yanmasına neden olmaktadır. Sularda fazla miktarda bulunan bor iyonu ise zehirleyici etki yapmaktadır [44]. Ancak bitkilerin klor ve bora karşı duyarlılıkları farklı olmaktadır.

Sulama sularındaki klor derişimlerinin bazı bitkilerde kabul edilebilir değerleri Şahinci (1991a) tarafından; narenciyede 10-25 meq/l, sert çekirdekli meyvelerde 7-25 meq/l, çilek türü meyvelerde 5-8 meq/l olarak belirtilmiştir [44]. Buna göre, inceleme alanı sıcak ve soğuk sularının klor derişimleri 0.58-1.95 meq/l arasında düşük değerler göstermekte olup sulama suyu için uygundur. Ayrıca Urganlı bölgesi suları, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 2004 yılında yayımlamış olduğu su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre klor derişimi bakımından "II. Kalite" su sınıfına girmektedir [14].

Bor iyonu için yine Şahinci (1991a) tarafından birçok bitki için yapılan sınıflamada, genel olarak 3.75 mg/l'den fazla bor içeren sular sulama suyu için uygun görülmemektedir [44]. İnceleme alanı sıcak sularının bor içeriği 9-12 mg/l arasında yüksek değerler göstermektedir. Dolayısıyla sıcak sular tarım için uygun olmayıp kirletici ve zehirleyici özelliktedir. Seraiçi soğuksu sondajı 0.83 mg/l, Gediz nehri suyu 1.65 mg/l bor içeriğine sahiptir. Bor içeriği açısından bu sular sulama suyu için uygundur [44,61].

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 2004 yılında yayımlamış olduğu su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, inceleme alanı sıcak suları ve Gediz nehri bor derişimi bakımından "IV. Kalite" sular sınıfındadır. Seraiçi soğuksu sondajı ise "I. Kalite" sular sınıfına girmektedir [14].

12.6. Suların Mineral Doygunluk Özellikleri

Suların yeraltında dolaşımı süresince, temasta bulundukları kayaçlar ve akışkan arasında oluşan kimyasal tepkimeler ile ortamın termodinamik koşulları suların kimyasal özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Suların hangi minerale doygun olduğu ya da doygun olmadığının hesaplanması ile üretime yönelik çalışmalarda; hangi minerallerin çökebileceği ve kabuklaşmaya neden olabileceği gibi konular hakkında yaklaşımlarda bulunulur. Mineral doygunluk indeksi değerleri (Dİ, SI), log (Q/K) veya log (AP/K) şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşmaktadır [51].

Suların denge koşullarının değişmesi, iyon etkinliği ve termodinamik denge sabitleriyle hesaplanan Dİ genel olarak aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır:

Dİ = 0 ise, su ilgili mineral ile dengededir.
Dİ > 0 ise, su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir).
Dİ < 0 ise, su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözündürücü özelliktedir).

Suların doygunluk indeksleri, literatürdeki ilgili kimyasal bağıntılar kullanılarak hesaplanabilmektedir. Ancak, son yıllarda oldukça gelişen bilgisayar programlarıyla mineral doygunluklarının yanı sıra birçok kimyasal parametreyi hesaplayabilmek mümkün olmaktadır [51].

İnceleme alanı sıcak ve soğuk sularının doygunluk indeksleri Aquachem bilgisayar programında [9] hesaplanmıştır (Tablo 12.18). Bu hesaplamalarda tüm sular için arazide kaynak ve kuyu başında ölçülen sıcaklıklar dikkate alınmıştır.

Bu programı kullanarak yapılan doygunluk hesaplamaları birçok minerale göre olmasına rağmen -6<Dİ<6 aralığındaki mineraller yorumlamalarda kullanılmıştır. Ayrıca, CO_2 kısmi basıncının atmosfer kısmi basıncından ($10^{-3.5}$ atm) daha yüksek olması durumunda sular, mineral çökeltici ve gaz salıcı özelliğe sahip olmasından dolayı [51] tüm suların 25^oC ve 1 atmosfer basınç koşullarında kısmi CO_2 basınçları da ($LogPCO_2$) hesaplanmıştır (Tablo 12.18). Suların mineral doygunluk durumlarının grafiksel gösterimi Şekil 12.18'de verilmiştir.

Tablo incelendiğinde 1,2,3,4 örnek numaralı sıcaksu sondajları aragonit, kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri bakımından doygundur (Dİ>0). Yani bu mineraller çökelebilir özellikte olup kabuklaşmaya neden olabilmektedir. Diğer mineraller bakımından doygunluk altı değerler (Dİ<0) gösteren sıcaksu sondajları bu mineralleri çözündürücü özelliktedir (Şekil 12.19). Ancak kalsedon, florit ve amorf silis için doygunluğa yakın değerler göstermektedir.

Tablo 12.18: Sıcak ve soğuk suların doygunluk indeksi değerleri

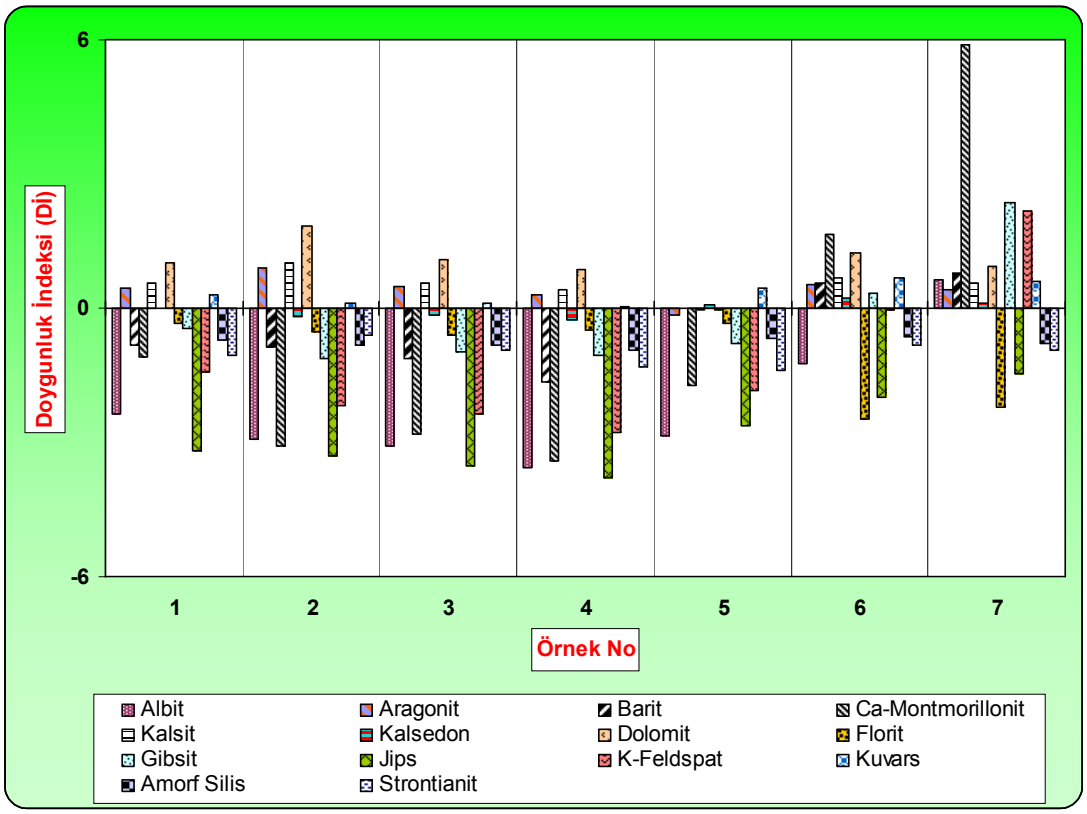
Örnek No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
pH	6.54	6.89	6.57	6.52	6.23	7.67	7.77
T	64.7	83	82	77	52	15.8	10.1
Albit	-2.36	-2.91	-3.06	-3.56	-2.85	-1.23	0.64
Aragonit	0.44	0.9	0.47	0.31	-0.15	0.54	0.4
Barit	-0.82	-0.85	-1.11	-1.66	0.01	0.55	0.8
Ca-Montmorillonit	-1.09	-3.09	-2.81	-3.43	-1.72	1.64	5.9
Kalsit	0.56	1.01	0.58	0.42	-0.02	0.69	0.55
Kalsedon	-0.01	-0.17	-0.16	-0.26	0.09	0.23	0.13
Dolomit	1.01	1.82	1.09	0.87	-0.05	1.25	0.93
Florit	-0.34	-0.51	-0.59	-0.47	-0.34	-2.49	-2.21
Gibsit	-0.46	-1.13	-0.96	-1.06	-0.8	0.33	2.35
Jips	-3.17	-3.3	-3.51	-3.79	-2.64	-2	-1.46
K-Feldspat	-1.44	-2.18	-2.35	-2.76	-1.84	-0.02	2.18
Kuvars	0.31	0.11	0.12	0.03	0.44	0.69	0.6
Amorf Silis	-0.73	-0.84	-0.84	-0.95	-0.67	-0.64	-0.77
Strontianit	-1.05	-0.6	-0.94	-1.31	-1.37	-0.82	-0.92
LogPCO_2	-0.34	-0.70	-0.39	-0.34	-0.03	-1.87	-2.05

5 numaralı sıcaksu kaynağı ise, sondaj sularından biraz farklı doygunluk değerleri sunmaktadır. Sıcaksu kaynağı, sadece barit, kalsedon ve kuvars minerallerine doygunluk gösterirken, diğer mineraller için doygun değildir (Tablo 12.18, Şekil 12.19).

Sıcaksu sondajlarının aksine, kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doygun olmayan sıcaksu kaynağı, neojen birimlerin killi düzeylerinde meydana gelen kalsiyum (ve/veya magnezyum) ile sodyum iyonu arasındaki katyon değişiminin bir göstergesi olabilir [49,51].

Seraiçi soğuksu sondajı (6 nolu örnek), aragonit, kalsit, dolomit, kalsedon, kuvars, barit, gibsit, Ca-montmorillonit mineralleri bakımından doygun olup, bu mineraller çökelebilir özelliktedir. Diğer minerallere doygun olmayıp mineral çözündürücüdür (Tablo 12.18, Şekil 12.19). Gediz nehri ise, florit, jips, amorf silis ve strontianit dışında tüm mineraller için doygun olup bu mineraller çökelebilir özelliktedir.

Kuvars minerali tüm su kaynaklarında doygunluk üstü değer gösterirken, jips ve strontianit minerali tüm su kaynaklarında çözünür özelliktedir (Tablo 12.18, Şekil 12.19). Jeotermometre uygulamaları bölümünde belli sıcaklık değerlerinde doygunluk indeksi değerlerine tekrar değinilecektir.



Şekil 12.19: Suların mineral doygunluk indekslerinin gösterimi

13. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Jeotermometre uygulamaları, jeotermal sahalarda kaynak olarak ya da sondajlar yardımıyla yüzeylenen sıcak akışkanın kimyasal özelliklerinden yararlanarak hazne (rezervuar) sıcaklığının tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır. Hazne sıcaklığının belirlenmesi, sıcak suyun ekonomik olarak işletilmesi ve o alanda sıcak suya dayalı olarak hangi uygulamaların (elektrik üretimi, ısıtmacılık, kaplıca vb.) gerçekleştirilebileceğinin belirlenmesi açısından oldukça fazla önem taşımaktadır. Bu nedenle, sıcak suların kullanım alanlarının saptanabilmesi için yapılacak derin sondajlardan önce uygulanacak çeşitli jeotermometre yöntemleri ile hazne sıcaklıklarının tahmin edilmesi, yapılan jeotermal araştırmaların önemli bir parçasını oluşturur [51,61].

Günümüzde jeotermal alanlarda hazne sıcaklığı tahminine yönelik uygulanan birçok jeotermometre yöntemi vardır. Bu yöntemler kısaca;

1) Hidrotermal alterasyon mineralleri ile hazne sıcaklığı tahmininde kullanılan "Hidrotermal Bozunum Jeotermometreleri"

2) Sularda yapılan izotop kimyası çalışmalarıyla hazne sıcaklığı tahmininde kullanılan "Doğal İzotop Jeotermometreleri"

3) Suların kimyasal analiz sonuçlarına göre hazne sıcaklığı tahmininde kullanılan "Kimyasal Jeotermometreler"

4) Jeotermometrelerin, suyun kimyasal özelliklerine bağlı olarak uygulanabilirliğinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan üçgen ve kare diyagramlar yardımıyla hazne sıcaklığı tahmininde kullanılan "Birleşik (Kombine) Jeotermometreler"

5) Soğuk sularla sıcak suların karışması sonucu suyun kimyasında ve sıcaklığında meydana gelen değişikleri temel alarak hazne sıcaklığı tahmininde kullanılan "Karışım Modelleri Jeotermometresi"

6) Sıcaklıkla mineral denge koşullarının değişmesini baz alarak hazne kaya sıcaklığı tahmininde kullanılan "Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi"

olmak üzere altı ana başlık halinde sıralanabilir.

Urganlı jeotermal alanı sıcak suları için yukarıda bahsedilen jeotermometrelerden kimyasal jeotermometre, birleşik (kombine) jeotermometre ve mineral denge-sıcaklık jeotermometresi yöntemleri uygulanmıştır.

13.1. Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal jeotermometreler, suların kimyasal analizlerinin ucuz ve pratik bir şekilde yapılabilmesinden dolayı diğer jeotermometrelere göre en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Kimyasal jeotermometreler, niteliksel (kalitatif) ve sayısal (kantitatif) kimyasal jeotermometreler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Niteliksel kimyasal jeotermometreler, analiz sonuçlarına göre sularda bulunan bazı iyonların varlığı ve/veya bazı iyonların oranlamalarıyla pratik bir şekilde hazne sıcaklığı hakkında yaklaşımlarda bulunmaya imkan tanımaktadır [19,51,61,63].

Sayısal kimyasal jeotermometreler ise, son 30 yılda birçok araştırmacı tarafından suyun sıcaklığına ve kimyasal analiz sonuçlarına (SiO_2, Na, Ca, Mg, K, Li vb.) göre geliştirilen ampirik formüllere dayanmaktadır. Bu formüller ve kaynakları Tablo 13.1'de verilmiştir. Ancak her jeotermometre yöntemi belirli bir hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullarda geçerlilik gösterdiği için yapılan tüm jeotermometre hesaplamaları bir sentez olarak ele alınmalı ve değerlendirilmelidir [51].

Tablo 13.1'de verilen formüller, Urganlı yöresi sıcak suları için Office-excel paket programında pratik bir şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan jeotermometre sonuçları ise Tablo 13.2'de verilmiştir [19,51,61,63].

Tablo13.1: Jeotermometre değerlendirmelerinde kullanılan bazı eşitlikler
(* işaretli olanların dışındakiler mg/l'dir)

Uygulanan Jeotermometreler	**Ampirik Bağıntılar**	**Değinilen Belgeler**
1. SiO_2 (Amorf silis)	T= 731 / (4.52 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
2. SiO_2 (α Kristobalit)	T= 1000 / (4.78 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
3. SiO_2 (β Kristobalit)	T= 781 / (4.51 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
4. SiO_2 (Kalsedon)	T= 1032 / (4.69 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
5. SiO_2 (Kuvars)	T= 1309 / (5.19 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
6. SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	T= 1522 / (5.75 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
7.SiO_2 (Kalsedon, kondüktif soğuma)	T= 1112/ (4.91 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
8. SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	T= 1264/ (5.31 – log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
9. SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	T= 1021/ (4.69 – log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
10. SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	T= 1164/ (4.9 – log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
11.SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	T= 1498/ (5.7 – log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
12. Na/K	T= 933/(0.933 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
13. Na/K	T= 1319/(1.699 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
14. Na/K	T= 777/(0.70 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
15. Na/K	T= 856/(0.857 + log Na/K) - 273.15	Truesdell, 1976
16. Na/K	T= 1217/(1.483 + log Na/K) - 273.15	Fournier, 1979b
17. Na/K	T= 1178/(1.470 + log Na/K) - 273.15	Nieva ve Nieva, 1987
18. Na/K	T= 1390/(1.750 + log Na/K) - 273.15	Giggenbach vd., 1983
19. Na/K (mol/l)*	T= 908/(0.692+log Na/K) - 273.15	Fournier, 1979a
20. SiO_2 (Kalsedon) (mol/l)*	T= 1101/(0.11-log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
21. K/Mg	T= 4410/(13.95-log K^2/Mg) - 273.15	Giggenbach ,vd., 1983
22.Li/Mg	T= 2200/(5.470-log (Li/$Mg^{0.5}$)) - 273.15	Kharaka ve Mariner, 1989
23.Na/Li	T= 1590/(0.779+log (Na/Li)) - 273.15	Kharaka vd., 1982
24. Na/Ca	T= 1096.7/3.08-log(Na/$Ca^{0.5}$)) - 273.15	Tonani, 1980
25. K/Ca	T= 1930/3.861-log(K/$Ca^{0.5}$)) - 273.15	Tonani, 1980

Tablo 13.2'den görüleceği gibi uygulanan jeotermometre yöntemleriyle hesaplanan hazne sıcaklıkları çok değişik değerler sunmaktadır. Bazı sonuçlar çok düşük iken bazı sonuçlar ise çok yüksektir. Bu durum, araştırıcılar tarafından öngörülen bağıntıların sabit katsayılarından da kaynaklanabilmektedir. Ancak beklenilenin dışında çok düşük ya da çok çok yüksek sıcaklık değerleri gösteren bu jeotermometreler, Urganlı yöresi için uygun olmayıp göz ardı edilmelidir. Dolayısıyla genel bir değerlendirme yapılacak olursa, Urganlı jeotermal alanı sıcak suları için silis jeotermometre bağıntıları (SiO_2) daha uygun sonuçlar vermiş olup, jeotermal sistemin hazne sıcaklığı 90-100 ^oC arasında değişmektedir.

Tablo 13.2: Kimyasal jeotermometre hesaplamalarının sonuçları

Örnek No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
T (Ölçülen - ^{o}C)	64.7	83	82	77	52
Jeotermometreler (^{o}C)					
1. SiO_2 (mg/l)	-21	-21	-21	-33	-23
2. SiO_2 (mg/l)	44	44	43	30	41
3. SiO_2 (mg/l)	-3	-3	-3	-16	-5
4. SiO_2 (mg/l)	63	63	63	48	60
5. SiO_2 (mg/l)	**94**	**94**	**93**	**79**	**91**
6. SiO_2 (mg/l)	**96**	**96**	**95**	**83**	**93**
7. SiO_2 (mg/l)	65	65	64	51	62
8. SiO_2 (mg/l)	70	70	69	57	67
9. SiO_2 (mg/l)	60	60	59	45	57
10. SiO_2 (mg/l)	82	82	81	67	79
11. SiO_2 (mg/l)	**94**	**94**	**94**	**82**	**92**
12. Na/K (mg/l)	196	189	185	193	189
13. Na/K (mg/l)	217	211	208	214	211
14. Na/K (mg/l)	185	178	172	181	177
15. Na/K (mg/l)	189	182	177	185	181
16. Na/K (mg/l)	218	212	208	215	212
17. Na/K (mg/l)	205	199	195	202	198
18. Na/K (mg/l)	233	228	224	230	227
19. Na/K (mol/l)	201	194	189	197	193
20. SiO_2 (mol/l)	64	64	63	50	61
21. K/Mg (mg/l)	91	93	91	93	93
22. Li/Mg (mg/l)	187	180	181	181	180
23. Na/Li (mg/l)	197	198	199	198	198
24. Na/Ca (mg/l)	469	511	543	563	532
25. K/Ca (mg/l)	320	329	336	349	335

Kalsedon jeotermometreleri (20 ve 4 nolu bağıntı) kullanarak hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ölçülen sıcaklıktan daha düşük değerler vermesi akışkanın rezervuarda kalsedon ile denge halinde olmadığını açıklamaktadır [38]. Bu durum bir önceki bölümde anlatılan mineral doygunluklarıyla uyum göstermektedir. Tablo 12.18 ve Şekil 12.19'a bakıldığında kalsedon mineralinin sıcaksu sondajlarında denge halinde olmadığı ve doygunluk altı değerler gösterdiği görülmektedir.

Tablo 13.2'ye bakıldığında çok geniş aralıklarda ve yüksek hazne sıcaklığı veren katyon jeotermometre bağıntılarının (Na/K, Na/Ca, Li/Mg) kullanılması ve değerlendirilmesi Urganlı jeotermal alanı için uygun olmayacaktır. Bu anlamda inceleme alanı sıcak ve mineralli suları için katyon jeotermometre bağıntılarının kullanılabilirliği bir sonraki bölümde üçgen ve kare diyagramlar yardımıyla anlatılacaktır.

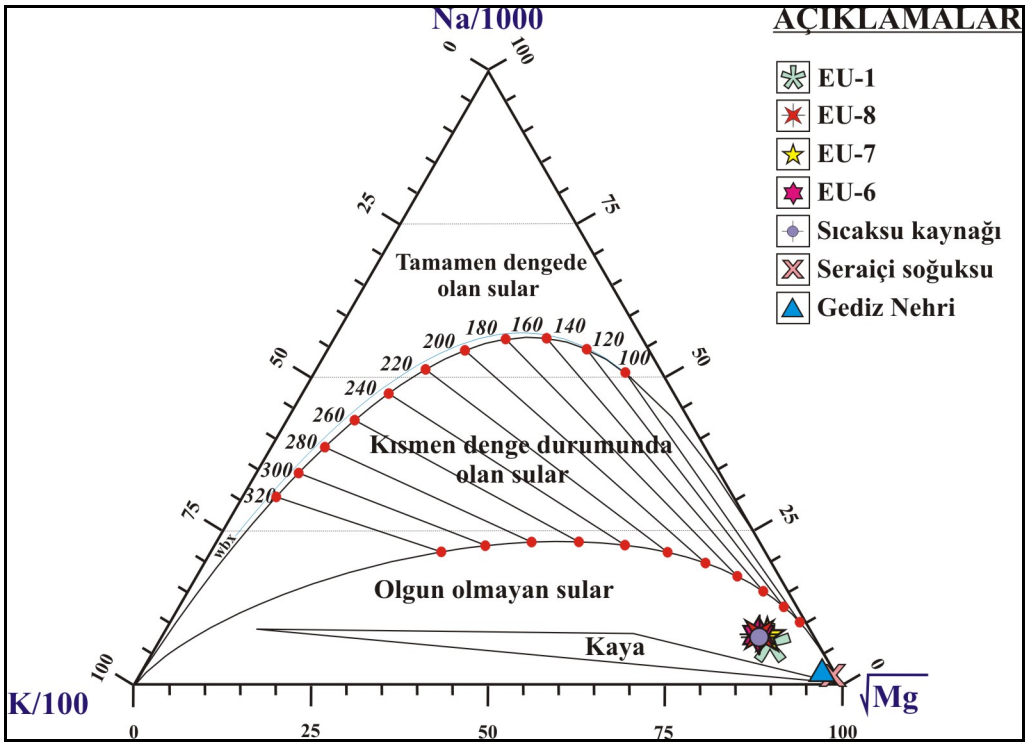
13.2. Birleşik (Kombine) Jeotermometreler

Suların kimyasal yapısında bağlı olarak hazne sıcaklığı tahmininde katyon jeotermometre bağıntılarının uygulanabilirliğini tayin etmek için araştırıcılar tarafından üçgen ve kare diyagramlar geliştirilmiştir. Bu diyagramlardan en yaygın olarak kullanılanı Giggenbach (1988) tarafından önerilen üçgen ve kare şekilli diyagramıdır [22,23]. Bu diyagram ile hem pratik bir şekilde jeotermometre sonuçları görülebilmekte hem de katyon jeotermometre bağıntılarının kullanılabilirliği hakkında yorumlamalar yapılabilmektedir.

Üçgen diyagramda su-kayaç dengesi Na-K-Mg katyonlarıyla belirlenmiştir. Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Giggenbach (1988), ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre bağıntılarıyla hesaplanan hazne sıcaklık değerlerine şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmiştir [22,23].

İnceleme alanı suları için uygulanan Na-K-Mg üçgen diyagramı Şekil 13.1'de verilmiştir. Diyagrama baktığımızda, Urganlı yöresi sularının denge durumundan oldukça uzak olgun olmayan (ham) sular bölümüne düştüğü görülmektedir (Şekil 13.1). Dolayısıyla bu durum, Urganlı yöresi sularının dengeye ulaşmadığını, halen su-kayaç etkileşiminin devam ettiğini, sıcak suların hızlı bir hidrojeolojik çevrime sahip olduğunu ve/veya soğuk sularla sıcak suların bir miktar karıştığının bir göstergesi olabilir [38,50,51].

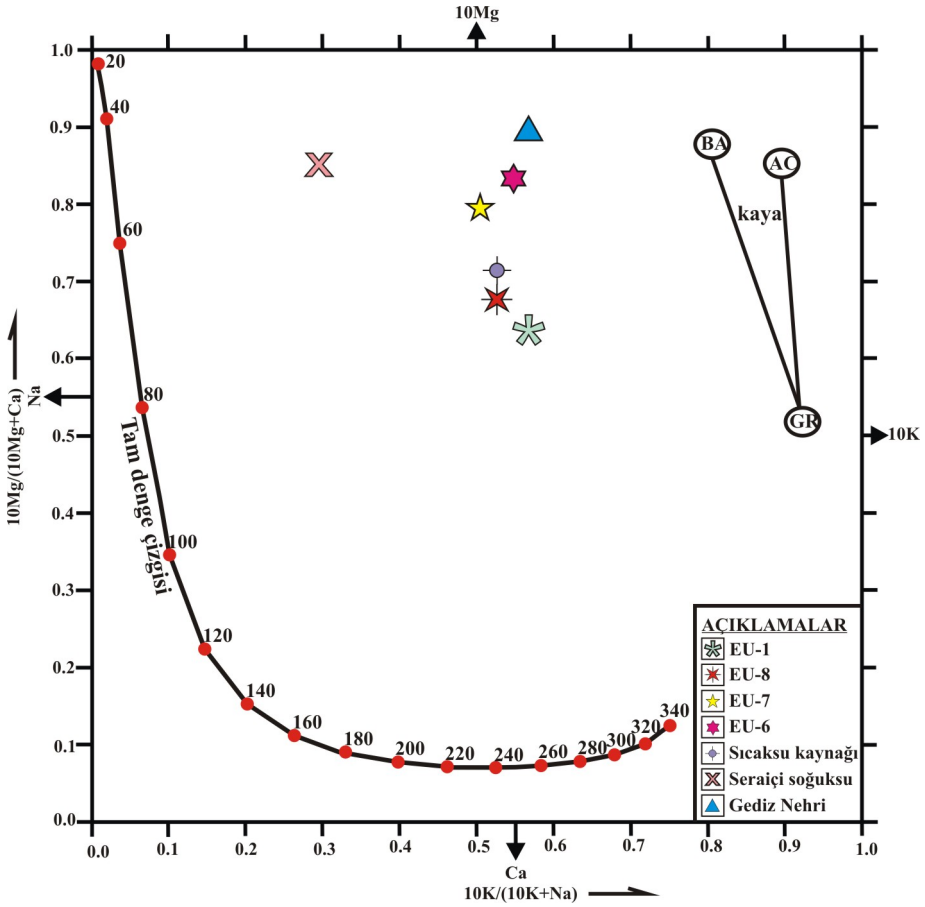
Sonuç olarak, Tablo 13.2'de verilen hazne sıcaklıklarından katyon jeotermometre sonuçları sağlıklı sonuçlar vermeyeceğinden bu sonuçlara şüpheyle bakılmalıdır [6,58].



Şekil 13.1: Suların Na-K-Mg üçgen diyagram üzerindeki dağılımı

Kare diyagramda ise Giggenbach (1988), su-kayaç dengesini Na-K-Ca-Mg katyonlarına bağlı olarak incelemiştir. Bu birleşik diyagramda su noktalarının eğriye yakın olmaları su-kayaç ilişkisinin dengeye daha yakın olduğu, uzak olmaları ise su-kayaç ilişkisinin dengelenmediği şeklinde yorumlanmalıdır [50,38]. Diyagram üzerine düşen noktalar, eğrideki sıcaklık değerlerine yakın oldukları durumlarda jeotermometre sonucunu gösterebilmektedir [51].

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular için uygulanan 10K/(10K+Na)-10Mg/(10 Mg+Ca) kare diyagramı Şekil 13.2'de verilmiştir. Diyagrama bakıldığında, tüm su örneklerinin su-kayaç denge çizgisinden uzak olduğu görülmektedir (Şekil 13.2).



Şekil 13.2: Suların 10K/(10K+Na)-10 Mg/(10 Mg+Ca) diyagramı

Sonuç olarak, üçgen ve kare diyagramlarda da görüleceği üzere inceleme alanı suları su-kayaç dengesini tamamlamamış ham sular olarak değerlendirilmiştir. Tablo 13.2'de verilen ve katyon jeotermometreleriyle elde edilen hazne sıcaklıkları Urganlı jeotermal alanı için uygun olmayıp, silis jeotermometreleri daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Uygulanan silis jeotermometrelerine göre maksimum hazne sıcaklığı 90-100^{o}C olarak bulunmuştur (Tablo 13.2). Ayrıca akışkandaki SiO_2 içeriği de göreceli olarak diğer yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlara göre oldukça düşük olup (29–43 mg/l), hızlı dolaşım nedeniyle suların dengeye ulaşmadan yüzeye çıkmaları düşüncesini desteklemektedir [38].

13.3. Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

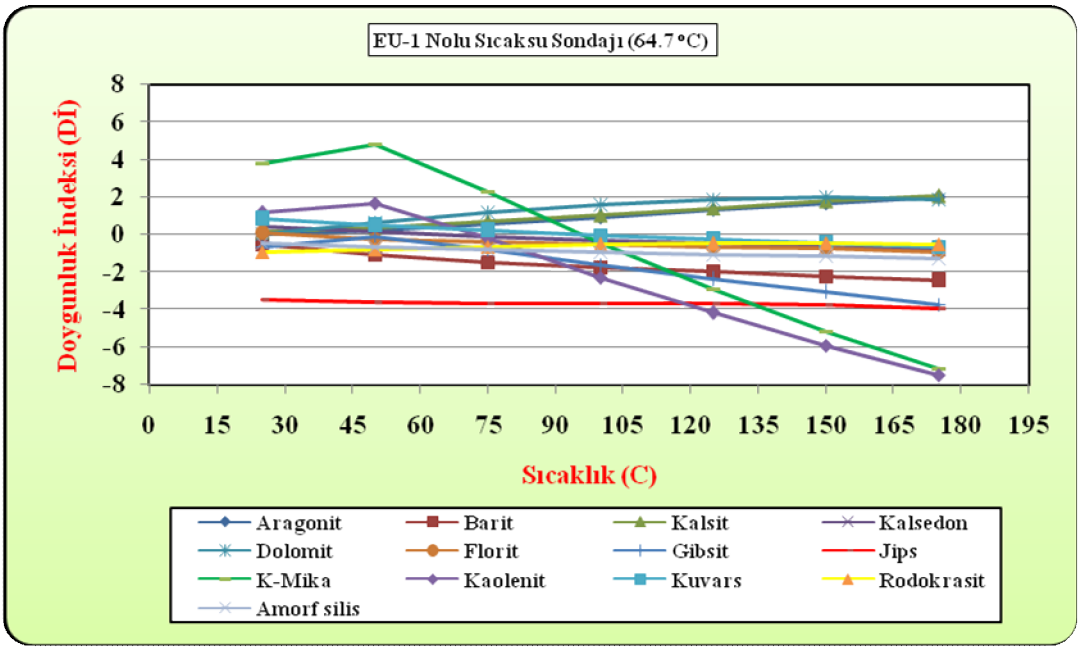
Jeotermal alanlarda hazne sıcaklığının tahmin edilmesi için Reed ve Spycher (1984), değişik sıcaklık aralıklarında mineral doygunluk değerlerinin grafiksel gösterimleriyle ilgili bir yöntem geliştirmişlerdir [40]. Bu yöntem sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişimi esasına dayanmaktadır. Suların çeşitli minerallere olan doygunluk indeksleri, farklı sıcaklıklar altında ayrı ayrı hesaplanarak mineral denge-sıcaklık diyagramları oluşturulmaktadır. Oluşturulan diyagramlara göre hazne sıcaklığı yorumlamaları yapılmaktadır. Bu yorumlamada, minerallerin çözünürlük denge sabitleri sıcaklıkla yakın ilişkili olduğundan, bir grup mineral doğrusu denge doğrusunu (Dİ=0 doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu doğruların yaklaşık kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi akifer sıcaklığını vermektedir [35,51]. Dİ denge doğrusunun aşağısında (negatif kısımda) olabilecek kesişmeler ise farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun yukarısında gerçekleşen kesişimler ise, sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gösterebilmektedir [35,51].

İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçlarına göre Aquachem [9] programı kullanılarak 25-175^{o}C sıcaklık aralığında mineral doygunluk indeksleri otomatik olarak hesaplanmıştır. Birçok mineral için elde edilen doygunluk indeksi değerlerinden uygun olanları seçilerek Office-excel paket programına aktarılmış ve grafikler oluşturulmuştur. İnceleme alanı için hazırlanan mineral denge-sıcaklık diyagramları Şekil 13.3,13.4,13.5,13.6,13.7'de gösterilmiştir. Diyagramlara göre belirlenen hazne sıcaklık tahminleri Tablo 13.3'te verilmiştir.

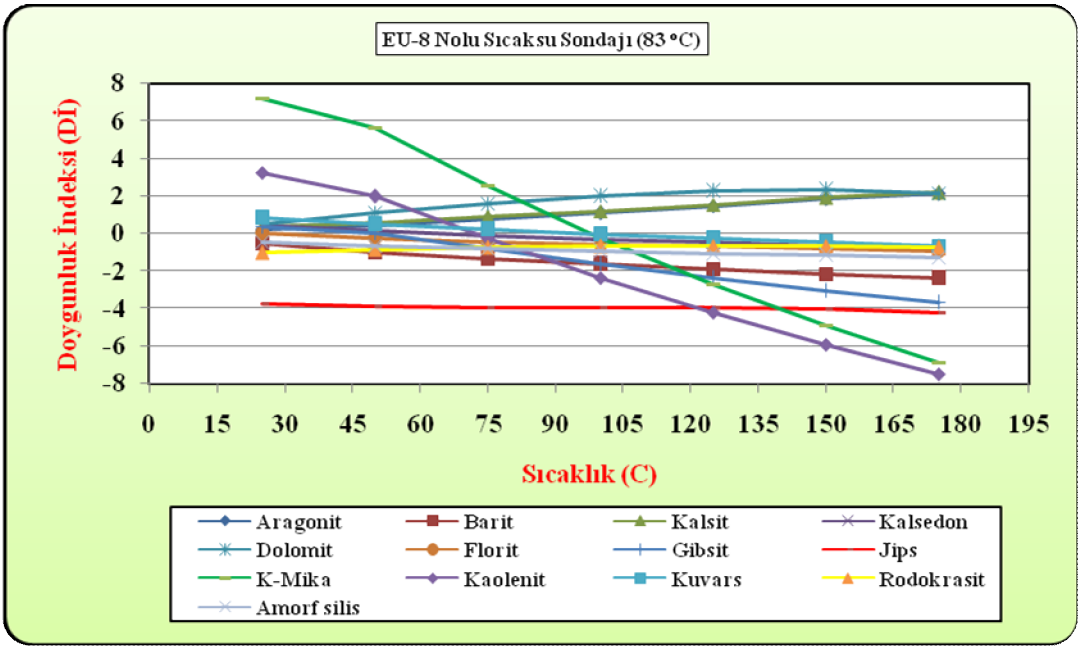
Tablo 13.3: Mineral denge-sıcaklık diyagramlarına göre hazne sıcaklıkları

Örnek Adı	**T-Ölçülen (^{o}C)**	**Hazne Sıcaklıkları (^{o}C)**		**Şekil No**
		Minimum	**Maksimum**	
EU-1 nolu sıcaksu sondajı	64.7	75	100	13.3
EU-8 nolu sıcaksu sondajı	83	80	105	13.4
EU-7 nolu sıcaksu sondajı	82	80	105	13.5
EU-6 nolu sıcaksu sondajı	77	80	100	13.6
Sıcaksu Kaynağı	52	75	100	13.7

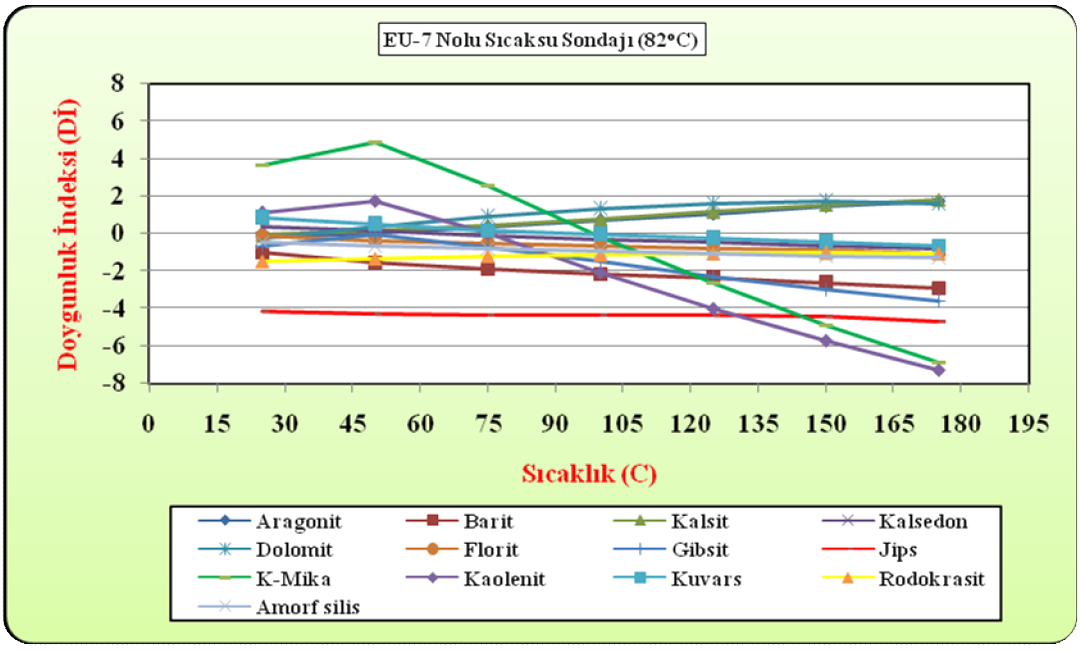
Tablodan da görülebileceği gibi, genel olarak Urganlı jeotermal alanı sıcak sularının sıcaklık-mineral denge grafiklerinde eğrilerin yaklaşık denge durumunda kesiştikleri yer ortalama 80-105°C arasında olup kimyasal jeotermometre bağıntılarıyla hesaplanan değerlerle uyum göstermektedir.



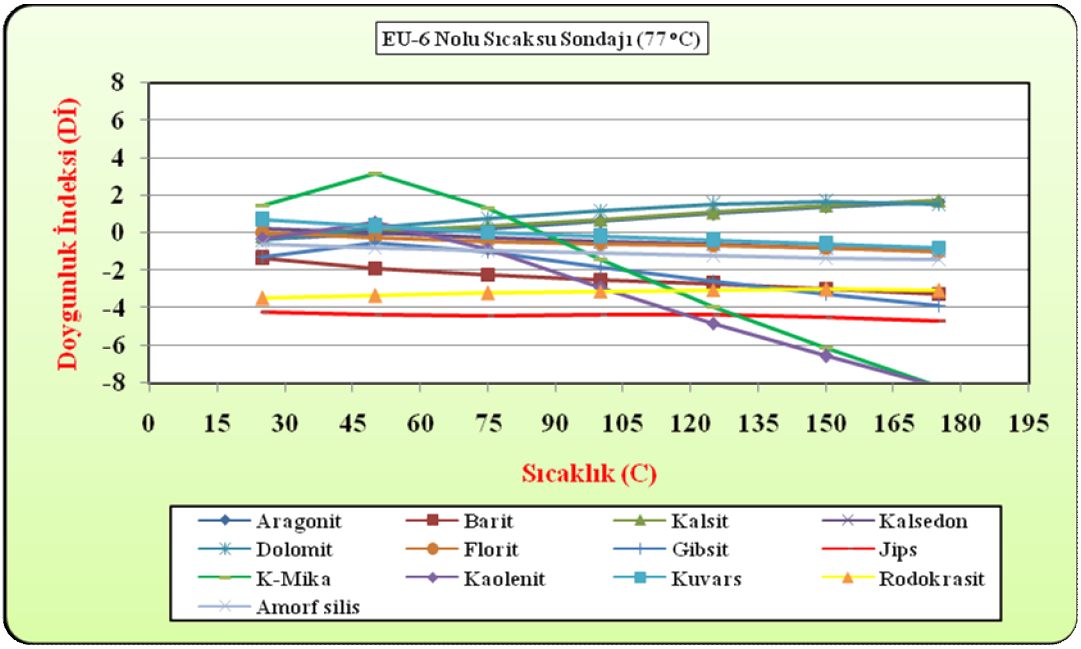
Şekil 13.3: EU-1 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı



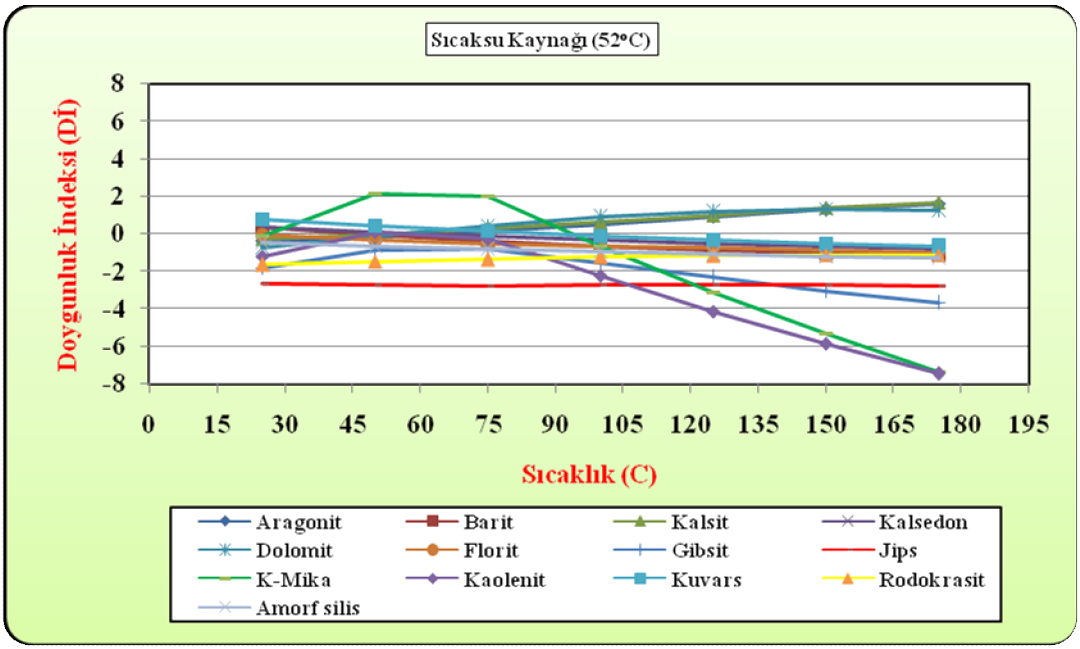
Şekil 13.4: EU-8 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı



Şekil 13.5: EU-7 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı



Şekil 13.6: EU-6 nolu sıcaksu sondajına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı



Şekil 13.7: Sıcaksu kaynağına ait mineral denge-sıcaklık diyagramı

14. İZOTOP KİMYASI

Çevresel izotopların hidrojeolojide kullanılmasına yönelik çalışmalar yaklaşık 25-30 yıl önce başlamıştır. Jeotermal alanlarda kaynaklardan boşalan sıcak ve soğuk suların yağıştan itibaren beslenme koşulları ile yeraltında dolaşım süreci, akifer parametrelerinin belirlenmesi, yüzey suları ile yeraltı suları arasındaki ilişkinin araştırılması gibi birçok konu hakkında bilgi toplamak için çevresel izotop tekniklerinin kullanılması günümüzde daha da yaygınlaşmıştır. Sıcak ve mineralli suların araştırılmasında en yaygın kullanılan çevresel izotoplar, oksijen-18 (^{18}O) döteryum (^{2}H), karbon-12 (^{12}C), karbon-13 (^{13}C) ve trityum (^{3}H)'dur. Trityum izotopu radyoaktif, diğerleri kararlı çevresel izotoplardır [2,33,58,61].

Radyoaktif izotoplardan yarılanma ömrü 12.32 yıl olan trityum (^{3}H), bu özelliğinden dolayı yeraltı suyunun bağıl yaşının, böylece de akiferde bekleme ve kaynaktan boşalma sürelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Trityum (^{3}H), 1950 yılında gerçekleştirilen nükleer faaliyetler sonucunda, atmosferde çok yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. Bunun anlaşılmasıyla ^{3}H çok önemli bir izleyici olarak kullanılmaya başlanmıştır [45]. Sularda bulunan ^{3}H miktarı, TU (trityum birimi) ile ifade edilir.

Su örneklemelerinde ^{18}O ve ^{2}H karalı izotopları δ(‰SMOW) ile ifade edilir. SMOW (standart ortalama okyanus suyu) okyanus suyunun ortalama izotopik kompozisyonunu temsil etmektedir. Standart olarak okyanus suyunun seçilmesinin nedeni, okyanusların hidrolojik çevrimin başlangıç ve bitiş noktalarını temsil etmesi ve izotopik kompozisyon olarak oldukça homojen olmasıdır. Dolayısıyla herhangi bir meteorik kökenli suyun ^{18}O miktarı okyanus suları ile karşılaştırılır [45]. Hidrolojik döngüye bağlı olarak gelişen buharlaşma, yağış ve yüzey akış olaylarının her biri oksijen ve hidrojen izotoplarının oranlarını etkilemektedir. Bunun yanında, yağışların ve yüzey sularının ^{18}O ve ^{2}H içerikleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır [45,32].

Craig (1961), bu doğrusal ilişkiyi $\delta^2H(‰)=8x\delta^{18}O(‰)+10$ bağıntısıyla tanımlamıştır [11]. Bu denklemin belirttiği doğru "Dünya Meteorik Su Doğrusu" olarak adlandırılmaktadır. $\delta^2H(‰)=8x\delta^{18}O(‰)+22$ denklemiyle belirtilen "Akdeniz Meteorik Su Doğrusu" ise I.A.E.A tarafından tanımlanmıştır [24,35,45].

Belirtilen iki doğru denklemi yardımıyla oluşturulan δ^2H-$\delta^{18}O$ grafiklerine, su örneklerinin δ^2H (‰) ve $\delta^{18}O$ (‰) içerikleri yerleştirilerek yorumlamalar yapılmaktadır. δ^2H-$\delta^{18}O$ grafiklerinde, dünya meteorik su doğrusu üzerine düşen su örneklerinin meteorik kökenli sulardan kaynaklandığı ve ilksel izotop yapılarının etkilenmediği varsayılır. Dünya meteorik su doğrusuna göre meydana gelen sapmalar ise, başka izotopik süreçlerin etkili olduğunu gösterebilir. Bu süreçlerden en önemlisi, buharlaşma ve hazne kaya-su etkileşimiyle meydana gelen hidrojen-oksijen değişimidir [45]. δ^2H-$\delta^{18}O$ grafiklerinde dünya meteorik su doğrusundan meydana gelen sapmalar, δ^2H değerlerinde çok fazla gözlenmezken, $\delta^{18}O$ değerlerinde meydana gelen sapmalardan jeotermal sistem hakkında çeşitli yorumlamalar yapılabilmektedir [32].

Karbon, iki duyarlı (^{13}C ve ^{12}C) ve bir radyoaktif (^{14}C) izotopa sahiptir. Karbonun izotopik oransallığı, gazların kökenini belirlemede yardımcı olmaktadır. Bu oransallık, ilksel bileşimdeki meteorik karbonatlarda ‰10'dan fazladır. Sedimanter organik materyallerde bu oran, petrol ve kömürde ‰-40 ile ‰-20 arasında organizmalarda ‰-30 ile ‰-10 arasında; karbonatitler ve elmasta ‰-10 ile ‰-5 arasındadır. Güncel denizel kireçtaşlarında ‰-1 ile ‰+2 arasında, jeotermal alanlarda ‰-5 ile ‰-3 arasında değişir [10]. Karbon izotop ölçümlerinde PDB (Amerika, Güney Karolina, Peedee Formasyonunun Belemniti) standardı kullanılmakta olup, $\delta^{13}C$ ($‰_{VPBD}$) olarak ifade edilmektedir.

İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk sulara ait oksijen-18 ($\delta^{18}O$), döteryum (δ^2H), trityum (δ^3H) ve karbon-13 ($\delta^{13}C$) izotop değerleri Tablo 14.1'de verilmiştir. Tabloda (*) işareti olan 7 ve 8 numaralı örneklerin $\delta^{18}O$ ve δ^2H değerleri Prof. Dr. Şevki Filiz'in 1982 yılında yaptığı doçentlik tezi çalışmasından alınmıştır.

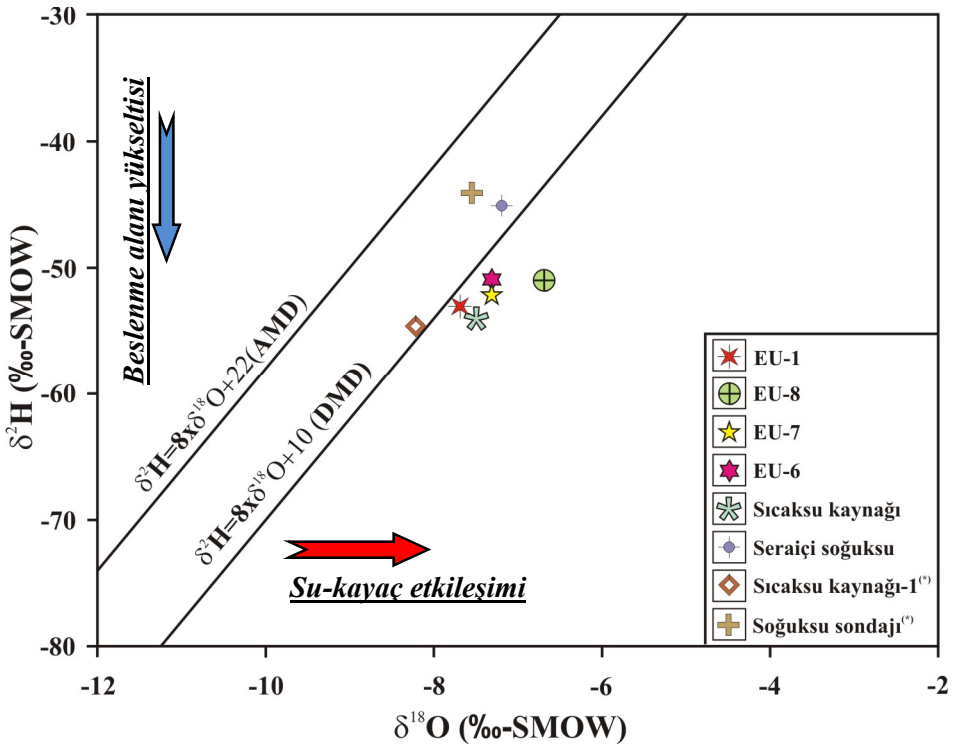
Tablo 14.1: İnceleme alanı sularına ait izotop analiz sonuçları

Örnek Adı	Örnek No	pH	T (°C)	EC (µS/cm)	Tarih	$\delta^{2}H$ (smow-‰)	$\delta^{18}O$ (smow-‰)	^{3}H (TU-Hata)	$\delta^{13}C_{vpdb}$ (‰)
EU-1	1	6.54	64.7	4268	17.01.2008	-53	-7.7	0.41±0.23	-2.5
EU-8	2	6.89	83	4981	17.01.2008	-51	-6.7	0.22±0.24	-2.9
EU-7	3	6.57	82	4901	17.01.2008	-52	-7.3	0.21±0.24	-2.0
EU-6	4	6.52	77	4886	17.01.2008	-51	-7.3	0.10±0.24	-2.6
Sıcaksu Kaynağı	5	6.23	52	3876	17.01.2008	-54	-7.5	0.35±0.24	-1.9
Seraiçi Soğuksu	6	7.67	15.8	828	17.01.2008	-45	-7.2	0.57±0.25	-6.4
Sıcaksu Kaynağı-1(*)	7*	-	83	-	Temmuz, 1979	-54.6	-8.22	-	-
Soğuksu Sondajı (*)	8*	-	20	-	Temmuz, 1979	-44.1	-7.55	-	-

(*) İşareti olanlar [18]'den alınmıştır.

14.1. Urganlı Sularında $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ İlişkisi

İnceleme alanındaki su noktalarının $\delta^{18}O$ (SMOW-‰) değerleri sıcak sularda -6.7 ile -8.22 arasında iken, soğuk sularda -7.2 ve -7.55'tir. $\delta^{2}H$ (SMOW -‰) değerleri sıcak sularda -51 ile -54.6 arasında olup, soğuk sularda -45 ve -44.1'dir (Tablo 14.1). Sulara ait $\delta^{18}O$–$\delta^{2}H$ grafiği Şekil 14.1'de verilmiştir.



Şekil 14.1: İnceleme alanı sularının $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ grafiği

Grafik incelendiğinde inceleme alanı sıcak ve mineralli suları, dünya meteorik su doğrusu olarak bilinen, $\delta^{2}H=8x\delta^{18}O+10$ doğrusunun altında ve sağında, soğuk sular ise dünya meteorik su doğrusunun üstünde yer almaktadır (Şekil 14.1). Buna göre, Urganlı yöresi sıcak ve mineralli suları meteorik kökenli olup, yağış suları çatlak, kırık ve faylar boyunca derinlere süzülmekte ve bu süreçte ısınarak fay veya etkili çatlaklar boyunca hazne kayaya ya da yeryüzüne kadar ulaşmaktadır [58,36].

Sıcak ve soğuk suların $\delta^{2}H$ değerleri kendi aralarında çok fazla bir değişim göstermemekle beraber sıcak suların $\delta^{2}H$ değerleri soğuk sulara göre daha negatif değerler sunmaktadır. Bu da sıcak su kaynaklarının daha yüksek kotlara düşen kıtasal yağışlardan etkilendiğini göstermektedir.

Çünkü yükselti arttıkça izotopik seyrelme meydana gelmekte ve daha negatif değerler ortaya çıkmaktadır [45]. Soğuk sular ise, daha düşük kotlardan beslenen yeraltı sularıdır.

Sıcaksu kaynaklarının Dünya meteorik su doğrusunun altında yer alması ve sağa doğru sapma göstermesi bu suların buharlaşmaya uğrayan sular olduğunu gösterebilir. Ayrıca, hazne kaya yapısındaki minerallerle akışkan arasında meydana gelen kimyasal tepkimelerle hidrojen ve oksijen değişimi olarak ta yorumlanabilir [45].

Şahinci (1991b), $\delta^{18}O$ değerlerindeki sapmanın az olduğu durumlarda jeotermal sistemin yorumlanmasında aşağıdaki maddelerin etkili olabileceğini vurgulamıştır:

1) Hazne kaya sıcaklığı düşüktür.
2) Hazne kaya içindeki akışkan miktarı fazladır.
3) Hazne kayadaki akışkanın dolaşımı hızlıdır.
4) Hazne kaya-sıcak akışkan dokanak yüzeyi ve süresi kısadır.
5) Hazne kaya beslenmesi iyidir.

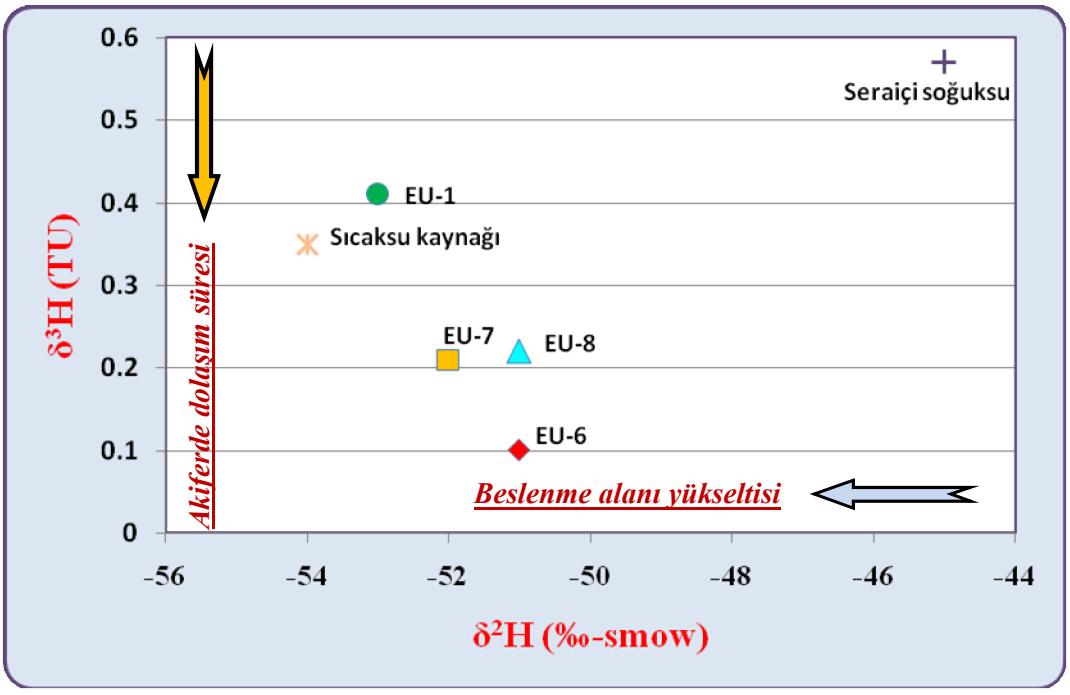
Ayrıca Şahinci, Türkiye'den ve diğer ülkelerden derleyerek yaptığı izotop çalışmalarında Sındırgı-Urganlı bölgesi sularında $\delta^{18}O$ değerlerinin fazla sapma göstermediğini ve bu sistemlerin derin dolaşımlı ve akışkan miktarlarının da fazla olabileceğini belirtmiştir [45].

Buradan yola çıkarak, sıcak suların $\delta^{18}O$ değerleri kendi aralarında birbirine yakın oluşu ve fazla sapma göstermemesi bunların yüksek kotlardan, ortak ve geniş bir bölgeden sürekli olarak beslenmeye sahip olduklarını gösterir. Ayrıca, hazne kaya sıcaklığının düşük ve hazne kayadaki akışkanın dolaşımının hızlı olabileceği sonucu çıkarılabilir. Bu durum, bir önceki bölümde anlatılan jeotermometre sonuçlarıyla da paralellik göstermektedir. Jeotermometre uygulamalarında da Urganlı sıcak suları için hazne sıcaklığı yaklaşık 80-100^{o}C arasında hesaplanmıştır.

14.2. Urganlı Sularında δ^2H-^3H İlişkisi

Kökeni meteorik olan suların yeraltında dolaşım yolu uzadıkça ^3H izotopunun radyoaktif bozunmaya uğraması nedeniyle ^3H değerleri düşmektedir. ^3H değerlerinin sıfıra doğru azalması da suyun akifer içinde kalış süresinin arttığını belirtmektedir. Bu açıdan δ^2H-^3H grafiği ile inceleme alanı sularının beslenme yükseltileri ile akifer içinde dolaşım süreleri arsındaki ilişki değerlendirilmiştir (Şekil 14.2).

İnceleme alanı sıcak ve mineralli sularında ^3H (TU) değerleri 0.10-0.41 arasında iken, seraiçi soğuksu sondajında 0.57'dir. δ^2H (SMOW-‰) değerleri ise, sıcak sularda -51 ile -54 arasında olup, seraiçi soğuksu sondajında -45'tir (Tablo 14.1).

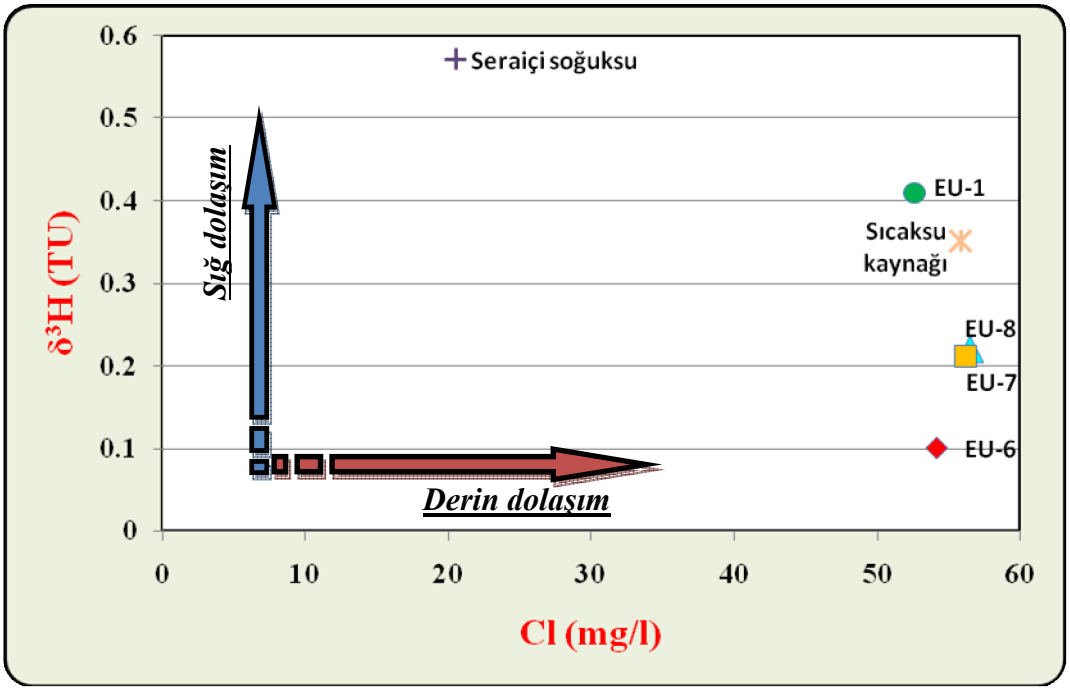


Şekil 14.2: Suların Trityum (^3H)-Döteryum (δ^2H) grafiği

Grafiğe bakıldığında δ^2H değerlerine göre beslenme alanı en yüksek olan kaynaklar, EU-1 nolu sıcaksu sondajı ve sıcaksu kaynağıdır. EU-8,7,6 nolu sıcak sularının beslenme alanı yüksekliği nispeten daha düşüktür. Seraiçi soğuksu sondajı ise düşük kotlardan beslenmektedir. ^3H değerlerine göre, EU-8,7,6 nolu sıcaksu sondajları derin dolaşımlı ve yaşlı sulardır. EU-1 nolu sıcaksu sondajı ile sıcaksu kaynağı orta dolaşımlı sular olarak görülmekte olup bu sulara karışım suları da denebilir. Seraiçi soğuksu sondajı ise sığ dolaşımlı genç yeraltı suyudur (Şekil 14.2).

14.3. Urganlı Sularında ^{3}H-EC, ^{3}H-Cl İlişkileri

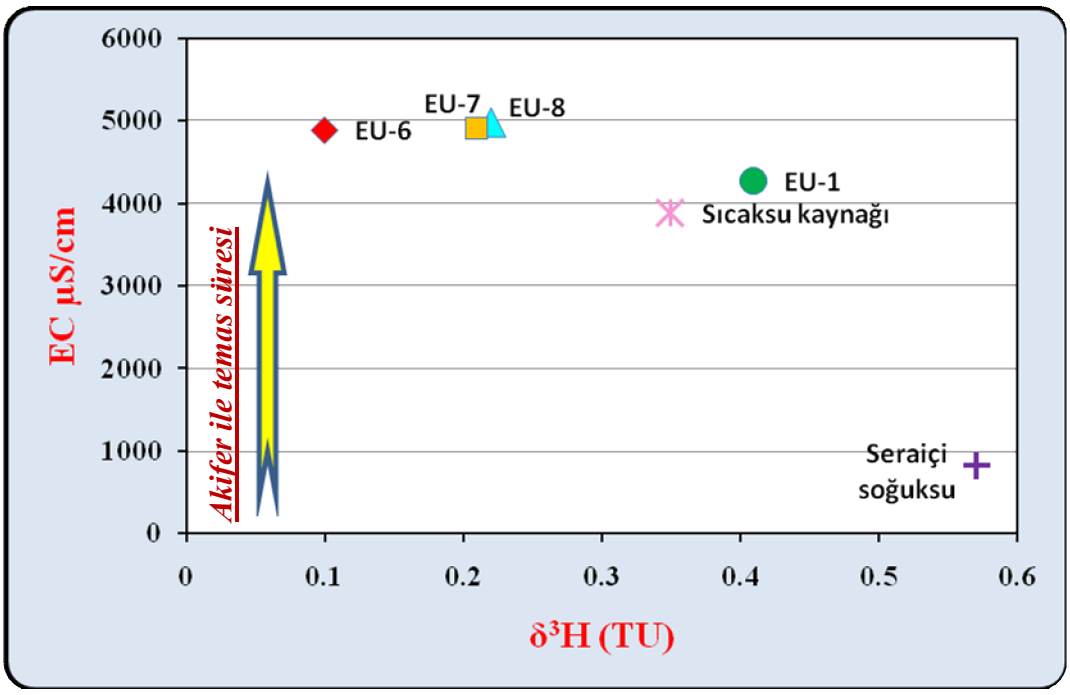
^{3}H-Cl diyagramı incelendiğinde, genel olarak sıcak ve mineralli sular yüksek Cl ve düşük ^{3}H değerleri; soğuksu kaynağı ise düşük Cl ve yüksek ^{3}H değeri göstermektedir (Şekil 14.3). Sıcak ve mineralli sulardaki yüksek Cl ve düşük ^{3}H içeriği, sığ dolaşım sistemine ait olan soğuksu kaynağı ile karşılaştırıldığında, sıcak su kaynaklarının daha derin ve uzun akım ağlarına sahip olduklarına işaret edebilir [16]. Bu nedenle, incelenen sıcak ve mineralli sular daha derin ve uzun bir dolaşım sistemini yansıtmaktadır. EU-8,7,6 nolu sıcaksu sondajları derin dolaşımlı sular olup Cl miktarlarının yüksek, ^{3}H değerlerinin düşük olması da bunu desteklemektedir. EU-1 nolu sıcaksu sondajı ile sıcaksu kaynağındaki yüksek Cl içeriğine karşı nispeten yüksek ^{3}H içeriği bu suların karışım suları olduklarını göstermektedir.



Şekil 14.3: Suların Trityum (^{3}H)-Cl grafiği

Toplam mineralizasyon ile EC arasındaki doğusallık düşünüldüğünde, yüksek EC değerlerine sahip yeraltı sularının akiferle temas süreleri daha uzundur. Yani, yüksek ^{3}H ve düşük EC değerleri sığ ve hızlı dolaşımı, düşük ^{3}H ve yüksek EC değerleri ise derin ve yavaş dolaşımı işaret etmektedir.

Örneklerin ^{3}H-EC grafiği Şekil 14.4'te verilmiştir. Buna göre, seraiçi soğuksu kaynağı sığ ve hızlı dolaşımı, EU-8,7,6 nolu sıcaksu sondajları derin ve yavaş dolaşımı göstermektedir. EU-1 nolu sıcaksu sondajı ve sıcaksu kaynağı ise, nispeten düşük EC ve yüksek ^{3}H değerleriyle daha öncede belirtildiği gibi karışım sularını yansıtmaktadır (Şekil 14.4).



Şekil 14.4: Suların EC (µS/cm)-Trityum(δ^{3}H) grafiği

14.4. Urganlı Sularında δ^{13}C Değerleri

Karbon yerkürede yaşamın temel yapıtaşı olan elementlerden birisidir. Karbon elementinin karbon-12 (^{12}C) ve karbon-13 (^{13}C) izotopları duraylı, karbon-14 (^{14}C) izotopu ise radyoaktiftir. Atmosferik karbondioksit (CO_2) bu izotopları belli oranlarda içermektedir [5]. Son yıllarda δ^{13}C değerleri bölgesel sistemler, beslenme bölgesi-köken, jeokimyasal reaksiyon modelleri ve yeraltı suyunun yaşının belirlenmesi gibi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Yeraltına süzülen su, topraktaki CO_2'yi çözerken HCO_3 ve CO_3 türlerine ayrışır. Çözünmüş İnorganik Karbon türleri (D.I.C)'nin dağılımı pH'a bağlı olarak değişir. pH değerine bağlı olarak D.I.C ve δ^{13}C PDB'nin değişimi de farklıdır [10].

Yeraltı suyundaki D.I.C ve $\delta^{13}C_{DIC}$ akiferlerde ayrışma reaksiyonları sırasında yüksek değerlere ulaşır. Kapalı ya da açık sistem şartlarına ve akifer malzemesinin silikat veya karbonat oluşuna bağlı olarak reaksiyonlar gelişir. Tamamen silikatlı akiferlerde D.I.C gelişmez, ancak karbonatlı akiferlerde kalsit veya dolomit çözünerek D.I.C gelişir. Bu tür karbonatlar genellikle ^{13}C bakımından zengindir ve $\delta^{13}C$'ün gelişiminde etkilidir [10,38].

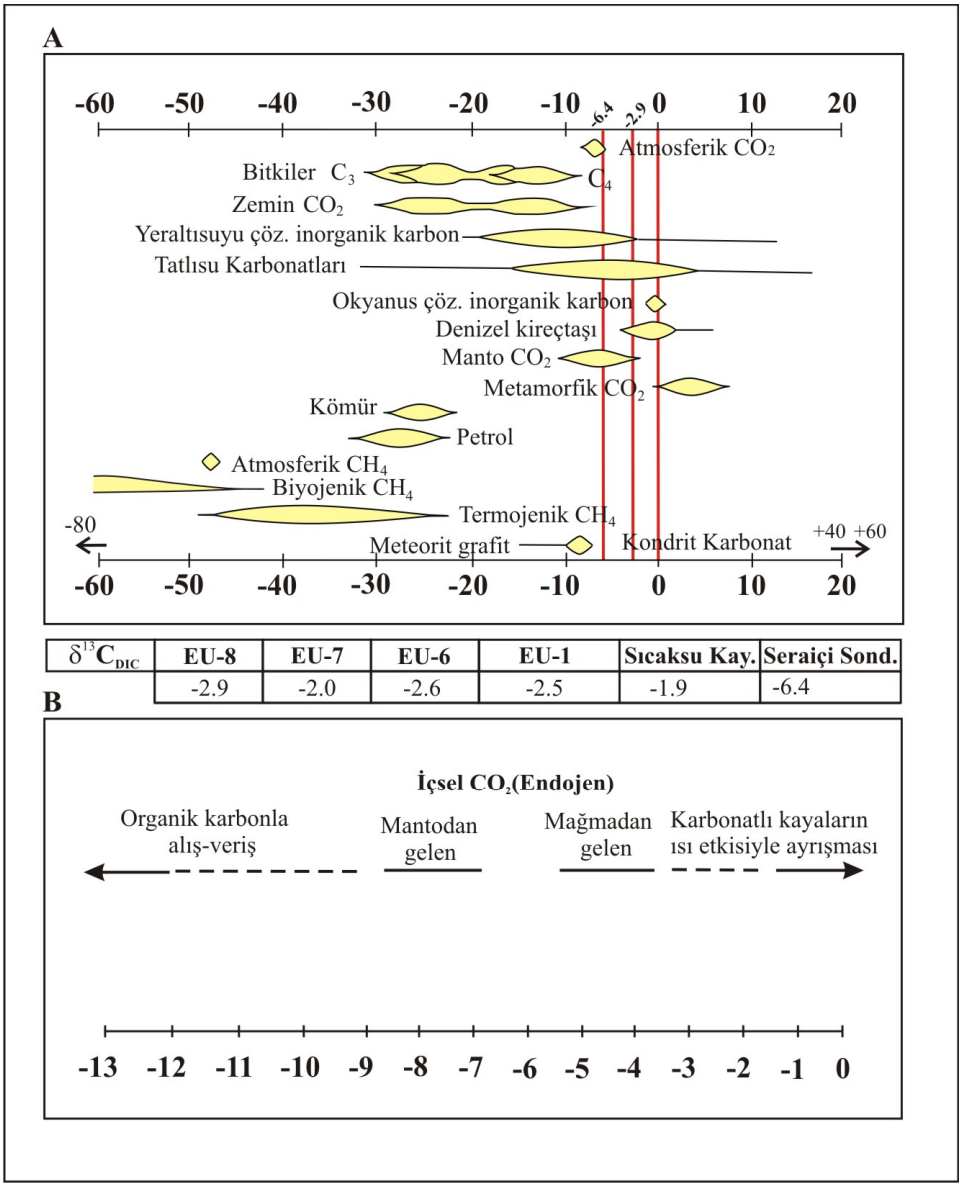
Yeraltı sularında en çok çözünen gazlar; CO_2, H_2S ve NH_3'tür. Gazların çözünürlüğü, gazın ve çözücünün cinsine, basıncına ve sıcaklığa bağlı olup sıcak sularda bulunan karbondioksit (CO_2) gazı;

1) Organik maddelerin bozuşmaları ile,
2) Derin deniz karbonat kayaçlarının metamorfizması ile,
3) Manto'dan, yerin derinliklerinden gelen magmatik kökenli CO_2,

olmak üzere üç farklı şekilde oluşmaktadır [17].

Bu anlamda, günümüzde karbon izotop ölçümleri ($^{13}C/^{12}C$) yapılarak sularda bulunan CO_2 gazının kökeni hakkında bilgiler elde edilebilmektedir.

Urganlı jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak ve mineralli sulardaki $\delta^{13}C$ değerleri seraiçi soğuksu kaynağında -6.4 iken, sıcaksu kaynak ve sondajlarında -2 ile -2,9 arasında değişmektedir (Tablo 14.1). Sıcak sulardaki CO_2'in kökeni daha çok denizel kökenli karbonatlardan ve metamorfik CO_2'den kaynaklanmaktadır. Fakat sıcak sulara manto kökenli CO_2 gazı da etkili olmuştur. Soğuk sulardaki CO_2'in kökeninin ise gölsel karbonatlar olduğu anlaşılmıştır (Şekil 14.5). CO_2 gazı, Pliyosen yaşlı karbonatlı göl çökellerinin çözünmesi ile yeraltı sularına geçmiş olabilir. Bu durum tatlı suların jeolojik olarak üst seviyelerde yer alan karbonatlı kayaçlarla, sıcak ve mineralli suların ise derinlerdeki denizel kökenli karbonatlarla ve/veya inceleme alanın temelini oluşturan metamorfik kayaçlarla temas halinde olduğunu göstermektedir. Ayrıca sıcaksu kaynaklarıyla soğuk suların karışımı da söz konusudur [38,58].

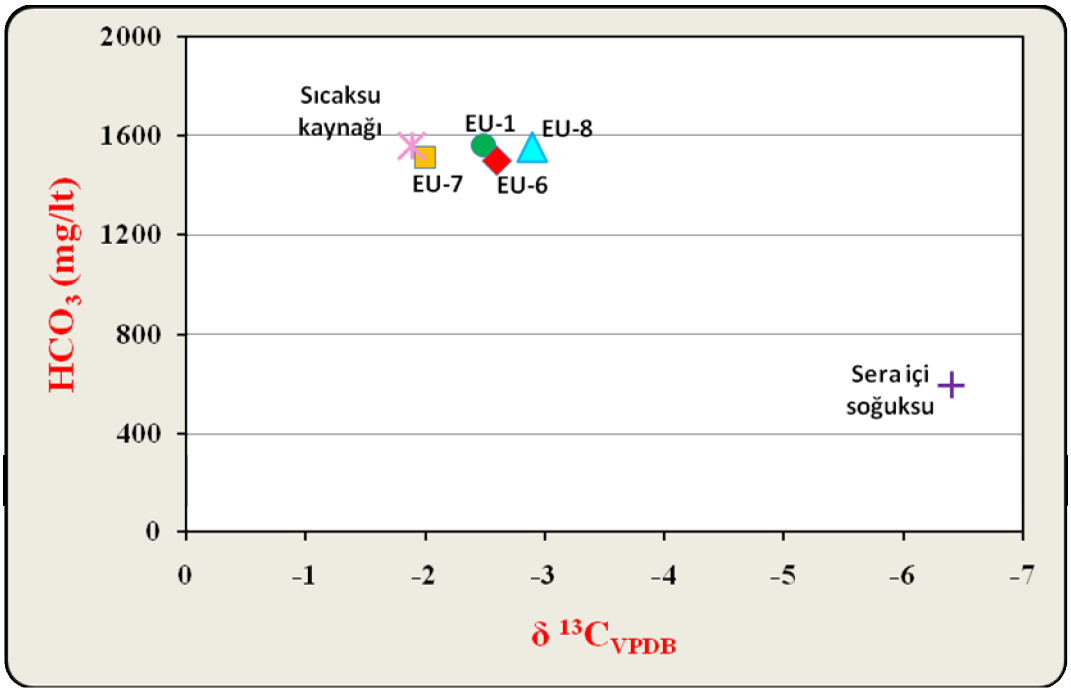


$\delta^{13}C_{DIC}$	EU-8	EU-7	EU-6	EU-1	Sıcaksu Kay.	Seraiçi Sond.
	-2.9	-2.0	-2.6	-2.5	-1.9	-6.4

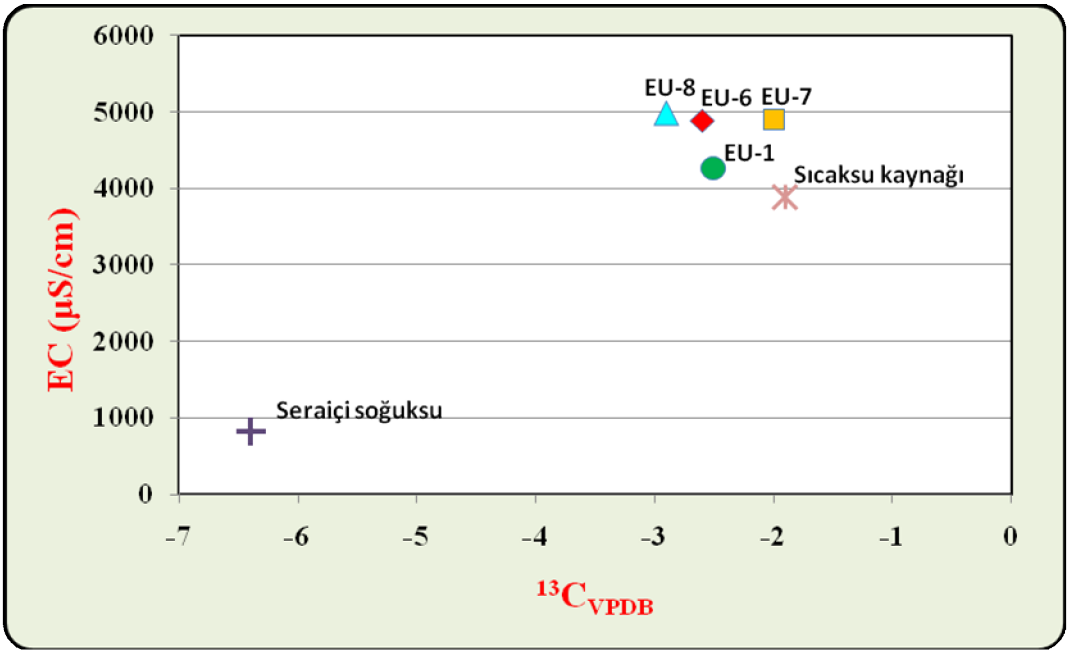
Şekil 14.5: Farklı doğal ortamlardaki $\delta^{13}C$ değerinin değişim aralığı [10]

Urganlı yöresi sularında HCO_3-$\delta^{13}C$ ilişkisi de incelenmiştir (Şekil 14.6). Şekilden de görüldüğü gibi soğuk suyun HCO_3 konsantrasyonu azaldıkça $\delta^{13}C$ değerleri de azalmaktadır. Halbuki sıcak sularda bu durumun tam tersi görülmektedir. Yani sıcak sulardaki HCO_3 konsantrasyonu artıkça $\delta^{13}C$ değeri de artmaktadır [58].

Ayrıca inceleme alanındaki tüm sıcak ve soğuksu noktalarının $\delta^{13}C$ değerleri arttıkça suların EC değerleri de artmaktadır (Şekil 14.7). Bu durum da sıcak ve mineralli suların derin dolaşımlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 14.6: Urganlı yöresine ait suların HCO_3-$\delta^{13}C$ ilişkisi



Şekil 14.7: Urganlı yöresine ait suların EC-$\delta^{13}C$ ilişkisi

14.5. Beslenme Alanı Yüksekliğinin δ^2H İzotopuyla Saptanması

Döteryum izotopundan yararlanılarak yaklaşık beslenme alanı yüksekliğinin saptanması Mizutani tarafından geliştirilen formül ile mümkün olabilmektedir [32,63].

Beslenme alanı yüksekliğinin hesabı aşağıda verilen formül ile yapılmaktadır [32,63].

$$\Delta D = 2.5x\frac{h(m)}{100} \quad (14.1)$$

$$\Delta D = D_1 - D_2 \quad (14.2)$$

D_1 = Sıcak suyun döteryum değeri (‰ δ)
D_2 = Soğuk suyun döteryum değeri (‰ δ)
h = Beslenme alanı yüksekliği (m)

Bu formül, EU-8 nolu sondaj kuyusunun ve seraiçi soğuksu sondajının döteryum değerleri alınarak inceleme alanı için uygulanmıştır. Suların izotop analiz sonuçları Tablo 14.1'de verilmiştir. Buna göre:

Sıcak suyun döteryum değeri = -51‰
Soğuk suyun döteryum değeri = -45‰

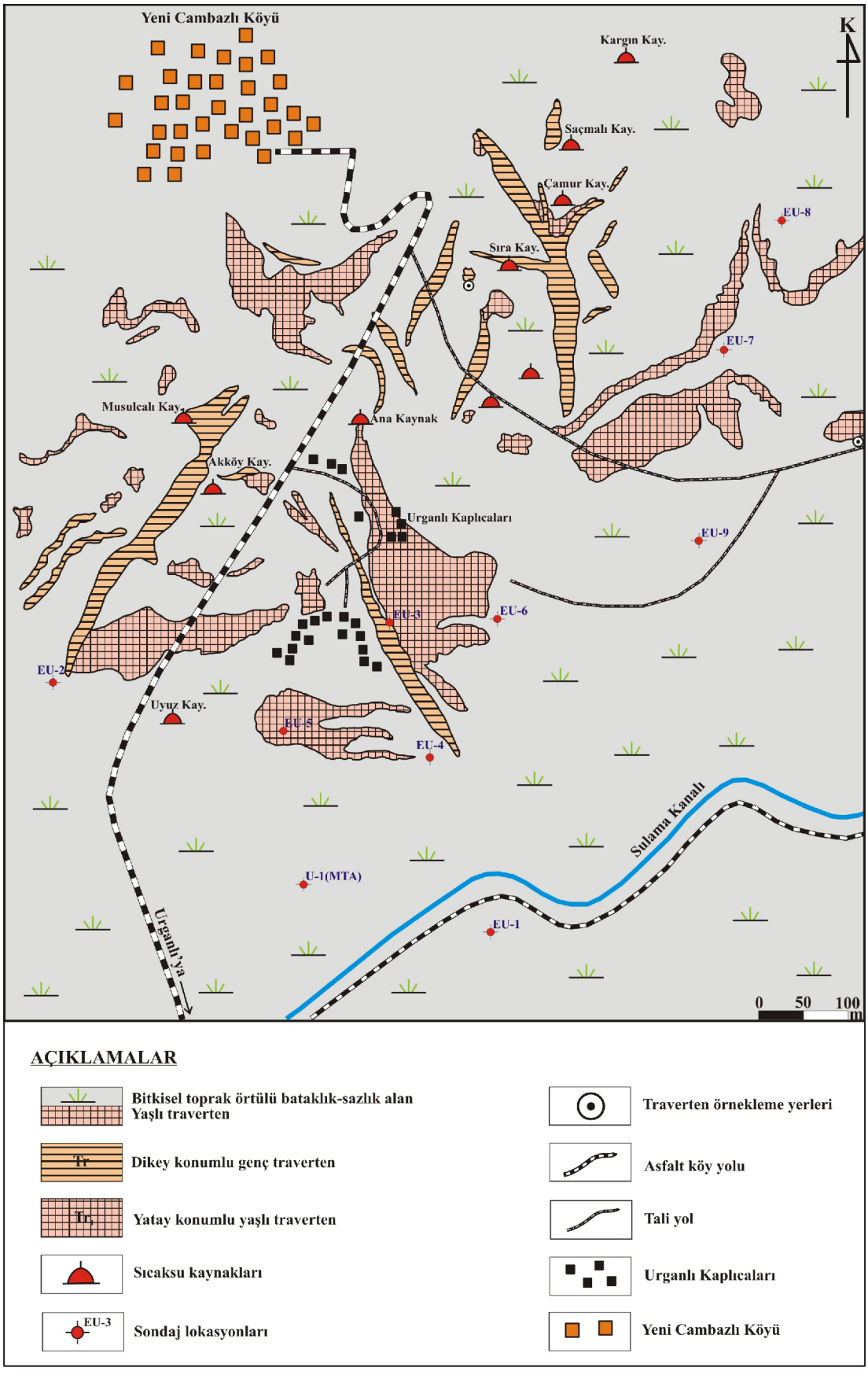
Verilen bu değerler 14.1 ve 14.2'de verilen formülde yerine konulduğunda, sıcaksu sondajına göre (EU-8) beslenme alanının yüksekliği 240 m olarak bulunmuştur.

15. TRAVERTENLER

Karbonat çökellerinde en yaygın olarak görülenlerden birisi de travertenlerdir. Genel olarak traverten oluşumları yüksek oranda $CaCO_3$ ve CO_2 içeriğiyle kaynaklardan çıkan sıcak sulara bağlıdır. Sular yüzeye ulaştığında basıncın düşmesiyle CO_2 kaybederler ve $CaCO_3$ çökelimi gerçekleşir. Bu olay traverten oluşumuna sebep olmaktadır. Kaynaktan uzaklaştıkça CO_2 kaybı artacağı için $CaCO_3$ çökelimi de fazla olacaktır [38,16].

Urganlı jeotermal alanında tektonik hareketlerin sonucunda meydana gelen kırıklardan yeryüzüne ulaşan sıcaksu kaynaklarının bıraktığı çökeltilerin oluşturduğu travertenler, konumları ve yayılımları yönünden oldukça dikkat çekicidir (Şekil 15.1). Urganlı kaplıcaları ve civarında oldukça geniş yayılım gösteren travertenler bölgede bir zamanlar oluşan sıcaksu boşalımlarının varlığını göstermektedir.

Travertenlerin büyük bölümü yatay konumludur (Şekil 15.2). Yatay olarak yayılım gösteren yaşlı travertenleri dikine kesen çatlaklardan yüzeylenen sıcak suların oluşturduğu genç travertenler ise, daha dik bir morfoloji oluşturmuştur. Bu genç travertenler, inceleme alanında duvarımsı görünümde olup düşük sertlikte, kirli beyaz, sarımsı kirli beyaz ve gri renklidir (Şekil 15.3, 15.4). Bazı sıcaksu çıkışları çevresinde yeni traverten oluşumları halen devam etmektedir (Şekil 15.5) [67].



Şekil 15.1: Bölgedeki traverten yayılımları ve sıcaksu noktaları [57]



Şekil 15.2: Yatay tabakalanma gösteren yaşlı travertenler



Şekil 15.3: Duvarımsı görünümdeki genç travertenler



Şekil 15.4: Dikey konumlu genç travertenler



Şekil 15.5: Güncel traverten oluşumları

Çalışma alanında travertenlerin oluşum ve köken benzerliklerini irdelemek, jeokimyasal ilişkiyi ortaya koyabilmek için genç ve yaşlı travertenden olmak üzere 2 adet örnekleme yapılmıştır. Yapılan örneklemelerin % oksit, iz element, oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve karbon-13 ($\delta^{13}C$) analiz sonuçları Tablo 15.1 ve 15.2'de verilmiştir.

Tablo 15.1: Genç traverten analiz sonuçları

Örnek Adı: Genç Traverten				**Y**: 0573366	
Örnek No: T1		**Tarih**: 17.01.2008		**X**: 4269934	
% Oksit		**İz Element (ppm)**			
SiO_2	0.98	**As**	3.40	**Nb**	0.10
Al_2O_3	0.02	**Ba**	7681	**Pb**	<0.10
Fe_2O_3	< 0.04	**Be**	2.00	**Rb**	2.20
MgO	2.62	**Ce**	0.20	**Sb**	0.10
CaO	49.20	**Cu**	0.40	**Se**	<0.50
Na_2O	0.18	**Co**	0.40	**Sn**	< 1.0
K_2O	0.02	**Cs**	4.60	**Sr**	14999
TiO_2	< 0.01	**Ga**	< 0.50	**Ta**	< 0.10
P_2O_5	0.004	**La**	< 0.10	**Th**	< 0.20
MnO	< 0.01	**Mo**	0.30	**U**	< 0.10
Cr_2O_3	< 0.002	**Ni**	1.20	**Zr**	1.0
İZOTOP VERİLERİ (‰-vpdb)					
$\delta^{18}O$		-15.65	**$\delta^{13}C$**		0.01

Tablo 15.2: Yaşlı traverten analiz sonuçları

Örnek Adı: Yaşlı Traverten				**Y**: 0573804	
Örnek No: T2		**Tarih**: 17.01.2008		**X**: 4269758	
% Oksit		**İz Element (ppm)**			
SiO_2	10.11	**As**	1.30	**Nb**	1.90
Al_2O_3	1.28	**Ba**	3338	**Pb**	2.60
Fe_2O_3	0.55	**Be**	1.0	**Rb**	29.9
MgO	2.93	**Ce**	6.60	**Sb**	0.10
CaO	44.07	**Cu**	5.50	**Se**	< 0.5
Na_2O	0.25	**Co**	1.50	**Sn**	<1.0
K_2O	0.33	**Cs**	27.7	**Sr**	4639
TiO_2	0.06	**Ga**	1.10	**Ta**	0.20
P_2O_5	0.011	**La**	3.60	**Th**	1.20
MnO	< 0.01	**Mo**	1.30	**U**	0.30
Cr_2O_3	0.005	**Ni**	19.0	**Zr**	27.1
İZOTOP VERİLERİ (‰-vpdb)					
$\delta^{18}O$		-5.39	**$\delta^{13}C$**		0.57

Tablolar incelendiğinde genç travertenlerde SiO_2 değeri %0.98 iken yaşlı travertenlerde %10.11'dir. Bu durum, güncel travertenleri oluşturan suların düşük sıcaklıkta, yaşlı travertenleri oluşturan suların ise daha yüksek sıcaklıkta olduğunu göstermektedir. Her iki örnekte de %CaO miktarı, $\%Na_2O$, K_2O ve MgO miktarlarından oldukça fazladır. CaO oranındaki yükseklik ortamdaki $CaCO_3$ çökeliminin bir sonucudur. $\%Na_2O$ değerlerinin düşük olması Neojen yaşlı birimlerin killi düzeylerinde Na ile Ca iyonu arasında meydana gelen katyon değişimi ile açıklanabilir [49,52].

Travertenler genel olarak değerlendirildiğinde, iz element içerikleri Sr ve Ba dışında yaşlı travertenlerde genç travertenlere göre nispeten fazladır. Bu durum yaşlı travertenleri oluşturan suların daha sıcak olmasından dolayı bünyesine çözerek daha fazla iyon almasından kaynaklanmaktadır [38]. Genç travertenlerde Sr 14999 ppm, Ba değeri 7681 ppm'dir. Yaşlı travertenlerde ise Sr ve Ba sırasıyla 4639 ve 3338 ppm'dir. Dolayısıyla her iki örneğin Sr ve Ba içeriklerinin oldukça fazladır (Tablo 15.1,15.2). Sr ve Ba değerlerinin bu kadar yüksek olması analiz hatası olarak değerlendirilmiştir.

İzotop içerikleri incelendiğinde genç travertenlerde $\delta^{18}O$ değeri ‰ -15.65 iken yaşlı travertenlerde ‰ -5.39'dur. $\delta^{13}C$ değerleri ise, genç travertenlerde ‰ 0.01, yaşlı travertenlerde ise ‰ 0.57'dir (Tablo 15.1,15.2). Genç travertenlerin izotop değerleri yaşlı travertenlere göre daha düşüktür. Dolayısıyla genç travertenleri oluşturan sıcak ve mineralli suların daha sığ ve hızlı dolaşımlı sular olduğu söylenebilir [16,38].

16. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. İnceleme alanında temel kayaları Paleozoyik yaşlı muhtelif şist ve mermerler oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı birimlerin üzerine açısal uyumsuzlukla Senozoyik yaşlı birimler gelmektedir.

2. Bölgedeki en önemli tektonik hat yaklaşık D-B uzanımlı olan Cambazlı fayıdır. Cambazlı fayından itibaren güneye doğru Neojen yaşlı birimlerin kalınlığı artmakta olup güneye doğru bir basamaklanma mevcuttur.

3. İnceleme alanı, mevcut sondaj verilerinden yararlanarak jeoloji, tektonik ve jeotermal enerji açısından yeniden değerlendirilmiştir. Toplam 10 adet sondaj verisinden sıcak suların Cambazlı fayı tarafından beslendiği, akışın kuzeyden güneye olduğu ve bu akış sonucunda suların bir miktar soğuduğu anlaşılmıştır. Kuyuların sıcaklıkları Cambazlı fayına doğru artış göstermektedir.

4. Mevcut sondaj verilerine göre, Cambazlı fayının eğim atımlı normal bir fay olduğu anlaşılmıştır. Neojen-Paleozoyik dokanağının diskordanslı olduğu ve sondaj verilerinden hareketle bu dokanağın düşük eğimli bir fay olduğu sonucuna varılmıştır.

5. İnceleme alanında M.T.A tarafından yapılan jeofizik çalışmalarda, düşük rezistivite anomalilerinin örtü kayanın olduğu graben kesimlerde yer alması, jeolojik yapı ile jeofizik verilerin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

6. Urganlı jeotermal alanında 2001-2008 yılları arasında 10 adet sıcaksu sondajı yapılmıştır. Kuyularının derinliği 280-605 m, suların üretim sıcaklıkları 62-83^{o}C arasında olup, iki kuyu (EU-1,EU-2) hariç üretimleri artezyendir.

7. Bölgede doğal akışa sahip birçok sıcaksu kaynağı vardır. Bu kaynakların sıcaklıkları 50-75^{o}C arasında olup debileri 0.5-2 l/s arasında değişmektedir. Bu kaynakların debileri beslenmeye bağlı ve mevsimsel olarak değişmekle beraber, son yıllarda yapılan sondajlı çalışmalardan sonra ise kaynakların debilerinde azalmalar gözlenmiştir.

8. Sondajlı çalışmalardan sonra bölgede yapılan ve yapılması planlanan seracılık faaliyetleri Urganlı jeotermal alanını oldukça cazip bir hale gelmiştir.

9. İnceleme alanında sera ve kaplıca ısıtma amaçlı kullanılan üretim kuyularında yapılan girişim testlerinde kuyuların birbirlerini etkilemediği gözlenmiştir.

10. Urganlı jeotermal alanındaki kuyuların alt kullanım sıcaklığının 50^{o}C olarak kabul edilmesi ile hesaplanan toplam görünür ısı potansiyeli 24.96 MW_t'dir.

11. Bölgede kaplıca ve seralarda ısıtma amaçlı kullanılan sıcak ve mineralli suların re-enjeksiyonu yapılmamaktadır. Bu durum jeotermal rezervuarın basıncını ve kuyuların verimini zaman içerisinde olumsuz yönde etkileyecektir. Bunun dışında re-enjeksiyon yapılmadan dışarıya atılan sıcak sular çevre kirliliği de yaratacaktır.

12. İnceleme alanında yapılan jeoloji ve jeofizik çalışmalara göre, seraların bulunduğu bölgenin re-enjeksiyon uygulamaları için olumlu olabileceği sonucuna varılmıştır.

13. Jeolojik ve sondajlı çalışmalar sonucunda Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli ortaya konmuştur. Buna göre; alanda Neojen yaşlı birimlerin geçirimli seviyeleri birinci rezervuarı, porozite ve permabilitesi iyi gelişmiş şistler ve mermerler ikinci rezervuarı oluşturmaktadır. Neojen yaşlı birimlerin killi düzeyleri ise örtü kaya niteliğindedir. Isı kaynağı ise genç magmatik sokulumlardır.

14. Urganlı jeotermal alanında su ve izotop kimyası için sıcak ve soğuk sulardan örneklemeler yapılmıştır. Hidrojeokimyasal değerlendirmelerde daha önceki çalışmalara göre ilk defa derin sondaj verileri kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları suların sınıflandırılmasında, jeotermometre uygulamalarında ve köken benzerliklerinin araştırılmasında kullanılmıştır.

15. Urganlı yöresi sıcak suları A.I.H sınıflamasına göre, Na'lu, HCO_3'lı, B'lu, SiO_2'li ve CO_2'li sıcak ve mineralli sular sınıfına girmektedir.

16. İnceleme alanındaki tüm sıcak ve mineralli sular Na-HCO_3 su tipini yansıtmakta olup iyonların sıralanması katyonlarda r(Na+K)>rCa>rMg, anyonlarda ise rHCO_3>rCl>SO_4 şeklindedir. Soğuk sularda ise rCa>r(Na+K)>rMg, ve rHCO_3>SO_4>rCl şeklinde olup, Ca,Na-HCO_3,SO_4 su tipini yansıtmaktadır.

17. Schoeller diyagramına göre sıcak ve mineralli sular benzer bileşimli ve aynı akifer ortamından gelen sulardır. Piper diyagramına göre ise, sıcak ve mineralli sular karbonat alkaliliği>karbonat olmayan alkalilik olmak üzere doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular sınıfına girmektedir. Soğuk sular ise, karbonat sertliği %50'den fazla olan $CaCO_3$ ve $MgCO_3$'lı sular sınıfına girmektedir.

18. Sondaj sularındaki sodyum iyonunun fazlalığı sodyumlu silikat minerallerinin çözünürlüğü ile açıklanmıştır. Ancak sondajlara nazaran doğal sıcaksu kaynaklarındaki nispeten fazla sodyum içeriği, Neojen yaşlı birimlerin killi düzeylerinde sodyum ile kalsiyum arasında meydana gelen katyon değişiminin bir katkısı olarak yorumlanmıştır.

19. Bor konsantrasyonu, sıcak ve mineralli su kaynaklarında 9.96-11.12 mg/l arasında olup en yüksek değerdedir. Gediz nehrinde kısmen yüksek değer (1.65 mg/l) gösteren borun en düşük değeri seraiçi soğuksu sondajındadır (0.83 mg/l). İnceleme alanı sıcak ve mineralli sularındaki bor fazlalığı, su-kayaç etkileşiminden olabileceği gibi, genç magma sokulumları ve/veya denizel çökellerin metamorfizmasından da kaynaklanabilir.

20. Sıcak ve soğuk sular içme-kullanma özelliklerine göre incelendiğinde seraiçi soğuksu sondajı hariç tüm suların içme ve kullanmaya uygun olmadığı anlaşılmıştır. İnceleme alanı sularındaki NH_4 fazlalığı sulardaki yapay kirlenmenin bir göstergesidir. NH_4, kanalizasyon sistemi olmadığı için evsel atıkların dışarı atılması, yoğun tarımsal faaliyetler ve suni gübrelerin kullanılması gibi dış etkenlerden kaynaklanmaktadır.

21. İnceleme alanında sıcaksu sondajları genelde kuvars, kalsit, dolomit, aragonit, minerallerine doygundur. Bu mineraller çökelebilir özellikte olup kabuklaşmaya neden olmaktadır. Sıcaksu sondajlarının aksine, kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doygun olmayan sıcaksu kaynağı, neojen birimlerin killi düzeylerinde meydana gelen kalsiyum (ve/veya magnezyum) ile sodyum iyonu arasındaki katyon değişiminin bir göstergesidir.

22. Giggenbach diyagramına göre, Urganlı sıcak ve mineralli sularının, su-kayaç etkileşimini tamamlamayan ham sular olduğu anlaşılmıştır. Uygulanan jeotermometre sonuçlarına göre, Urganlı jeotermal alanı için maksimum hazne sıcaklığı 80-105^oC olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Urganlı jeotermal alanı günümüz koşullarında elektrik üretimine uygun değildir.

23. Urganlı jeotermal alanı sıcak ve mineralli suları, ^{18}O-^{2}H izotop içeriklerine göre meteorik kökenlidir. Yağış suları, çatlak, kırık ve faylar boyunca derinlere süzülmekte ve bu süreçte ısınarak fay ve/veya etkili çatlaklar boyunca hazne kayaya ya da yeryüzüne kadar yükselerek sıcak ve mineralli su kaynaklarını oluşturmaktadır. Trityum içeriklerine göre; sıcak ve mineralli sular derin dolaşımlı yüksek kotlardan beslenen sular, soğuk sular ise sığ dolaşımlı, düşük kotlardan beslenen sulardır.
$\delta^{13}C$ izotop içeriklerine göre; sıcak sulardaki CO_2'in kökeni daha çok denizel kökenli karbonatlardan ya da metamorfik CO_2'den kaynaklanmaktadır. Fakat sıcak sulara manto kökenli CO_2 gazı da etkili olmuştur. Soğuk sulardaki CO_2'in kökeninin ise gölsel karbonatlar olduğu anlaşılmıştır. Döteryum izotopuyla hesaplanan beslenme alanı yüksekliği 240 m olarak bulunmuştur.

24. İnceleme alanında traverten yayılımları oldukça dikkat çekicidir. Yatay olarak yayılım gösteren yaşlı travertenleri dikine kesen çatlaklardan yüzeylenen sıcak suların oluşturduğu genç travertenler duvarımsı görünümdedir. Bazı sıcaksu çıkışları çevresinde yeni traverten oluşumları halen devam etmektedir. İnceleme alanında genç ve yaşlı travertenlerden yapılan örneklemeler sonucunda %CaO her iki örnekte de fazla değerler göstermiştir. $\%SiO_2$ değeri ise genç travertenlerde düşük, yaşlı travertenlerde ise yüksektir. Buna göre yaşlı travertenlerin, daha yüksek sıcaklıklı suların bıraktığı çökellerden oluştuğu söylenebilir. Travertenlerdeki düşük $\%Na_2O$ değerlerinin aksine yüksek %CaO değerleri Na ile Ca arasında meydana gelen katyon değişiminin bir göstergesi olabilir. Travertenlerde iz element olarak Sr ve Ba elementleri çok yüksek değerlerde olup analiz hatası olarak değerlendirilmiştir. Genç travertenlerin izotop içerikleri yaşlı travertenlere göre daha düşüktür. Dolayısıyla genç travertenleri oluşturan sıcak ve mineralli suların daha sığ ve hızlı dolaşımlı sular olduğu sonucuna varılmıştır.

25. Urganlı jeotermal alanında re-enjeksiyon çalışmaları hızlandırılmalı ve re-enjeksiyon çalışmaları sahanın güney kesiminde yapılmalıdır. Kabuklaşma özelliği gösteren sıcak ve mineralli sular işletilirken muhakkak inhibitör kullanılmalıdır. Sıcaksu sondajlarına göre hesaplanan 24.96 MW_t toplam görünür ısı potansiyeline göre mevcut kaplıca tesisleri sıcak sular yardımıyla ısıtılmalıdır. Jeotermal alanda koruma alanları belirlenip gereken kurallara uyulmalı ve mevcut işletmeler daha da modernize edilip hizmete sunulmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z., Çakır, M., H., "İzmir-Manisa dolaylarının jeolojisi", ***M.T.A, Ege Bölge Müdürlüğü Raporları***, ***Demirbaş No: Je179***, 10-30, 80-86, (1986).

[2] Arnorsson, S., "Isotopic and Chamical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use", ***IAEA publication***,***Vienna***, 351 pp., (2000).

[3] Avşaroğlu, M., "Türkiye Kaplıcaları ve İçmeleri Kılavuzu", ***Güneş Matbaacılık***, ***T.A.Ş Turizm ve Tanıtma Bakanlığı***, ***Ankara***, (1968).

[4] Başkan, E.M., Canik, B., "AIH Türkiye Sıcak ve Mineralli Sular Haritası Ege Bölgesi", ***M.T.A Matbaası Yayınları, No:189 , Ankara***, , 80s., (1983).

[5] Bayarı, C.S., Özyurt, N.N., ve Kilani, S., "Konya Kapalı Havzası Yer altı Suyunda Karbon-14 Yaş Dağılımı", ***II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu,*** Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İzmir, 147-168, 26-30 Eylül (2005).

[6] Bulut, M., Filiz, Ş., "Bayındır jeotermal sahasının hidrojeolojisi, hidrokimyası ve izotopik özellikleri (İzmir, Batı Anadolu, Türkiye)", ***M.T.A Dergisi,*** Sayı: 131, 63-78, (2005).

[7] Canik, B., "Hidrojeoloji", ***2. Baskı, Ertem Matbaası, Ankara,*** 229-252, (2003).

[8] Castany, G., "Yer altı Suları Hakkında Pratik Uygulamalar", Çeviri Editörleri: Karacadağ, K., Şeber, T.A., ***D.S.İ Matbaası, Yayın No: 638, Ankara***, 628-690, (1969).

[9] Calmbach, L., "AquaChem computer code, version-3.7.42, waterloo hydrogeologic", ***Waterloo, Ontario, Canada N2L 3L3,*** (1997).

[10] Clark, I.D., Fritz, P., "Environmental isotopes in hydrogeology", ***Lewis Publishers, Boca Raton,*** 328 pp., (1997).

[11] Craig, H., "Isotopic variations in meteoric waters", ***Science, Vol. 13***, 1702-1703, (1961).

[12] Çağlar, K.Ö., "Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları", ***M.T.A yayını***, ***Seri: B***, ***No: 11, Fasikül 2, Ankara,*** (1948).

[13] Çelik, Ö., "Urganlı (Turgutlu) jeotermal arama kuyuları bitirme testleri raporu", ***Enerson Mühendislik Ltd. Şti., (yayımlanmamış)***, Ankara, 1-19, (2008).

[14] Çevre ve Orman Bakanlığı, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", ***T.C.Ç.O.B, Ankara***, 1-21, (2004).

[15] Demirkıran, Z., Aksoy N., "EU-1 ve EU-2 nolu kuyu bitirme raporu", ***D.E.Ü T.M.Y.O, (yayımlanmamış)***, İzmir, 16s., (2005).

[16] Duru Ü.G., "Ziga-Yaprakhisar (Aksaray) sıcak ve mineralli kaynak alanlarındaki traverten çökeliminde etkili olan faktörlerin su kimyası ve izotopik yöntemlerle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Niğde, 16-68, (2006).

[17] Ercan, T., Matsuda J., Nagao, K. ve Kita, I., "Anadoluda'ki Sıcak Sularda Bulunan Doğal Gazların İzotopik Bileşimleri ve Karbondioksit Gazının Enerji Açısından Önemi", ***Türkiye 6. Enerji Kongresi,*** Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, İzmir, 197-206, 17-22 Ekim (1994).

[18] Filiz, Ş., "Ege bölgesindeki önemli jeotermal alanların ^{18}O, ^{2}H, ^{3}H, ^{13}C izotoplarıyla incelenmesi", Doçentlik Tezi, ***Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi***, İzmir, 33-87, (1982).

[19] Fournier, R.O., "Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy", Coordinator: D'Amore, F., ***Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP Publications, Rome***, 37-69, (1991).

[20] Gacaner, G., "District heating of Turgutlu region by geothermal resources", Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, 34-38, (1993).

[21] Gemici, Ü., Tarcan G., "Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey and examples of their environmental impacts", ***Springer-Verlag, Environmental Geology, 43***, 87-98, (2002).

[22] Giggenbach, W.F., "Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators", ***Geochim, Cosmochim***, Acta 52, 2749-2765, (1988).

[23] Giggenbach, W.F., "Collections and Analyses of Geothermal and Volkanic Water and Gas Discharge", Coordinator: D'Amore, F., ***Aplication of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP Publications, Rome***, 119-144, (1991).

[24] I.A.E.A, "Stable isotop hydrology, deuterium and oxygen-18 in water cycle", Editors: J.R. Gat, R., Gonfiantini, ***International Atomic Energy Agency, Technical Reports, No: 210***, Vienna, 339 pp., (1981).

[25] Karamanderesi, İ.H., "Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve jeotermal olanakları hakkında rapor", ***M.T.A, Derleme Rapor No: 5462 (yayımlanmamış)***, Ankara, 53s., (1972).

[26] Koçak, A., "Jeotermal Sistemler ve Hidrolojik Modelleme", Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı, Editörler: Savaşçın, M.Y., Güleç, N., Şişek, Ş., Parlaktuna, M., ***D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir***, 109-118, (2002).

[27] Langelier, W., Ludwig, H., "Graphical methods for indicating the mineral character of natural water", ***Am. Water Works Assoc. Jour.,*** v.34, 335-352, (1942).

[28] Lindal, B., "Industrial and other applications of geothermal energy", ***In Geothermal Energy, Review of Research and Devolopmant, Paris, UNESCO,*** L.C No:72-97138, 135-148, (1973).

[29] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri", ***M.T.A, Envanter Serisi-201, Ankara***, 564-568, (2005).

[30] Maghiar, T., Antal, C., "Power generation from low-enthalpy geothermal resources", ***Geo-Heat Center Quaterly Bulletin,*** Vol. 22, No:2, 35-45, (2001).

[31] Mırrıs, K.B., "Kimyasal Dengenin Prensipleri", Çeviri Editörü: Dinçer, A., ***Milli Eğitim Basımevi, İstanbul***, 1-42, (1971).

[32] Mizutani, Y., "Duraylı İzotop Jeokimyası", Çeviri Editörü: Sünger, Z., ***M.T.A Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir***, 26s.

[33] Mutlu, H., "Constraints on the origin of the Balikesir thermal waters (Turkey) from stable isotope ($\delta^{18}O$, δD, $\delta^{13}C$, $\delta^{34}S$) and major-trace element compositions", ***Turkish Journal of Earth Sciences***, Vol. 16, 13-32 (2007).

[34] Oksay, M., "Sıcaksu ihtiyacının tespiti", ***Tesisat Mühendisliği Dergisi***, Sayı: 93, 37-52, (2006).

[35] Özen, T., Tarcan, G., "Dikili-Kaynarca (İzmir) jeotermal sistemlerinin hidrojeolojik ve jeokimyasal değerlendirilmesi", ***D.E.Ü Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi***, Cilt: 7, Sayı: 2, 87-100, (2005).

[36] Pasvanoğlu S., "Bursa-Oylat Sıcak Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik Yönden İncelenmesi", ***K.O.Ü, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi***, ***Proje No: 2005/19***, 1-5, (2005).

[37] Pasvanoğlu S., Canik, B., Arıgün, Z., "Geothermal Potential of the Banaz-Hamamboğazı Thermal and Mineral Waters", ***Proceedings, World Geothermal Congress 2005***, Türkiye Jeotermal Derneği ve International Geothermal Association (IGA), 8pp., 24-29 Nisan (2005).

[38] Pasvanoğlu S., Gültekin, F., "Terme (Kırşehir) ve Kozaklı (Nevşehir) Sıcak ve Mineralli Sularının Karşılaştırmalı İncelenmesi" ***TÜBİTAK Proje Sonuç Raporu, Proje No: 104Y167, (yayımlanmamış),*** 164s., (2009).

[39] Piper, A.M., "A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses", ***American Geophysical Union Transactions***, v.25, 914-923, (1944).

[40] Reed, M., Spycher, N., "Calculation of pH and Mineral Equilibria in Hiydrotermal Waters With Aplication to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution", ***Geochim, Cosmochim,*** Acta 48, 1479–1492, (1984).

[41] Sağlık Bakanlığı, "Kaplıcalar Yönetmeliği", ***T.C.S.B, Ankara***, 17s., (2004).

[42] Satman, A., "Jeotermal Enerjinin Doğası", ***Teskon 2003 Kongreleri, Jeotermal Enerji Semineri***, TMMO Makine Mühendisleri Odası, İzmir, 3-15, 8-11 Ekim (2003).

[43] Schoeller, H., "Yeraltısuları", Çeviri Editörü: Karacadağ K., ***Dizerkonca Matbaası, İstanbul,*** 318-388, (1973).

[44] Şahinci, A., "Doğal Suların Jeokimyası", ***Reform Matbaası, İzmir***, 98-254, 316-544, (1991a).

[45] Şahinci, A., "Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri", ***Reform Matbaası, İzmir***, 71-150, 195-245, (1991b).

[46] Şener Ç., Erdoğan, R.A., ve Özgüler, M.E., "Türkiye'deki Jeotermal Alanların Araştırılmasında Jeofizik Çalışmalar", ***MTA Dergisi,*** Sayı: 107, 152-168 (1986).

[47] Şimşek, Ş., Güleç, N., "Geothermal Fields of Western Anatolia", ***International Volcanological Congress, IAVCEI, Excursion Guide***, Ankara, 1-10, 17-22 Eylül, (1994).

[48] Tarcan, G., "Hydrogeological study of the Turgutlu hot springs", Doktora Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, 51-170, (1995).

[49] Tarcan, G., Filiz, Ş., "Turgutlu (Manisa) kaplıcaları sıcak ve mineralli sularındaki sodyum bikarbonat zenginleşmesi", ***Jeoloji Mühendisliği Dergisi,*** Sayı: 52, 42-49, (1998).

[50] Tarcan, G., Filiz, Ş., Gemici, Ü., "Salihli (Manisa) jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesi", ***Türkiye Petrol Jeologları Dergisi,*** Cilt: 10, 61-86, (1998).

[51] Tarcan, G., "Jeotermal Su Kimyası", Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı, Editörler: Savaşçın, M.Y., Güleç, N., Şişek, Ş., Parlaktuna, M., ***D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir***, 198-247, (2002).

[52] Tarcan G., Gemici, Ü., "Effects of the contaminants from Turgutlu-Urganlı thermomineral waters on cold ground and surface waters", ***Springer Science, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 74***, 485-492, (2005).

[53] Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., "Hydrogeological and geochemical assesment of the Gediz graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey", ***Springer-Verlag, Environmental Geology, 47***, 523-534, (2005).

[54] Tarkan, Ş., "Urganlı kaplıcaları (Turgutlu-Manisa) alg popülasyonunun incelenmesi ve su kalitesinin değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** İzmir, 1-22, (2000).

[55] Throntwhite, C.W., "An approach a rational classification of climate", The Geographical Review, volume: 38, New York, 55-94, (1948).

[56] Türk Standartları Enstitüsü, "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik", ***TSE, 266, Ankara***, 20s., (2005).

[57] Ürgün, S., "Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve termal suların hidrojeolojik etüdü", ***M.T.A, Derleme Rapor No: 4679, (yayımlanmamış)***, (1966).

[58] Vural S., Pasvanoğlu, S., Yılmazer S., Yakabağ, A., "Urganlı (Turgutlu) Sıcak ve Mineralli Sularının İzotoplarla İncelemesi", ***III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu,*** Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, 255-271, 13-17 Ekim (2008).

[59] Vural, S., Pasvanoğlu, S., Yılmazer, S., Yakabağ, A., "Urganlı (Turgutlu) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi", ***III. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, Bildiriler ve Özetler,*** Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Bursa, 61, 16-18 Ekim (2008).

[60] Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L., Kanan, E., "Türkiye Maden Suları, Ege Bölgesi", Cilt No:3, ***İ.Ü. Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü***, 256-267, (1975).

[61] Yıldırım, N., "Jeotermal Araştırmalarda Jeokimyasal Yöntemler" ***Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu,*** İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara, 101-122, 20-22 Kasım (2000).

[62] Yılmazer, S., "Ege bölgesindeki bazı sıcak su kaynaklarının hidrojeoloji ve jeokimyasal incelemeleri", Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, 1-20, 98-116, (1984).

[63] Yılmazer, S., "Balçova kaplıcalarının (İzmir) jeokimyasal özellikleri ve alanın jeotermal enerji olanakları", Doktora Tezi, ***Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Antalya, 74-115, 145-148, (1989).

[64] Yılmazer, S., "Batı Anadolu'nun Görünür Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Değerlendirilmesi", ***Türkiye 7. Enerji Kongresi***, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, O.D.T.Ü. Kültür ve Kongre Merkezi, Cilt: 3, Ankara, 219-231, 3-8 Kasım (1997).

[65] Yılmazer S., Yakabağ, A., "Urganlı-Turgutlu (Manisa) sıcak su araştırma raporu", ***Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti., Şirket Rapor No: 224, (yayımlanmamış)***, İzmir, 46s., (2005).

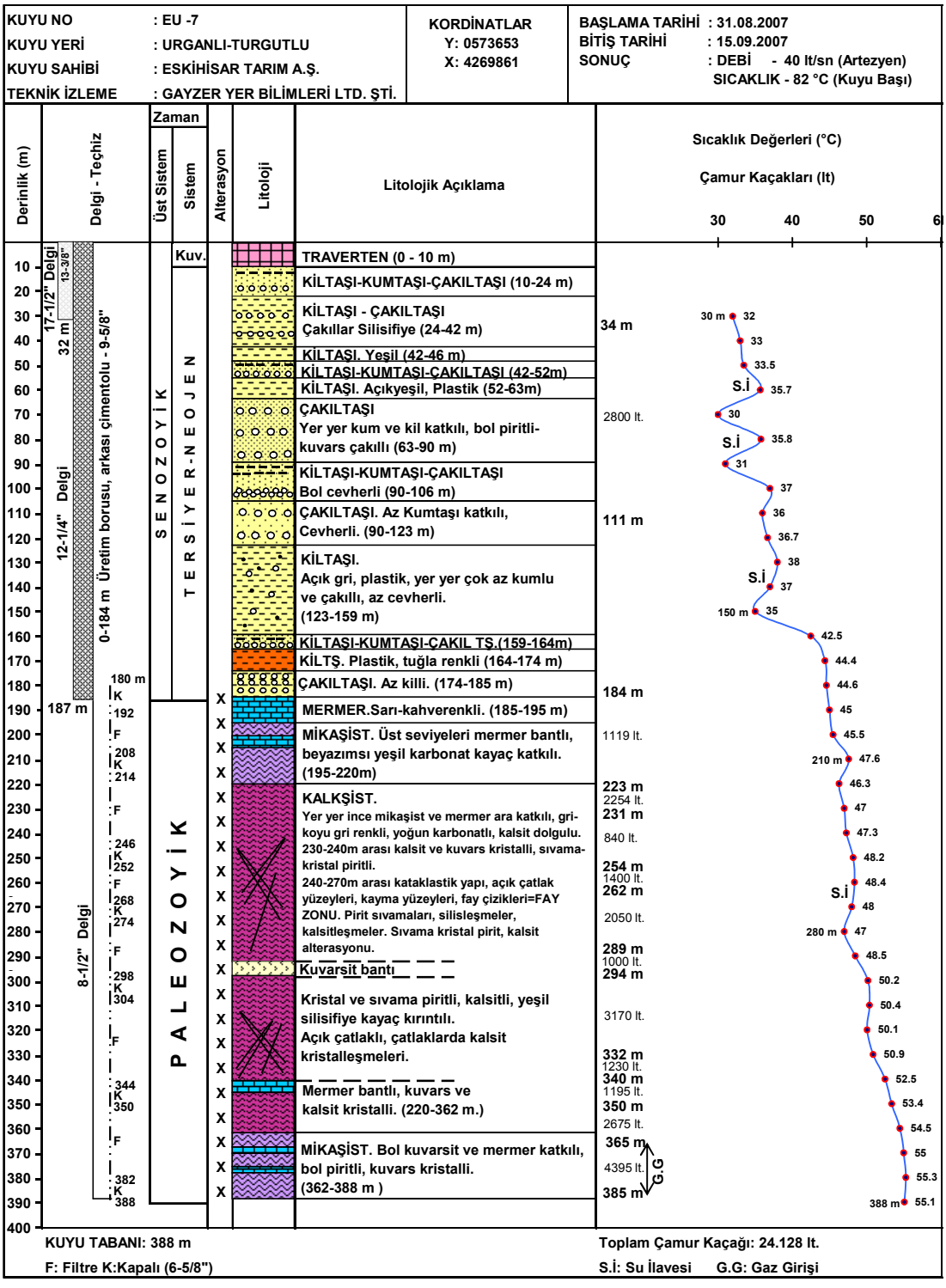
[66] Yılmazer S., Vural S., "Urganlı jeotermal alanında yapılan test çalışmaları", ***Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti., Şirket Rapor No: 263,(yayımlanmamış)***, İzmir, 18s., (2008).

[67] Yılmazer, S., Pasvanoğlu, S., Yakabağ, A., Vural, S., "Urganlı Jeotermal Alanının (Turgutlu-Manisa) Jeolojisi ve Sondaj Verileri Işığında Yeniden Değerlendirilmesi", ***Termal ve Maden Suları Konferansı***, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Afyon, 151-165, 24-25 Nisan (2008).

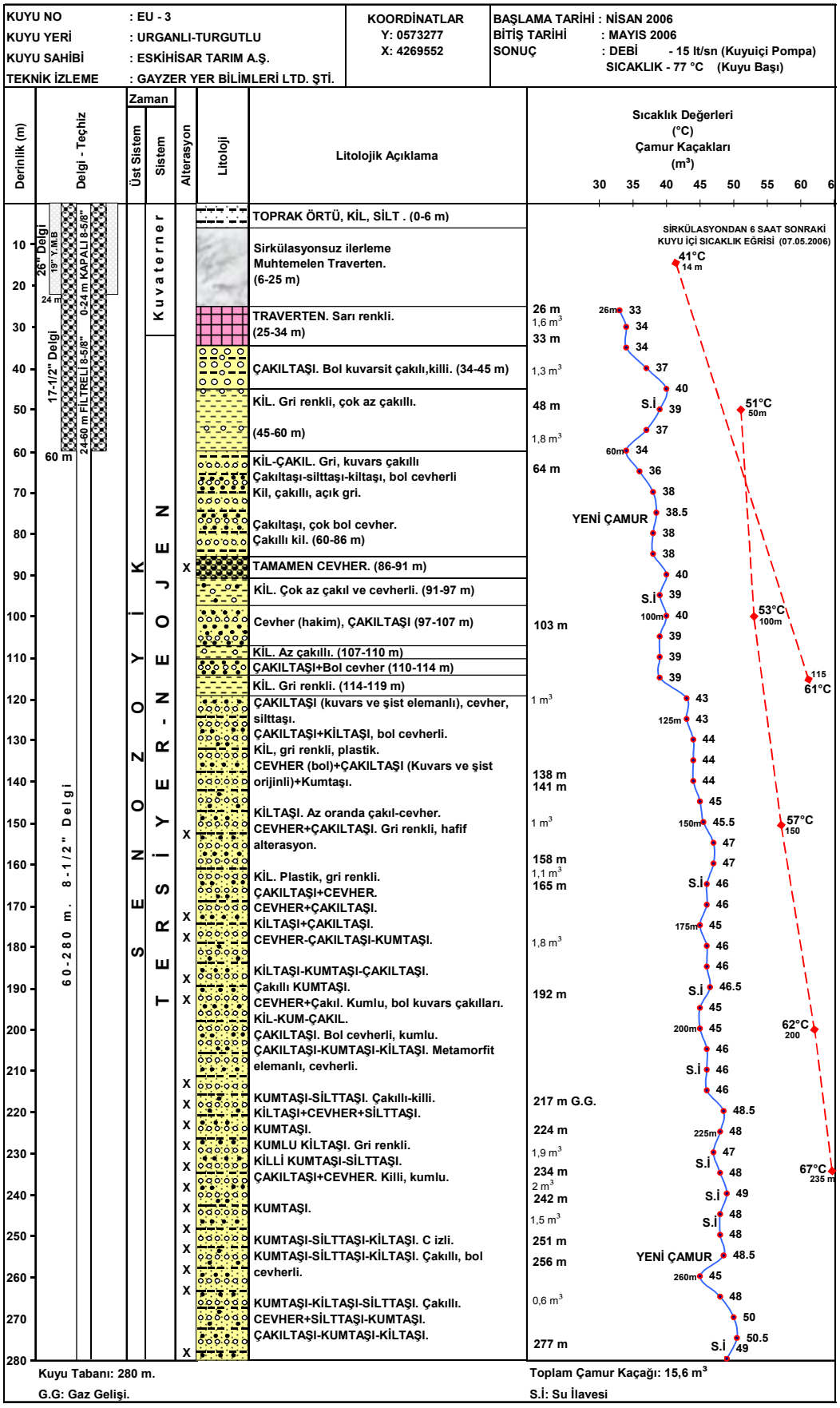
[68] Yılmazer, S., "Kentimizde Jeotermal Enerjinin Anlamı ve Değerlendirilmesi", ***İzmir Kent Sempozyumu***, TMMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir, 155-161, 8-10 Ocak (2009).

EKLER

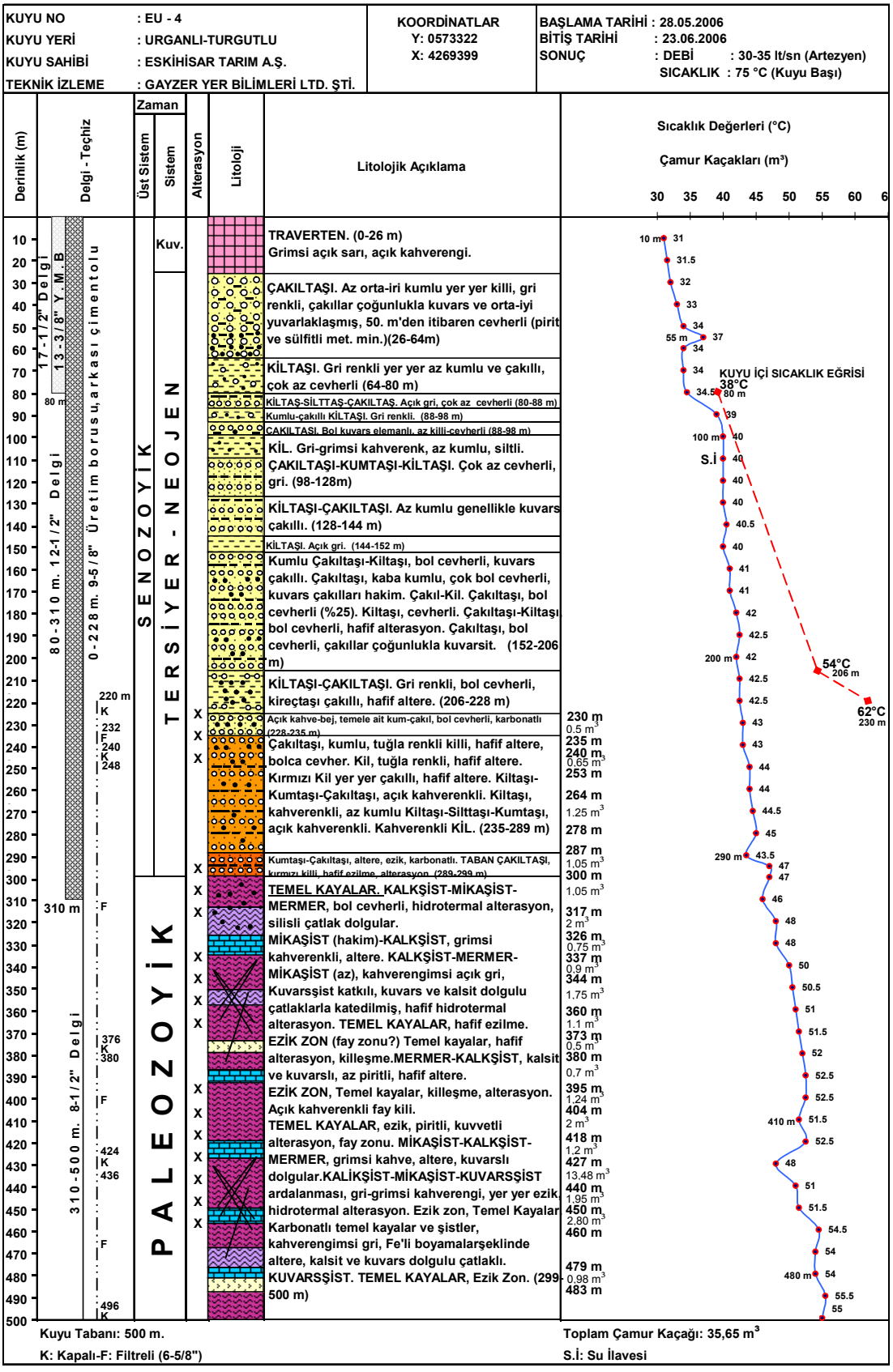
EK-A: Urganlı Jeotermal Alanı Sıcaksu Sondajlarına Ait Kuyu Logları



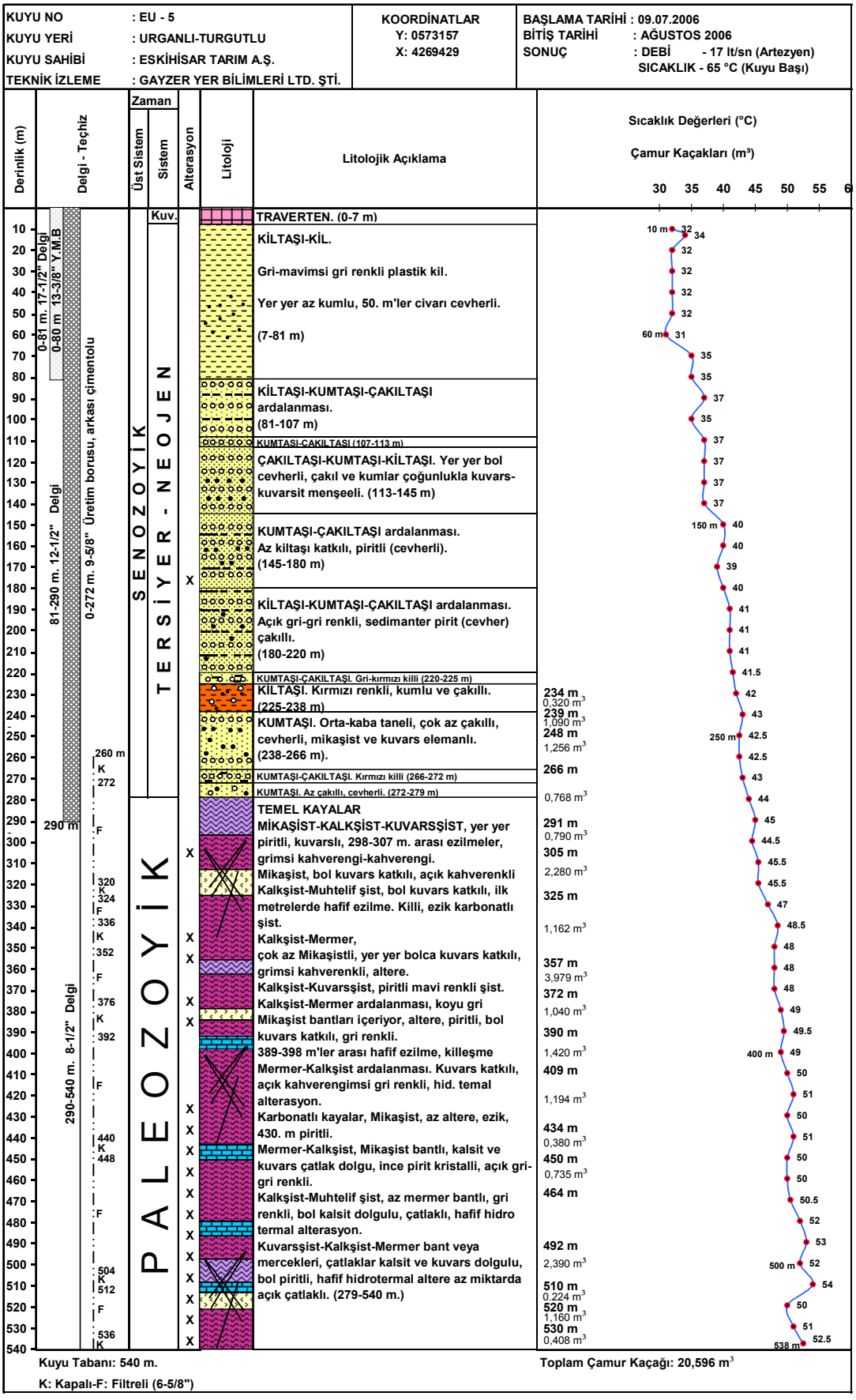
Şekil A.1: EU-7 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



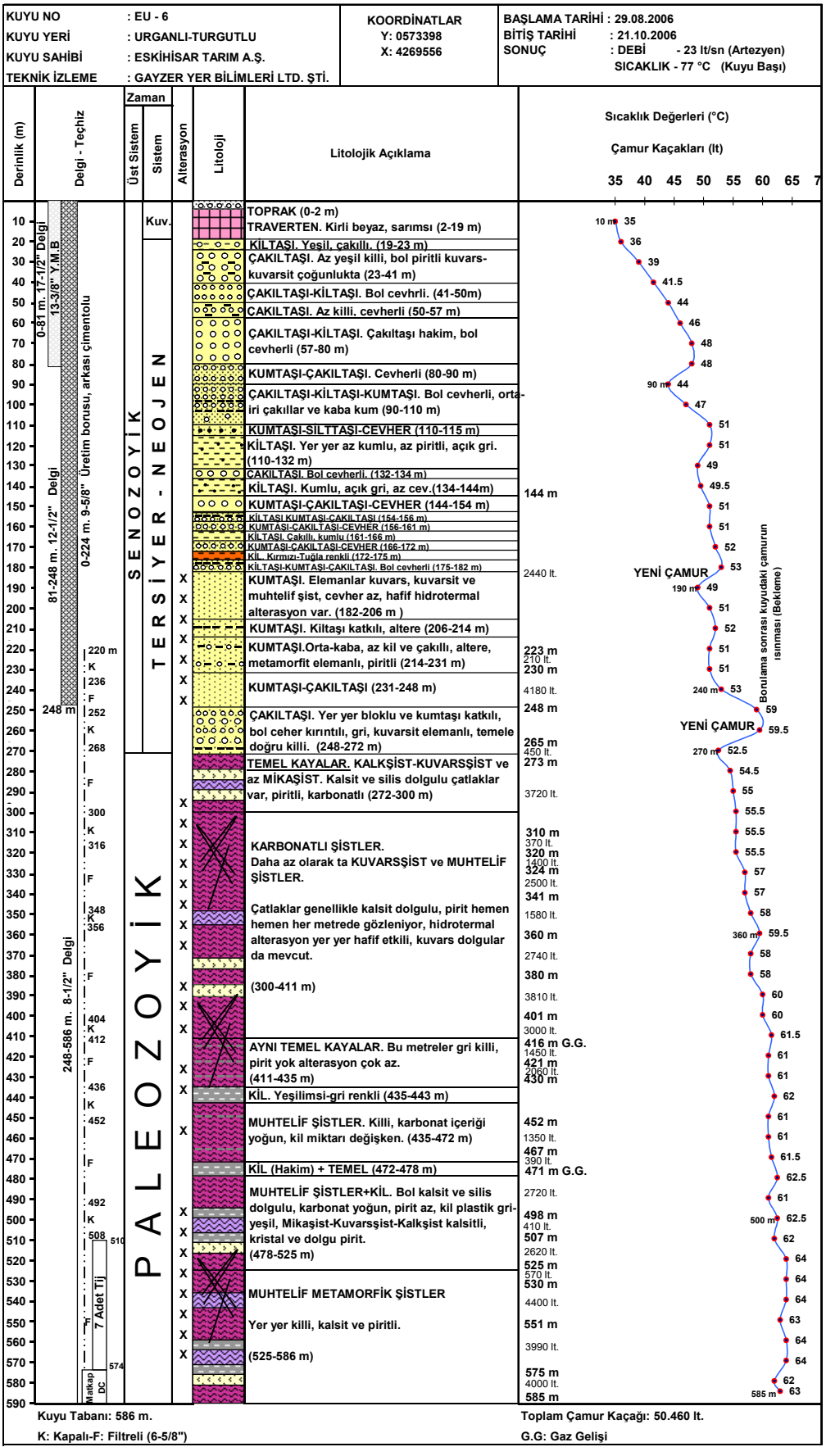
Şekil A.2: EU-3 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



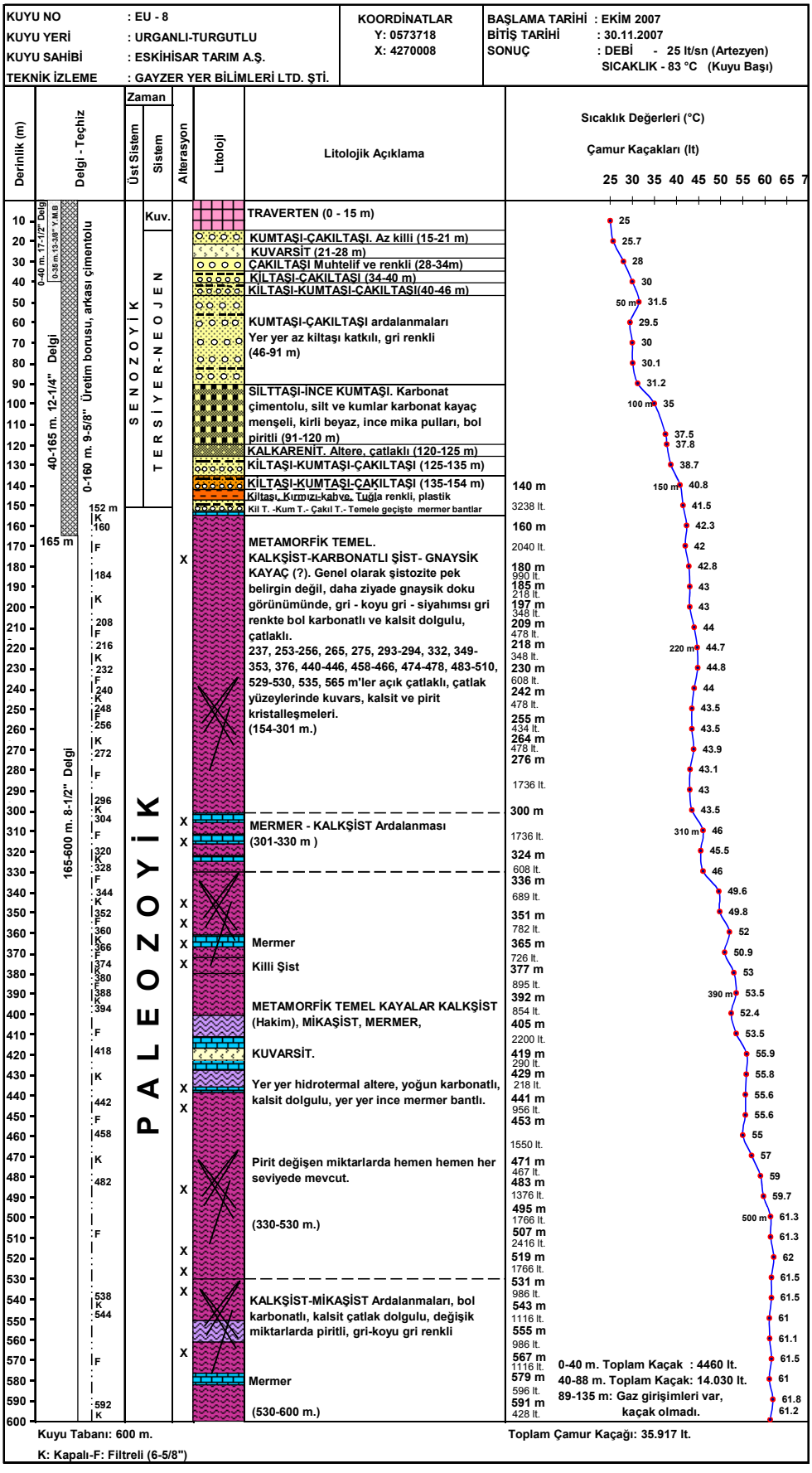
Şekil A.3: EU-4 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



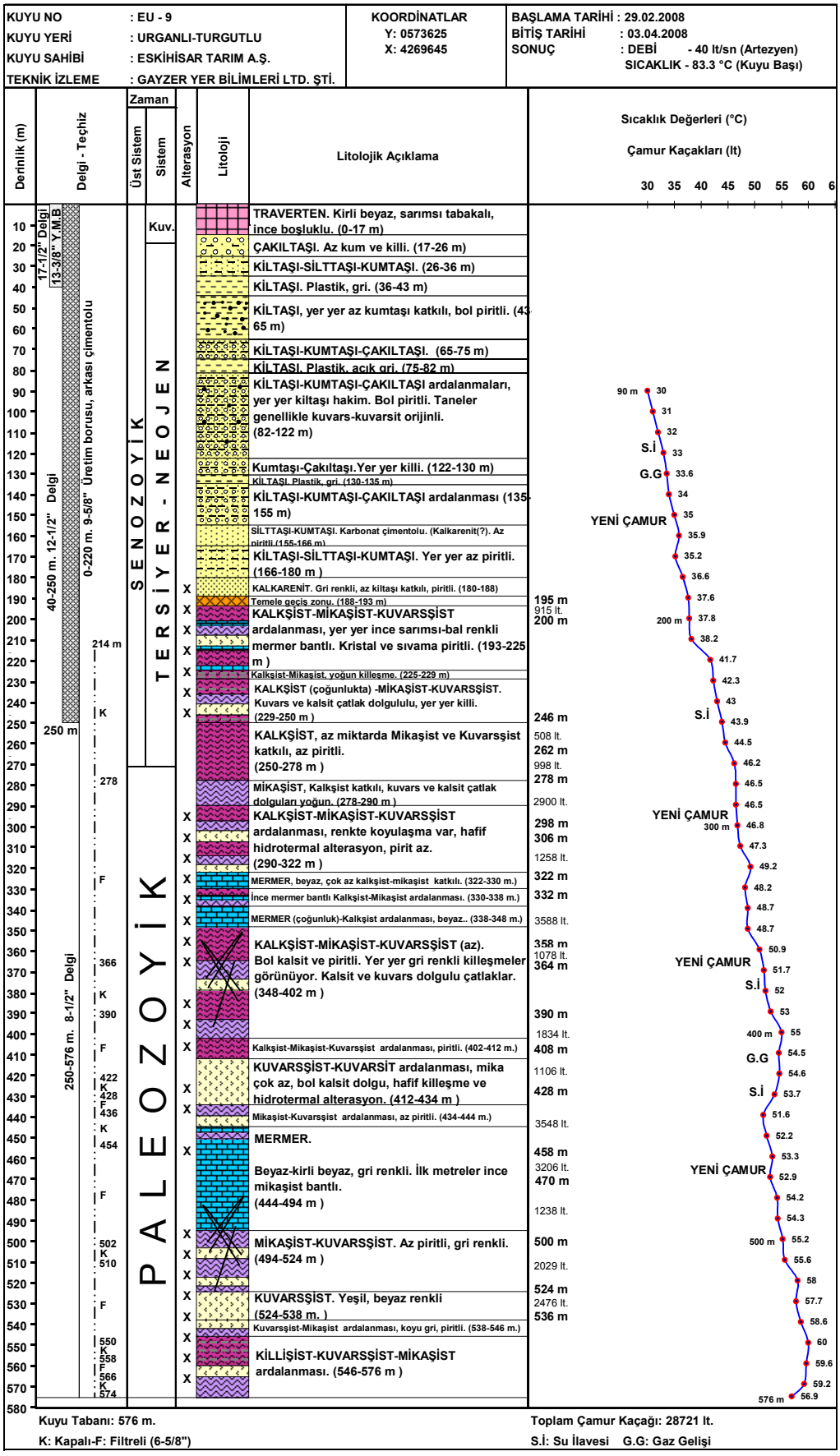
Şekil A.4: EU-5 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



Şekil A.5: EU-6 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



Şekil A.6: EU-8 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu



Şekil A.7: EU-9 nolu sıcaksu sondajına ait kuyu logu

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Muğla ili Yatağan ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Muğla Kavaklıdere Cumhuriyet ilköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Denizli Endüstri Meslek Lisesi Mermer Teknolojisi ve Süsleme Taşçılığı bölümünde tamamladıktan sonra 2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksek Okulu Mermercilik bölümünü bitirdi. 2002 yılında dikey geçiş sınavı ile girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. 2007 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans'a başlayarak 2009 yılında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2007 yılından beri İzmir'de Gayzer Yer Bilimleri Ltd. Şti. bünyesinde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmaktadır.