

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOSUNLAR JEOTERMAL SAHASININ (DENİZLİ)
HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDEM SUBAY

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TOSUNLAR JEOTERMAL SAHASININ (DENİZLİ)
HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDEM SUBAY

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

ERDEM SUBAY tarafından hazırlanan “Tosunlar Jeotermal Sahasının (Denizli) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 06.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ

Üye
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Üye
Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL


.....

.....

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
04/09/2019 tarih ve 35/19 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2016FEBE048 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ERDEM SUBAY



ÖZET

TOSUNLAR JEOTERMAL SAHASININ (DENİZLİ) HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu çalışmada, Denizli il merkezinin 20 kilometre kuzeydoğusunda bulunan Tosunlar jeotermal sahasının yanında Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli ve Yenicekent jeotermal sahası suları da örneklenerek su kimyası yönünden karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır.

İnceleme alanı jeotermal sahalarında rezervuar kaya, Paleozoyik yaşlı Menderes masifi metamorfileri ile Neojen yaşlı Sazak formasyonudur. Örtü kaya ise Neojen yaşlı Kızılburun, Kolonkaya ve Tosunlar formasyonları geçirimsiz birimleri temsil eder. Akça Enerji Otoprodüktör Grubu A.Ş. bünyesinde olan Tosunlar sahasında sıcakları ise 87-102 santigrad derece ve debileri 0 ile 500 ton/saat arasında değişen iki üretim ve iki reenjeksiyon kuyusundan enerji üretimi ve sera ısıtmacılığında yararlanılmaktadır. Bu kuyuların test sonuçlarından, kuyulara rezervuarın farklı derinliklerinde farklı sıcaklıkta jeotermal akışkan girişi olduğu anlaşılmıştır.

İnceleme alanında örneklenen termal suların sıcaklıkları 33,9 ile 98,0 santigrad derece, elektriksel iletkenlikleri 2,39 ile 4,82 mikrosiemens/santimetre ve pH değerleri 6,19-7,77 arasında değişmektedir. Termal sular genellikle Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipindedir. Termal suların delta18O değerleri binde -8,01 ile -9,28 ve delta2H değerleri binde -55,17 ile -60,82 arasında olup meteorik kökenlidirler. Düşük trityum değerleri termal suların yeraltındaki sirkülasyon sürelerinin 50 yıldan fazla olduğuna işaret etmektedir. Suların delta34S ve delta13C (DIC) değerleri, sulardaki kükürdün kaynağının olasılıkla kireçtaşları içindeki CaSO₄, karbonun kaynağının ise metamorfik CO₂ olduğunu göstermektedir. PhreeqC programı ile yapılan hesaplamalarda inceleme alanı termal sularının örnekleme koşullarında kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerince doymun olduğu belirlenmiştir. Alınan kabuk örneklerinin XRD analizinde kalsit, aragonit, dolomit, kuvars ve jips mineralleri saptanmıştır. İnceleme alanı sıcak sularına uygulanan kimyasal ve izotop jeotermometre sonuçlarına göre sahalar için; Pamukkale 63-69 santigrad derece, Karahayıt 75-104 santigrad derece, Gölemezli 90-155 santigrad derece, Yenicekent 79-93 santigrad derece ve Tosunlar 115-166 santigrad derece civarında rezervuar sıcaklıkları öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Sarayköy Tosunlar, hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal

ABSTRACT

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF TOSUNLAR GEOTHERMAL FIELD (DENİZLİ)

MSC THESIS

ERDEM SUBAY

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
GEOLOGICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİ GÖKGÖZ)

DENİZLİ, AUGUST 2019

In this study, it is aimed to make comparison of water chemistry in terms of sampling of the waters of Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli and Yenice geothermal fields as well as Tosunlar geothermal field located 20 kilometers northeast of Denizli city center.

The reservoir rock of geothermal fields are Paleozoic Menderes massif metamorphics and Neogene Sazak formation. The cover rock represents the impermeable units of Neogene aged Kızılburun, Kolonkaya and Tosunlar formations. Akça Energy Autoproducer Group A.Ş is operating the geothermal wells which rate 87-102 degrees Celsius and flow rates between 0 and 500 tons/hour for energy production and greenhouse heating. From the test results of these wells, it was understood that geothermal fluid inflow into the wells at different depths of the reservoir at different temperatures. The temperatures of the thermal waters sampled in the study area between 33.9 and 98.0 degrees celsius, electrical conductivity between 2.39 and 4.82 microsiemens/centimeters and pH values between 6.19-7.77. Thermal waters are generally of the Na-Ca-HCO₃-SO₄ type. The delta¹⁸O values of thermal waters are between -8.01 and -9.28 per thousand and the delta²H values are between -55.17 and -60.82 per thousand that come from meteoric origin. Low tritium values indicate that the circulating periods of thermal waters are more than 50 years. The delta³⁴S and delta¹³C (DIC) values of the waters indicate that the source of sulfur in the waters is probably CaSO₄ within the limestones and the source of carbon is metamorphic CO₂. PhreeqC program's calculations, the thermal waters of the study area were found to be saturated by calcite, aragonite, dolomite and quartz minerals under sampling conditions. Calcite, aragonite, dolomite, quartz and gypsum minerals were determined in XRD analysis of the crust samples. According to the results of chemical and isotope geothermometers applied to the hot waters of the study area; reservoir temperatures are predicted around Pamukkale 63-69, Karahayıt 75-104, Gölemezli 90-155, Yenicekent 79-93 and Tosunlar 115-166 degrees celsius.

KEYWORDS: Sarayköy Tosunlar, hydrogeology, hydrogeochemistry, geothermal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 İnceleme Alanının Yeri.....	1
1.2 Amaç	1
1.3 Önceki Çalışmalar	2
1.4 Yöntem.....	8
2. JEOLOJİ	10
2.1 Stratigrafi.....	10
2.1.1 Paleozoyik.....	10
2.1.2 Neojen.....	13
2.1.3 Kuvaterner	16
2.2 Yapısal Jeoloji	19
2.2.1 Genel Yapısal Jeoloji.....	19
2.2.2 Denizli Havzasının Tektoniği	20
3. HİDROJEOLOJİ	24
3.1 Hidrolojik Bilanço	24
3.2 Hidrojeoloji Birimleri	27
3.2.1 Geçirimli Birimler	27
3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler	28
3.2.3 Geçirimsiz Birimler	28
3.3 Tosunlar Jeotermal Sahasının Oluşumu.....	28
3.4 Su Noktaları.....	30
4. KUYU TESTLERİ	37
4.1 Jeotermal Kuyularda Yapılan Testler	37
4.2 Tosunlar Jeotermal Sahasında Bulunan Kuyuların Test Sonuçları	39
4.2.1 AK-1 Kuyusuna Ait Test Sonuçları	39
4.2.2 AK-2 Kuyusuna Ait Test Sonuçları	49
4.2.3 AK-3 Kuyusuna Ait Test Sonuçları	54
4.2.4 AK-6 Kuyusuna Ait Test Sonuçları	63
5. HİDROKİMYA	74
5.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri	74
5.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri	75
5.2.1 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması.....	75
5.3 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları	84
5.4 Termal Suların Mineral Doygunlukları	88
6. JEOTERMOMETRİ	90
6.1 Kimyasal Jeotermometreler.....	90
6.1.1 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler.....	91
6.1.2 İyon değişimine bağlı jeotermometreler.....	91
6.1.3 İyon etkinliğine bağlı jeotermometreler	92

6.2	Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları	93
6.3	Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi.....	95
7.	KABUK MİNERALOGİSİ VE JEOKİMYASI.....	96
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	102
9.	KAYNAKLAR	104
10.	ÖZGEÇMİŞ.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2: Arazide örnekleme çalışması ve EC, pH, sıcaklık ölçümü.....	9
Şekil 2.1: Çalışma alanlarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.	11
Şekil 2.2: Çalışma alanı jeoloji haritası, ruhsat alanı ve örnekleme noktaları ..	12
Şekil 2.3: Kolonkaya Formasyonundan bir görünüm.	15
Şekil 2.4: Travertenlerden bir görünüm.....	18
Şekil 2.5: Sarayköy-Buldan-Yenicekent alanının yapısal jeolojik blok diyagramı.	21
Şekil 2.6: Denizli havzasında son yüzyılda meydana gelen depremler ve faylarla olan ilişkisi	23
Şekil 3.1: Denizli il merkezi için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerlerinin yıllara göre dağılımı.	24
Şekil 3.2: Bazı örnekleme alanlarından görünüm.....	31
Şekil 3.3: AK-1 teçhizli litolojik kuyu logu.....	33
Şekil 3.4: AK-2 teçhizli litolojik kuyu logu.....	34
Şekil 3.5: AK-3 teçhizli litolojik kuyu logu.....	35
Şekil 3.6: AK-6 teçhizli litolojik kuyu logu.....	36
Şekil 4.1: Tosunlar jeotermal sahasındaki kuyuların lokasyonu	40
Şekil 4.2: AK-1 kuyusu statik sıcaklık grafiği.....	41
Şekil 4.3: AK-1 kuyusu statik basınç grafiği.	41
Şekil 4.4: AK-1 water loss grafiği.....	42
Şekil 4.5: AK-1 water loss-Statik sıcaklık grafiği.	42
Şekil 4.6: AK-1 dinamik sıcaklık grafiği.	43
Şekil 4.7: AK-1 dinamik basınç grafiği.....	44
Şekil 4.8: AK-1 dinamik basınç–statik basınç grafiği.....	44
Şekil 4.9: AK-1 build-up grafiği.	45
Şekil 4.10: AK-1 çok debili enjeksiyon grafiği.	46
Şekil 4.11: AK-1 fall off zaman grafiği.....	46
Şekil 4.12: AK-1 çok debili enjeksiyon ve fall off zaman grafiği.	47
Şekil 4.13: AK-1 injektivite indeksi grafiği.	47
Şekil 4.14: AK-1 kuyusu üretim grafiği.	48
Şekil 4.15: AK-2 statik sıcaklık grafiği.....	49
Şekil 4.16: AK-2 statik basınç grafiği.	50
Şekil 4.17: AK-2 water loss grafiği.....	50
Şekil 4.18: AK-2 water loss-statik sıcaklık grafiği.	51
Şekil 4.19: AK-2 çok debili enjeksiyon grafiği.	52
Şekil 4.20: AK-2 fall off zaman grafiği.....	52
Şekil 4.21: AK-2 çok debili enjeksiyon ve fall off zaman grafiği.	53
Şekil 4.22: AK-2 injektivite indeksi grafiği.	53
Şekil 4.23: AK-3 statik sıcaklık grafiği.	55

Şekil 4.24: AK-3 statik basınç grafiği.....	56
Şekil 4.25: AK-3 statik sıcaklık ve basınç grafiği.	56
Şekil 4.26: AK-3 water loss grafiği.	57
Şekil 4.27: AK-3 water loss statik sıcaklık grafiği.	57
Şekil 4.28: AK-3 tek debili enjeksiyon grafiği.....	58
Şekil 4.29: AK-3 i.i grafiği.....	58
Şekil 4.30: AK-3 fall off grafiği.	59
Şekil 4.31: AK-3 TDE ve fall off grafiği.	59
Şekil 4.32: AK-3 dinamik sıcaklık grafiği.	60
Şekil 4.33: AK-3 dinamik basınç grafiği.	60
Şekil 4.34: AK-3 build up grafiği.	61
Şekil 4.35: AK-3 WHP (well head pressure) grafiği.	61
Şekil 4.36: AK-3 üretim grafiği.....	62
Şekil 4.37: AK-6 statik sıcaklık grafiği.	64
Şekil 4.38: AK-6 statik basınç grafiği.....	65
Şekil 4.39: AK-6 statik sıcaklık ve basınç grafiği.	65
Şekil 4.40: AK-6 dinamik sıcaklık ve basınç grafiği.....	66
Şekil 4.41: AK-6 water-loss grafiği.....	67
Şekil 4.42: AK-6 tek debili enjeksiyon testi grafiği.	68
Şekil 4.43: AK-6 çok debili enjeksiyon testi grafiği.	69
Şekil 4.44: AK-6 enjeksiyon endeksi grafiği.	70
Şekil 4.45: AK-6 silencer-savak üretim testi grafiği.	71
Şekil 5.1: İnceleme alanı sularının Schoeller diyagramı.....	80
Şekil 5.2: İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.....	81
Şekil 5.3: Sulardaki sıcaklık, EC, iyon ve bazı element değerlerinin klorürle değişimleri.....	82
Şekil 5.4: Sulardaki pH, EC, iyon ve bazı element değerlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	83
Şekil 5.5: Suların $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı.	87
Şekil 5.6: Çeşitli doğal ortamlar için $\delta^{13}C$ değerleri ve termal suların dağılımı.	87
Şekil 5.7: Çeşitli doğal ortamlar için $\delta^{34}S$ değerleri ve termal suların dağılımı....	88
Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Giggenbach (1988) diyagramında dağılımı....	94
Şekil 7.1: İnceleme alanı sularının Giggenbach (1988) diyagramında dağılımı.....	98
Şekil 7.2: Göl-1 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.	99
Şekil 7.3: Göl-2 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.	99
Şekil 7.4: DG-3 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.	100
Şekil 7.5: YK-5 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.	100
Şekil 7.6: KH-3 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.	101

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: İnceleme alanının 1950-2010 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu.....	26
Tablo 4.1: AK-1 kuyusu statik sıcaklık değerleri.....	40
Tablo 4.2: AK-1 kuyusu statik basınç değerleri.....	41
Tablo 4.3: AK-1 water loss değerleri.....	42
Tablo 4.4: AK-1 dinamik sıcaklık değerleri.....	43
Tablo 4.5: AK-1 dinamik basınç değerleri.....	43
Tablo 4.6: AK-1 build-up değerleri.....	45
Tablo 4.7: AK-1 çok debili enjeksiyon değerleri.....	45
Tablo 4.8: AK-1 fall off değerleri.....	46
Tablo 4.9: AK-1 üretim değerleri.....	48
Tablo 4.10: AK-2 statik sıcaklık değerleri.....	49
Tablo 4.11: AK-2 statik basınç değerleri.....	49
Tablo 4.12: AK-2 water loss değerleri.....	50
Tablo 4.13: AK-2 çok debili enjeksiyon değerleri.....	51
Tablo 4.14: AK-2 fall off değerleri.....	52
Tablo 4.15: AK-3 statik sıcaklık değerleri.....	54
Tablo 4.16: AK-3 statik basınç değerleri.....	55
Tablo 4.17: AK-3 water loss değerleri.....	56
Tablo 4.18: AK-3 tek debili enjeksiyon değerleri.....	57
Tablo 4.19: AK-3 TDE fall off değerleri.....	58
Tablo 4.20: AK-3 dinamik sıcaklık değerleri.....	59
Tablo 4.21: AK-3 dinamik basınç değerleri.....	60
Tablo 4.22: AK-3 build up değerleri.....	61
Tablo 4.23: AK-3 üretim değerleri.....	62
Tablo 4.24: AK-6 statik sıcaklık değerleri.....	63
Tablo 4.25: AK-6 statik basınç değerleri.....	64
Tablo 4.26: AK-6 dinamik sıcaklık ve basınç değerleri.....	65
Tablo 4.27: AK-6 water loss değerleri.....	66
Tablo 4.28: AK-6 enjeksiyon ve fall-off değerleri.....	67
Tablo 4.29: AK-6 çok debili enjeksiyon ve fall-off değerleri.....	69
Tablo 4.30: AK-6 debi-basınç değerleri.....	71
Tablo 4.31: AK-6 savak debi değerleri.....	72
Tablo 5.1: İnceleme alanı sularının analiz sonuçları (Elektriksel iletkenlik EC: $\mu\text{mho/cm}$, Eh: mV, pH: standart birim, diğerleri mg/l'dir).....	76
Tablo 5.2: İnceleme alanı sularının bazı element analiz sonuçları (ppb).....	76
Tablo 5.3: İnceleme alanı sıcak ve soğuk sularının izotop değerleri.....	86
Tablo 5.4: İnceleme alanı sularının çeşitli minerallere göre doyma indisleri.....	89
Tablo 6.1: Jeotermometre bağıntılarına ilişkin referanslar.....	92
Tablo 6.2: Çeşitli jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$).....	93

Tablo 6.3: Oksijen izotop jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.
.....95

Tablo 7.1: Kabuk örneklerinin majör oksit (%) ve element içerikleri (ppm)...97

SEMBOL LİSTESİ

km	:	Kilometre
km²	:	Kilometre kare
m	:	Metre
ml	:	Mililitre
m³/s	:	metreküp/saniye
l/s	:	litre/saniye
°C	:	Santigrat Derece
mm	:	Milimetre
µm	:	Mikrometre
µS/cm	:	Mikrosiemens/santimetre
µmho/cm	:	Mikromho/santimetre
µg/l	:	Mikrogram/litre
mg/l	:	Miligram/litre
mek/l	:	Miliekivalan/litre
mol/l	:	mol/litre
D	:	Döteryum
DIC	:	Dissolved inorganic carbon
%	:	Yüzde
‰	:	Binde
TU	:	Trityum unit
VSMOW	:	Vienna Standard Mean Ocean Water
SMOW	:	Global Meteorik Su Çizgisi
t/s	:	ton/saat
lt/sn	:	litre/saniye
WHP	:	Well Head Pressure (Kuyu başı basıncı)
Psi	:	Pounds Per Square Inch (İnç kare başına düşen pound biriminden basınç)
bar	:	bar (basınç)
m	:	metre
cm	:	santimetre
m³	:	metreküp
II	:	Injectivity Index (Enjektivite Endeksi)
PI	:	Productivity Index (Üretim Endeksi)

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Denizli il merkezi kuzeyinde bulunan Tosunlar, Yenicekent, Gölemezli, Pamukkale ve Karahayit jeotermal sahalarındaki termal suların kimyasal özelliklerini, sınıflarını, kökenlerini, aralarındaki ilişkileri, çeşitli hidrotermal minerallere göre doygunluk durumlarını belirlemek ve sıcak suların rezervuar sıcaklığına bir yaklaşım sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda, çalışma alanında örneklenen sıcak sulardan yerinde ölçüm, örnekleme ve laboratuvar analizleri yapılmış, sonuçlar bilgisayar yazılımları yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile inceleme alanlarındaki jeotermal sondajlarda yüzeyde oluşan kabuklaşma türleri kapsamlı olarak ilk kez ortaya konmuştur.

Yüksek lisans tez çalışmasının her safhasında değerli görüş ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, tezin tamamlanmasında maddi ve manevi destek olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ'e en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri, 2016FEBE048 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Tosunlar 23 nolu jeotermal işletme ruhsatlı sahada gerekli arazi çalışmalarını için izin veren Akça Enerji Otoprodüktör Grubu Anonim Şirketi yöneticisi Sayın Osman AKÇA'ya desteklerini esirgemeyen değerli eski çalışma arkadaşlarım Makine Mühendisi Özgür TOKU ve Yüksek Kimyager Bekir Süleyman SANDAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında bana destek olan sevgili eşim Arş. Gör. Özlem Özdeşim SUBAY'a ve tüm yaşantım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen kıymetli annem Vildan SUBAY'a ve sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında, Denizli İli, Sarayköy İlçesi, Tosunlar Mahallesi civarında Akça Enerji Üretim Otoprodüktör Grubu A.Ş. bünyesinde bulunan 23 no.lu jeotermal işletme ruhsatlı sahanın hidrojeolojik incelemesi yapılmış ve sahada hali hazırda açılmış olan kuyulardan üretilen jeotermal akışkanlar jeokimyasal ve izotopik yöntemler ile incelenerek Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli ve Yenicekent'de bulunan jeotermal üretim kuyularından ve kaynağından alınan örnekler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre sıcak ve mineralli suların kökeni belirlenerek su sınıfları oluşturulmuş, kayaç-su arasındaki etkileşim ve suların birbirleriyle ilişkisi (soğuk yeraltı suyu ve jeotermal akışkan) belirlenmiştir. Rezervuar sıcaklıkları da çeşitli jeotermometre uygulamaları ile tahmin edilip kuyu içi sıcaklık ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

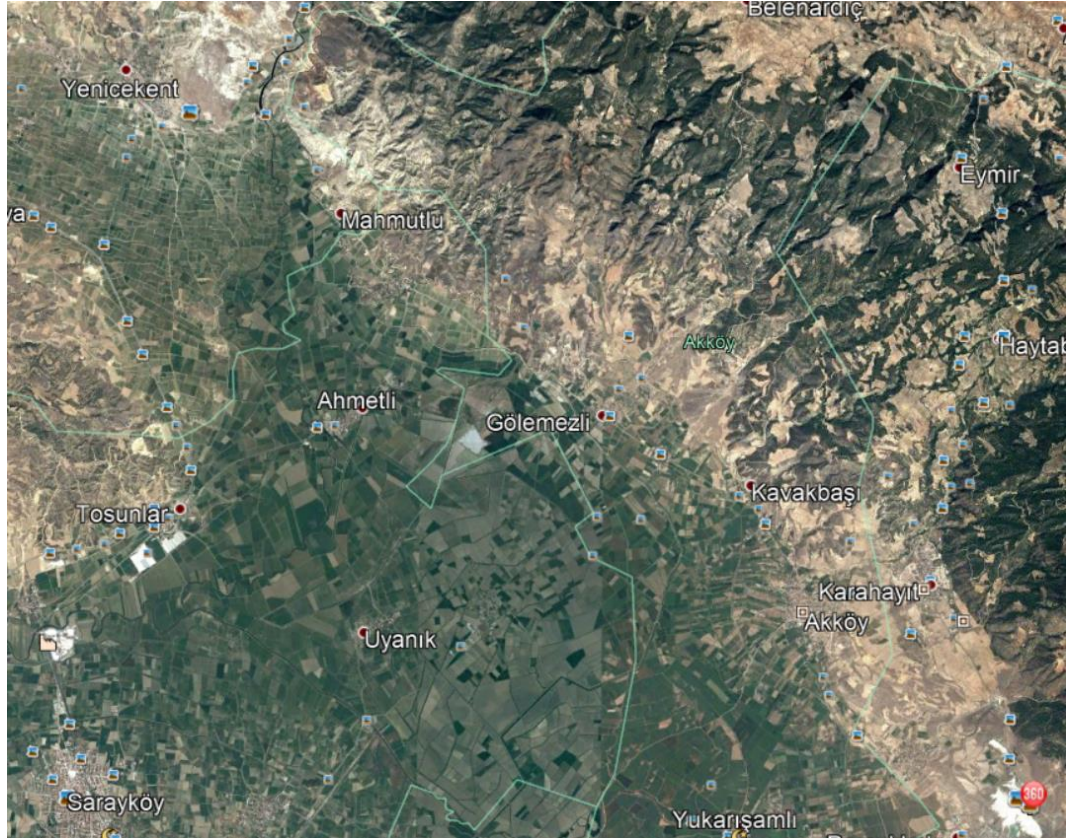
1.1 İnceleme Alanının Yeri

Çalışma alanı Denizli İli, Sarayköy İlçesi'nin kuzeyindeki Tosunlar Mahallesi'nin yakın civarındadır (Şekil 1.1). Ruhsat alanı Denizli'ye yaklaşık 30 km mesafede, 1/25.000 ölçekli UŞAK L21-c3, c4 ve DENİZLİ M21-b1, b2 paftaları içinde yer almaktadır. Çalışma sahasına ulaşım Denizli-Aydın karayolu ile sağlanmaktadır. Büyük Menderes Grabeninin en doğu ucunda bulunan ruhsat sahası, Denizli ili kuzeybatısında, Kızıldere jeotermal sahasının doğusunda, Yenicekent ve Gölemezli jeotermal sahalarının ise güneybatısında konumlanmaktadır (Şekil 1.1).

1.2 Amaç

Bu çalışmada Tosunlar jeotermal sahası ve karşılaştırma amacı ile yakın jeotermal sahalardaki termal suların kimyasal ve izotopik bileşimlerinin ortaya

konması, rezervuar sıcaklıklarına yaklaşım sağlanması ve Tosunlar sahasındaki kuyu testlerinden yararlanarak rezervuar özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası (Google Maps'den yararlanılmıştır).

1.3 Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde bugüne değin yapılan çalışmaların konuyla ilgili olanlarından bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Erentöz (1956), Denizli yöresindeki brahik çökellerin, Miyosen'de, Burdur, Acıgöl üzerinden gelen bir deniz kolunun ürünleri olduğuna değinmiştir.

Nebert (1958), Denizli-Sarayköy-Pamukkale yörelerinde Pliyosen çökellerini inceleyerek Pliyosen'in altta Meosiyen, Ponsiyen yaşlı denizel-brahik, üstte ise uyumsuzlukla gelen Dasiyen-Levanten yaşlı tatlı su çökellerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Taner (1974^{a,b} 1975), Denizli bölgesi Neojen’inde yaptığı peletonolojik ve stratigrafik incelemede, Paleozoik yaşı metamorfitlerin üzerine uyumsuz olarak gelen çökellerin Meosiyen yaşında olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı, Pliyosen’de, küçük kapalı bir havza şeklinde gelişen Denizli havzası göl ortamının az derin ve sakin olduğunu, tatlı su içerdiğini, ancak daha sonraları biraz tuzlandığını ileri sürmüştür. Taner (2001), daha sonra bu birimlerin yaşını revize ederek Alt Miyosen-Pliyokuvaterner aralığına çekmiştir.

Ercan ve diğ. (1983), Denizli’deki volkanik kayalar üzerine yaptıkları çalışmada, Üst Pliyosen yaşı ve tümü şoşonitik nitelikte olan bazalt, latit ve trakit türündeki Denizli volkanitlerinin kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiklerine değinmişlerdir.

Tosunlar jeotermal sahasında, temel kayalar Paleozoyik yaşı Menderes Masifi metamorfitleridir. Metamorfik temel, altta otojenik gnays ve şistler, üstte ise kuvarsit, mikaşist ve mermer araldanmasından yapıllı İğdecik Formasyonu’ndan oluşur. Bu kayalar üzerine alttan üste dört litolojik birim olarak ayrılabilen karasal ve gölssel çökeller gelir (Şimşek 1985): (a) Kırmızı ve kahverengi renkli çakıltaşı-kumtaşı-kiltaşı araldanmasından oluşun, linyit düzeyleri içeren ve 200 m. kalınlığa sahip Kızılburun Formasyonu; (b) gri kireçtaşı-marn-silttaşı araldanmasından yapıllı ve kalınlığı 100-250 m. arasında değışen Sazak Formasyonu; (c) sarımsı-yeşil marn, silttaşı ve kumtaşlarından oluşun ve 350-500 m. kalınlığa sahip Kolankaya Formasyonu; (d) az pekleşmiş çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve fosilli kilttaşlarından oluşun, yaklaşık 500 m. kalınlıktaki Tosunlar Formasyonu. Bu formasyonlardan ilk üçü Miyosen, Tosunlar Formasyonu ise Pliyo-Kuvaterner yaşıdır (Taner 2001). Kuvaterner yaşı alüvyon altlayan tüm sedimanter birimleri uyumsuz olarak örter.

Neotektonik dönemde Anadolu ve Arap levhalarının çarpışması Anadolu Levhası’nın Doğu ve Kuzey Anadolu transform fayları boyunca batıya itilmesine neden olmuştur. Bu hareket Yunan makaslama zonu tarafından engellendiğinden Batı Anadolu’da D-B yönlü bir sıkışma rejimi gelişmiştir. Aynı zamanda Levant okyanus kabuğunun Anadolu Levhası altına dalması, Menderes Masifi altında bir anateksis zonunun oluşmasına, asit intrüzyonlar gelişmesine ve masifin yükselmesine neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz 1981). Tüm bu etkilerle Batı Anadolu’da Ege graben

sistemi ve genellikle yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar gelişmiştir. Grabenlerin kenar fay zonları 100-150 km devamlılık göstermekle birlikte, bu zon, uzunlukları genellikle 8-10 km'yi geçmeyen kısa faylardan oluşmuş bir fay demeti halindedir. Bu fayların üzerinde, sürekli sismik aktivite kaydedilmektedir (Yılmaz 2000). Sismik çalışmalar, Ege bölgesindeki K-G gerilmenin, büyük faylardaki hareketlerle ($M > 6$) karşılandığını işaret etmektedir (Eyidoğan ve Jackson 1985; Jackson ve McKenzie 1988). Batı Anadolu bölgesindeki aktif gerilme, yılda 3-4 cm hızla gelişimini sürdürmektedir. Litosferin incilmesi, bölgenin jeotermal enerji potansiyelini arttırırken, sismik aktivite birçok yıkıcı depremin de nedeni olmaktadır (Yılmaz 2000).

Kızıldere-Tekkehamam-Pamukkale alanında yapılan jeofizik gravite çalışmaları (Tezcan, 1967; Ekingen, 1970) ile elde edilen Bouguer haritasında bölgenin genel tektoniği ve graben-horst alanları kabaca belirlenmiştir. Ekingen (1970), Denizli-Pamukkale-Denizler Dereköy-Honaz yörelerinde yaptığı gravite çalışmalarında Kurudere, Dereköy çevrelerinin jeotermal açıdan ümit verici olduğu sonucuna varmıştır. Ürgün (1976), yörede jeotermal gradyanın yüksek olduğunu ve Pamukkale güneyinde 7.1 metreye kadar eriştiğini belirtmiştir. Özgüler ve diğ. (1983), Tekkehamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale jeotermal alanlarında yaptıkları gravite çalışmalarıyla sahanın genel tektonik yapısını, özdirenç çalışmaları ile ise jeotermal anomalileri, bunların yayılımlarını ve temel kaya derinliğini belirlemişlerdir.

Gökalp (1971), Pamukkale ve Karahayıt'taki sıcak suların kökeninin kristalen masif olduğunu, bu suların yüzeye erişirken soğuk sularla karışarak debilerinin ve kalsiyum miktarlarının arttığını ve sıcaklıklarının azaldığını vurgulamıştır.

Şamilgil (1973), Denizli yöresindeki sıcak suların analizlerini yapmış ve değerlendirmiştir. Yazar, bölgedeki tüm sıcak suların kökeninin aynı olduğuna, ancak soğuk sularla az ya da çok karıştığına ve bu karışımın Pamukkale'den Kızıldere'ye kadar giderek artan Na/Ca oranlarıyla belgelendiğine değinmiştir.

Filiz (1984), Ege Bölgesi'ndeki önemli jeotermal alanları O^{18} , H^2 , H^3 ve C^{13} izotoplarıyla incelemiştir. Yazar, Pamukkale sıcak su kaynaklarının meteorik kökenli

ve en az 50 yaşındaki sular olduğunu, bu kaynaklardan çıkan CO₂ gazının kaynağının ise magma olduğunu ortaya koymuştur.

Şimşek (1985), Sarayköy-Buldan yöresinin jeotermal enerji olanakları üzerine yaptığı çalışmada sıcak suların birinci hazne kayasının Sazak Formasyonu'nun kireçtaşları; ikinci hazne kayanın İğdecik Formasyonu, birinci örtü kayanın Kolankaya, ikinci örtü kayanın Kızılburun Formasyonu olduğunu, ayrıca gnaysların üçüncü bir hazne kaya oluşturabileceğini belirtmiştir.

Gevrek (1985), Aydın ve Denizli'deki sıcak su çökellerinin Hg, As ve Pb miktarlarını inceleyerek, Denizli yöresinden aldığı örneklerdeki Hg değerlerinin daha yüksek çıkmasını, Denizli jeotermal alanlarının haznelerinin ve ısıtıcılarının daha sığda olması ve yoğun kırıkların varlığı ile açıklamıştır.

Eşder ve Yılmaz (1991), Pamukkale jeotermal kaynaklarında yaptıkları çalışmada, Gölemezli, Yenice termal sularının yüksek sıcaklıklı bir hazneden çıktığını, birbirleriyle ilişkili olan Pamukkale ve Karahayit sularının ise düşük hazne sıcaklıklarına sahip bir jeotermal sistem içerisinde geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Güleç (1988), yöredeki termal sularda yüksek helyum-3 içeriğinin manto kaynaklı olduğunu ifade etmiştir.

Filiz ve diğ. (1992), Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinde bulunan sıcak suların kimyasal sınıflamalarını yaparak her iki alandaki suların da meteorik kökenli olduğunu, Gediz grabenindeki suların kimyasal kompozisyonunun zaman içinde değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, jeokimyasal ve izotopik verilerin ışığında Büyük Menderes grabenindeki jeotermal potansiyelin Gediz grabeninden daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

Altunel ve Hancock (1993), Th/U yaş tayini yöntemine göre Pamukkale ve Karahayit jeotermal alanlarında traverten oluşumunun en az 400.000 yıldan beri devam ettiğini belirtmişlerdir.

Gökgöz (1998), Büyük Menderes grabeninde yer alan jeotermal alanları besleyen meteorik suyun Kızıldere'den Pamukkale'ye daha sığ derinliklere süzüldüğünü ifade etmiş ve log(Q/K) diyagramları ve silis-entalpi, klor-entalpi

karişım modelleriyle Pamukkale'de termal suyun hazne kaya sıcaklığını 110°C civarında belirlemiştir.

şimşek ve diğ. (2000), Pamukkale traverten alanında yaptıkları izleyici çalışmalarıyla termal kaynakların birbiriyle ilişkili olduklarını belirlemişler, termal suları ve travertenleri kirleten faktörleri ortaya koyarak bu faktörlerden bazılarının ortadan kaldırılması ile görülen iyileşmeleri ifade etmişler ve sistemin tam olarak korunabilmesi için alınması gerekli önlemleri belirtmişlerdir.

Özler (2000), Çürüksu hidrotermal alanındaki termal sulara uyguladığı jeotermometre sonuçlarına göre, jeotermometre sıcaklıklarının doğudan batıya (Pamukkale ve Karahayıt sularına) doğru arttığını ve bunun, kuvvetli bir olasılıkla hidrotermal sistemin ısı kaynağının, alanın batı kesiminde bulunduğunun bir göstergesi olduğunu belirtir.

Güleç ve diğ. (2002), Türkiye'de Helyum izotop dağılımının tektonizma, volkanizma ve sismik aktivitelerle ilişkisini araştırmışlardır. Yazarlar, inceledikleri bölgelerde R/RA ($R(\text{örnek}) = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ve $R(\text{hava}) = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$) değerlerinin 0,05-7,87 arasında geniş bir aralıkta değişim gösterdiğini ve çoğu bölgede manto kökenli helyumun bulunduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, geçmiş zamanlardaki aktif volkanlarla ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sismik olarak aktif batı-orta parçası ile ilişkili olarak Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde manto kökenli He bileşen değerinin oldukça yüksek (toplam He'un %50'sinden fazlası) olduğunu ve Doğu Anadolu'da Nemrut Volkanı'nda bu değerin maksimuma ulaştığını ifade etmişlerdir. Yazarlar ayrıca, baskın olarak sıkışma tektoniğinin etkisi altındaki Doğu Anadolu'da orta derecede sıcaklığa sahip jeotermal alanların varlığına işaret ederken yüksek jeotermal potansiyele sahip ve genişleme tektoniğinin gözlendiği Batı Anadolu'da He değerlerinin nispeten düşük olduklarını belirtmişlerdir.

şimşek (2003), Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli ve Yenicekent termal sularında yaptığı O^{18} , H^2 , H^3 izotop çalışmalarıyla suların kökeninin meteorik olduğunu ve Pamukkale sularının diğer sahalardaki sulara göre daha sığ dolaşım yaptığını ifade etmiştir.

Dilsiz ve diğ. (2004), Pamukkale hidrotermal alanında yaptığı hidrokimyasal ve izotop çalışmaları sonunda, derindeki termal suların yağışlı dönemde nispeten daha yüksek oranda soğuk yeraltı suyu karışımı nedeniyle kalsiyum karbonatça doymun olmadığı, buna karşın kurak dönemde derinlerdeki yüksek asidik ortam nedeniyle kalsiyum karbonatça süper doymunluğa eriştiği sonucuna varmıştır.

Möller ve diğ. (2004), Pamukkale termal sularında nadir toprak elementlerin bol bulunduğunu, bunun oksijence zengin sular tarafından karbonatların çözülmesi (Neojen kireçtaşlarının karstifikasyonu işlevi) tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir.

Dilsiz (2006), Pamukkale hidrotermal alanındaki yeraltı sularının, biri 10-12°C sıcaklığında Ca-HCO₃ tipinde ve diğeri 25-58°C sıcaklıklarda Ca-HCO₃-SO₄ tipinde olmak üzere iki alt sistemde gruplanabileceğini belirtmiştir. Yazar, Pamukkale termal sularının Karahayıt termal sularına göre daha yüksek kottan beslendiğini ve termal suların kimyasal ve izotopik bileşimindeki değişimlerin, termal suyun yüzeye yükselmesi sırasında sığ bir akiferdeki soğuk yeraltı suyu ile karışmasından kaynaklandığını ifade eder.

Uysal ve diğ. (2007), Pamukkale termal alanında, kırık dolgusu traverten çökellerinde U-serisi yaşlandırma ve nadir toprak element çalışması yapmışlar ve kırık dolgusu travertenlerin sismik aktivite sırasında derine süzölmüş ve burada CO₂'ce zenginleşmiş yüzey suyundan hızlı çökelme ile oluştuğunu belirlemişlerdir.

Mutlu ve diğ. (2008), Batı Anadolu'da 12 ayrı jeotermal alanda 8 adet su ve 6 adet gaz örneği üzerinde He, C ve δ¹⁸O- δ²H izotop analizleri yapmışlar ve CO₂/³He oranlarını incelemişlerdir. Bu bölgede belirledikleri ³He/⁴He oranlarının (0,27-1,67) kabuktakinden (0,05) oldukça fazla olduğunu saptamışlardır. CO₂ / ³He oranlarının (1,6×10⁹-2,3×10¹⁴) ise oldukça çeşitlilik sunduğunu ve üst manto malzemesinin değerlerinden (2×10⁹) yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. δ¹³C(CO₂) ve δ¹³C(CH₄) değerleri -8,04 – (+0,35)‰ ve -25,80 – (-23,92)‰ arasında değişmektedir. δ¹⁸O- δ²H duraylı izotop verilerinin Akdeniz Meteorik Su Çizgisi ile uyumlu olduğunu ve bunun da meteorik kökene işaret ettiğini belirtmişlerdir. Yazarlar, gaz jeotermometresi ile hesapladıkları sıcaklık değerlerinin kimyasal jeotermometre ile hesaplanandan belirgin olarak yüksek olduğunu saptamışlar ve bu durumun, hem

izotop değişim reaksiyonlarının dengeye ulaşmadığını hem de izotopik dengenin yüzeyden gaz girişı sebebiyle bozulduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

1.4 Yöntem

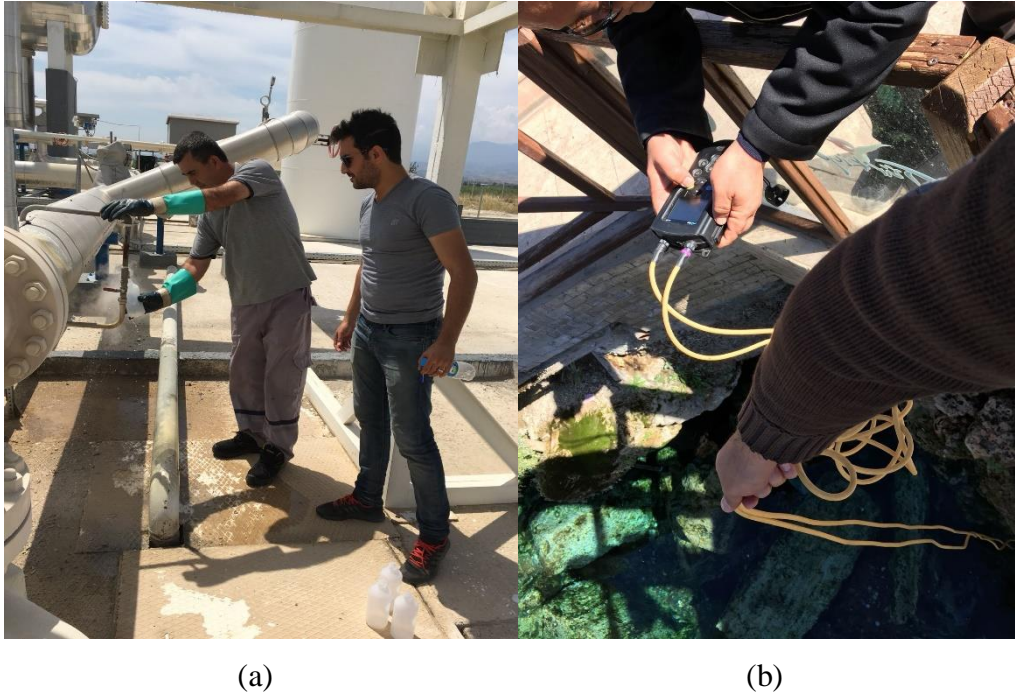
İnceleme alanındaki jeotermal sondaj ve soğuk yeraltısularının sıcaklıkları, elektriksel iletkenlik (EC), pH ve Eh değerleri HACH-LANGE HQ40D model multimetre ile ölçülmüştür (Şekil 1.2). Ölçümlerden önce, her parametre için cihaz standart çözeltilerle kalibre edilmiştir. Suların CO₃ ve HCO₃ miktarları da H₂SO₄ titrasyonu ile (mikrotitratör, HACH-LANGE kimyasalları ve H₂SO₄ şırıngalarının kullanımıyla) belirlenmiştir.

Majör iyon (Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Li⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁻², CO₃⁻², HCO₃⁻, F⁻, Br⁻, NO₂⁻ ve NO₃⁻) analizleri için örnekler 250 ml.lik çift tıpalı HDPE şişelere filtre edilerek (0.45 µm) alınmış ve laboratuara ulaştırılmaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır (<+4°C). Element analizleri için örnekler 100 ml.lik HDPE şişelere filtre edilerek ve daha sonra ultra saf HNO₃ ilavesiyle örnek pH'ı 2 veya altına indirilerek alınmıştır. Örnekler, örnekleme işleminin tamamlandıktan sonra birkaç gün içinde laboratuara ulaştırılmıştır. SiO₂ analizi için örnekler 100 ml. lik HDPE şişelere ultra saf su ile seyreltilerek alınmıştır.

Örnekler ¹⁸O ve ²H analizi için 50 ml şişelere, hava kabarcığı bırakmadan alınmıştır. ¹³C (DIC) analizleri için örnekler 100 ml.lik çift tıpalı kahverengi cam şişelere filtre edilerek alınmış, analizi yapacak laboratuvarın isteği üzerine suya HgCl₂ ilave edilmemiş, ancak, laboratuara ulaştırılmaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır (<+4°C). Suda çözülmüş sülfatın ³⁴S ve ¹⁸O analizi için örnekler, örneğin sülfat içeriğine göre değişen hacimlerde (100 ml-2000 ml) filtre edilerek alınmış ve seyreltik ultra saf HCl ilavesiyle örnek pH'ı 4-5'e getirilmiştir. Ardından, örnek hacmi ve sülfat derişimine göre değişen miktarlarda (100-150 mg) BaCl₂.2H₂O suya ilave edilerek 3-6 saat beklemeyle BaSO₄ çöktürülmüştür. Örnekleme tamamında yeni şişeler kullanılmış, örnekleme öncesi, örneklenecek suyla, filtreleme gerektiren örneklemeelerde filtrelenmiş suyla 3 kez çalkalanmıştır.

Suların majör iyon ve trityum analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda, element analizleri Acmelab'da (Kanada), SiO₂ analizleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeokimya Laboratuvarı'nda, ¹⁸O ve D izotop analizleri Utah Üniversitesi SIRFER Lab.'da (ABD) ve ¹³C ile suda çözülmüş sülfattan ³⁴S ve ¹⁸O izotop analizleri Waterloo Üniversitesi, Environmental Isotope Lab.'da (ABD) yapılmıştır.

Hidrokimyasal değerlendirmelerde Aquachem (Calmbach 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.



Şekil 1.2: Arazide örnekleme çalışması ve EC, pH, sıcaklık ölçümü a) AK-6 kuyu başı, b) Pamukkale antik havuzu).

2. JEOLJİ

2.1 Stratigrafi

İnceleme alanlarında yüzeyleyen birimler; Paleozoik yaşlı Menderes Masifi Metamorfitleri, Neojen yaşlı Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolonkaya Formasyonu, Tosunlar Formasyonu, Kuvaterner yaşlı alüvyon, alüvyon yelpazesi ve travertenlerdir (Şekil 2.1 ve 2.2).

2.1.1 Paleozoyik

Menderes Masifi Metamorfitleri

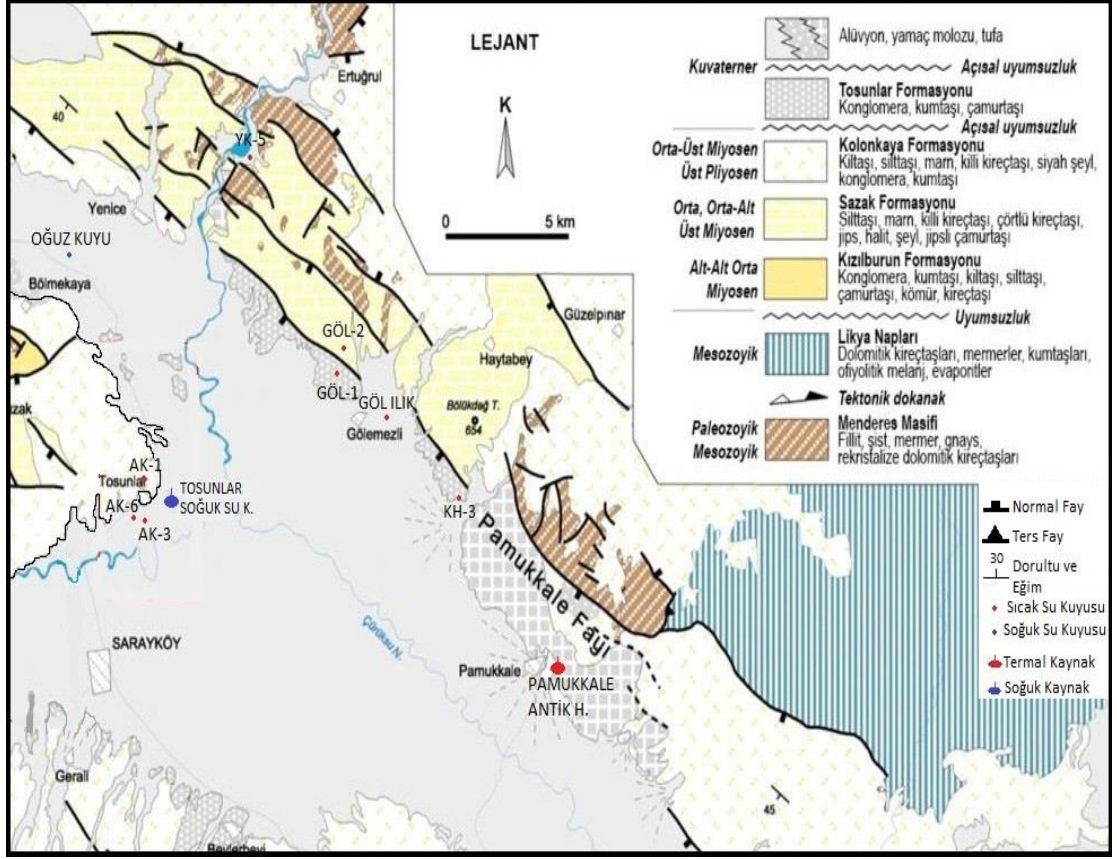
Bölgedeki en yaşlı birimler Menderes Masifinin Paleozoik yaşlı metamorfik kayalarıdır. Neojen öncesi temel kayaları Çürüksu vadisini kuzeyden ve güneyden çevreleyen dağlık alanlarda yüzeyleyler. Bu dağlık alanlar aynı zamanda horst alanlarıdır. Metamorfiklerin çekirdek kısımları gnayslarla, örtü kısımları ise çeşitli şistler ve mermerlerle temsil edilir. Çürüksu havzası çevresinde daha çok şist, mermer ve örtü birimleri yaygındır. **İğdecik Formasyonunu** oluşturan mermerler, mermer-kuvarsşist ardalanması, kuvarsşist-mikaşist ardalanması ve yeşil şist fasiyesi olarak devam eder.

Menderes Masifine ait “gnays, kuvarsit, kalkşist, klorit, biyotit, muskovitşist ve mermerlerden oluşan bu metamorfikler, almandin-amfibolit ve yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmişlerdir. Bölgede fibroblastik gnays ve gözlü gnayslar yaygın olup bölgedeki birimlerin altında yer alır. Gnayslar içindeki pegmatoid damarlarının varlığı ve inceleme alanı çevresinde migmatitlerin gözlenmiş olması, Gökgöz (2004) tarafından bölgede yüksek derecede metamorfizma koşullarına ulaşıldığı söylenmiştir.

İnceleme alanında Menderes Masifini tabanı oluşturan gözlü gnaysların üzerine, gnays kuvarsit ve mikaşist ardalanmasından sonra çeşitli şistler gelir. Bu birimin ortak özelliği, aşağı yukarı tüm seviyelerde az veya çok granat ve biyotit içermesidir. Çeşitli şistlerden oluşan bu birimde yanal ve dikey geçişler görülmektedir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ
SENOZOYİK	KUVATERNER	TERSİYER	MIYOSEN-PLİYOSEN	50-100	Alüvyon, alüvyon yelpazesi, traverten Açısal Uyumsuzluk
				250-300	Az pekleşmiş çakıltası, kumtaşı, fosilli kil düzeyleri içeren çamurtaşı Açısal Uyumsuzluk
	200-250			Kiltaşı, silttaşı, kireçtaşı ara seviyeleri içeren egemen sarı kumtaşı	
	150-200			Marn, killi kireçtaşı, kiltası ara katmanları içeren egemen kireçtaşı	
	300-350			Çakıltası, kumtaşı, kiltası ardalanması Açısal Uyumsuzluk	
	PALEOZOYİK			MENDERES MASİFİ	

Şekil 2.1: Çalışma alanlarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti. (Şimşek 1984'den değiştirilmiştir.)



Şekil 2.2: Çalışma alanı jeoloji haritası, ruhsat alanı ve örnekleme noktaları (Alçıçek 2007'den değiştirilmiştir.)

Mikaşist olarak tanımlanan seviyeler kuvars-biyotit-biyotit-klorit-albit-kalsit-granat şistlerden oluşmaktadır. Mikaşist-kuvarsit-mermer ardalanmasından oluşan birime, Şimşek (1984) tarafından İğdecik Formasyonu adı verilmiştir. Birimi oluşturan mikaşist, kuvarsit ve mermer katmanları birbiri ile geçişlidir ve birimin kalınlığı Yenice- Kamara kaplıcası ve yakın çevresinde 300 metreye ulaşmaktadır.

Çizmeli ve Kamara kaplıcaları civarında yüzeylenen birimdeki kalın mermerler genellikle şistlerin en üst seviyelerinde şistlerle ve kuvarsitlerle ardalanmalı olarak görülmektedir. Şistler içinde önce kalkışistler, daha üstte orta-kalın katmanlı mermerler gözlenmektedir. Mermerler; genellikle koyu gri ve beyaz renkli, iri kristalli, mikalı, kırılğan, bol eklemlili, belirgin katmanlıdır. Kuvarsitler genellikle, gnaysların üzerinde ve şistlere geçiş zonunda görülmektedirler. Kuvarsitler; beyaz, sert, keskin, kırıklı, ince ve orta katmanlı, bol eklemlili ve kırıklı ve çoğunlukla mikalıdır.

2.1.2 Neojen

Kızılburun Formasyonu

İnceleme alanında kendisinden yaşlı tüm birimleri açısız uyumsuzlukla örten Kızılburun Formasyonu bloklu çakıtaşı, çakıtaşı, kumtaşı, kıltaşı, silttaşı gibi kaya türlerinden oluşur ve yer yer killi-kireçtaşı ara katkıları bulundurur. Rengi kırmızımsı, kahverengi, sarımsıdır. Alt düzeylerde çakıtaşı egemendir. Yer yer ara madde, genellikle tane destekli dokuda ve karbonat çimentoludur. Çakıllar, çeşitli şist, kuvarsit ve mermer bileşenli olup yarı yuvarlanmış, kötü-orta küreselleşmiştir. Çakıl boyutları genellikle 1-5 cm olmasına karşın yer yer bloklar da izlenir. Katman kalınlıkları orta-kalın arasında değişmektedir. Kumtaşları genellikle grimsi, açık kahverengimsi renklerde orta-iyi pekleşmiş, karbonat çimentoludur. Katman kalınlığı ince-ortadır. Silttaşları ve kıltaşları gri-yeşil renk tonlarında ve ince katmanlıdır. Ardalanmalı istif içerisinde, yer yer, yanal süreksiz olan kirli beyaz renkli ve çözünme boşluklu killi kireçtaşları yer almaktadır. Formasyon alt dokanağını uyumsuz olarak Menderes Masifi metamorfileri ile yapar. Üst dokanağı Sazak formasyonu ile uyumludur.

Adlaması Şimşek (1985) tarafından yapılan formasyon Kastelli (1971)'nin "kıızıl seri" ve Taner (1974^{a,b}, 1975)'in "kırmızı kaide konglomeraları"na karşılık gelmektedir. Kastelli (1971), formasyonun killi düzeyleri içinde bulunduğu Planorbis off., Thiolierei (MÍCHAUD) ve Chilostoma (Drobacia) sp. fosillerinin Alt Pliyosen yaşını verdiğini belirtmiştir. Ancak daha sonra Taner (2001), birimin yaşını revize ederek Alt Miyosen'e çekmiştir.

Sazak Formasyonu

Genel olarak rengi açık kahverengi, sarımsı bozdur. Üst kesimlerde yer alan kireçtaşları kirli beyaz renkli, dayanımlı, orta katmanlı, oldukça çatlaklı ve çözünme boşlukludur. Yer yer ince katmanlı killi kireçtaşı düzeyleri içerir. Yanal yönde devamlılığı sınırlıdır. Bol Gastropoda fosillidir. Üst düzeylerde fosilli kumtaşlarına geçer. Altta kumtaşı, silttaşı ve kıltaşı, üste doğru kireçtaşları ve en üstte fosilli kumtaşı-killi kireçtaşı şeklinde bir istif sunan formasyonda kireçtaşları 50-60 metre civarında bir kalınlığa sahiptir. Birim jips ve olasılıkla sölestin içerir. Alt dokanağını

Kızılburun formasyonu, üst dokanağını Kolankaya formasyonu ile uyumlu olarak yapar.

Formasyon, çalışma alanı içinde Akköy- Gölemezli'de, Buldan Bölmekaya'da ve Yenicekent'te gözlenir.

Sazak Formasyonu inceleme alanında genellikle killi kireçtaşları ile temsil edilir. Kireçtaşlarında silisleşmeler belirgindir. Birim ayrıca evaporitik ortam ürünü olan jipsler de içermektedir. Bütün bu verilere dayanarak, Sazak Formasyonunun Neotektonik dönemde grabenleşme etkisinde gelişen karasal-gölsel bir ortamda çökeldiğini söyleyebiliriz. Diğer bir ifadeyle birimin düşük enerjili bir göl ortamında çökeldiği ve içerdiği fosil türünden de gölün derin olmadığı anlaşılmaktadır.

Bölgede Geç Miyosen'den sonraki tektonik rejime bağlı olarak oluşan normal fay takımlarının çöküntü alanlarında meydana gelen göl ve/veya göllerde sedimantasyonu başlattığı, ayrıca Sazak Formasyonu'nun Kızılburun Formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olduğu düşünüldüğünde bu formasyonun yaşının Geç Miyosen- Erken Pliyosen olabileceği anlaşılmaktadır.

Adlaması Şimşek (1985) tarafından yapılan formasyon Taner (1974^{a,b} 1975)'in "heyelanlı marn ve sıkı dokulu kalker"ine karşılık gelmektedir. Taner (1974^{a,b} 1975), Sarayköy civarında, formasyonda Radix (A) Phrygovata (OPPENHEİM) zonu ve bu zon içinde Congeria filifera (ANDRUSOW) ve Dresensia hiera politena (OPPENHEİM) fosillerini belirleyerek Alt Pliyosen yaşı vermiştir. Taner (2001), daha sonra birimin yaşını revize ederek Alt Miyosen'e çekmiştir.

Kolonkaya Formasyonu

Kumtaşı-kiltaşı-killi kireçtaşı ar dalanmasından oluşan formasyonda egemen litoloji kumtaşıdır. Kumtaşları açık kahverengi, sarımsı ve gri renklerde, fosilsiz, zayıf pekleşmiş, bol mikalı ve genel olarak çapraz katmanlıdır. Kilttaşları yeşil-gri renkli ve az pekleşmiştir. Killi kireçtaşları gri renkli, ince katmanlı, bol fosillidir. Formasyon yer yer kireçtaşları düzeyleri de içerir.

Kolonkaya Formasyonu, Akköy-Gölemezli’de; doğuda Kavakbaşı köyünün doğusunda, Arpaalanı Tepe’nin batı yamacında, Senekçi mahallesinde, Kartmak Tepe batı yamacında, batıda Gölemezin Tepe’nin batısındaki tepelerde, Buldan Yenicekent’te ise Kale tepe çevresinde yayılım gösterir (Şekil 2.3). Tabakalar ince-orta katmanlıdır. Genellikle paralel bazı yerlerde de çapraz tabakalanma göstermektedir.



Şekil 2.3: Kolonkaya Formasyonundan bir görünüm (Tosunlar AK-1 kuyu başı).

Stratigrafik ilişki yönünden, Kolonkaya Formasyonu alttaki Sazak Formasyonu ile bazı yerlerde geçişli, bazı yerlerde tektonik bir dokanağa sahiptir. Formasyon, iyi boyanmalı kumtaşı, kiltası, killi-kireçtaşı ve kireçtaşı içeriklidir. Ayrıca oyu-dolgu yapıları, çapraz tabakalanma ve kaval yapıları, dalga ripılları görülmektedir. İçerdiği fosil türlerinden de giderek çökme ortamının, düşük enerjili bir göl ortamı olduğunu ve zaman zaman gölü besleyen akarsuların göl içinde etkinliklerini sürdürdüklerini, söyleyebiliriz. Alt dokanağı Sazak formasyonu ile uyumlu, üst dokanağı ise Tosunlar formasyonu ile uyumsuzdur.

Adlaması Şimşek (1985) tarafından yapılan formasyon Taner (1974^{a,b} 1975)’in “gri ve sarı renkli gre-marn münavebesi”ne karşılık gelmektedir. Formasyon içinde, Kastelli (1971), Tekkehamam yöresinde *Cyprideis pannonica* (MEHES), *Cyprideis tuberculata* (MEHES) ve *Cyprideis cf. torosa* (JONES) ve

Şimşek (1985), Softalar Köyü batısında Hemicythere sp., Tyrhenocythere sp., Candona sp., Miocypriders, Cyprinotus fosilleri bulmuşlar ve formasyona Alt Pliyosen yaşı vermişlerdir. Taner (2001)'e göre bu formasyon olasılıkla Ponsiyen'de bir yelpaze deltasında çökelmiştir.

Tosunlar Formasyonu

Sarımsı, boz renkli çakıltası-kumtaşı-silttaşı ardalanmasından oluşur. Bileşen taneleri çeşitli şist, kuvarsit, mermer, altlayan formasyona ait kireçtaşı olan çakıltaları, kum ve silt aramaddeli olup az pekleşmiştir. Tane boyları değişkendir. Taneler kötü-iyi arasında yuvarlanmış ve küreselleşmiştir. Katmanlanma belirsiz ya da az belirgindir. Kumtaşı ve silttaşlarının rengi biraz daha koyudur ve kırmızımsı-sarımsı tonlardadır. İnce-orta katmanlı olan kumtaşları ve silttaşları içinde çakıltası düzeyleri de gözlenir. Formasyonun belirgin özellikleri düşük kotlarda bulunması, az pekleşmiş, dayanımsız olmaları ve belirsiz katmanlanma sunmalarıdır. Katmanlar genelde yataydır. İri blokların birim içinde yer almaları, gereçlerin çok yakından ve kısa sürede taşındığını gösterir. Bundan dolayı üst Pliyosen öncesi topografyanın durumuna ve su dışında kalan alanların litolojilerine göre Pliyo-Kuvaterner'de farklı alanlarda farklı birimler çökelmiş ve kısa mesafede çökel bileşeni değişebilmiştir (Şimşek, 1984).

Alt dokanağı Kolankaya formasyonu, üst dokanağı ise yamaç molozu, alüvyonlar ve travertenlerle uyumsuzdur. Formasyona stratigrafik konumu nedeniyle Pliyo-Kuvaterner yaşı öngörülmüştür.

2.1.3 Kuvaterner

Alüvyon

Akköy-Gölemezli'de çalışma alanının güneybatısında, Buldan-Yenicekent'te Büyük Menderes Nehri'nin her iki kenarında yayılım gösterir. Özellikle çakıltası, kumtaşı, kiltası ardalanmasının üzerinde birimlerin ayrışma durumuna göre değişik kalınlıklarda bulunur. Alüvyon birimi, dere yatakları peridotit, kireçtaşı, şist kökenli çakıllarla, daha ince taneleri içeren karışımlar olarak gözlenir. Birimin kalınlığı 50-

100 m arasında değişir. Eski alüvyon taraçaları; yassı veya köşeli çakıllı, kumlu, siltli, killi olup yer yer gevşek tutturulmuştur.

Alüvyon yelpazesi

İnceleme alanında Akköy-Gölemezli'de, Gölemezli Kasabasının kuzeydoğusunda, Mandama Deresi, Bağırsak Deresi gibi derelerin ağızlarında gözlenir. Çok az blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki malzemelerden oluşmuştur. Bu bölgede yapılan sondajlarda kalınlığı yer yer 100m'ye kadar erişmektedir. Akköy-Gölemezli'de bileşenleri genelde kalker, Yenicekent'te ise gnays kökenlidir. Gölemezli bölgesinde ise en çok Gölemezli Kasabasının kuzey/kuzeydoğusunda yayılım gösterir.

Traverten

Çalışma alanında travertenler ağırlıkta olup, yer yer sıkı tutturulmuş, yer yer de gevşek bir yapı gözlenmektedir. Yatay-yataya yakın tabakalı ve traverten ocaklarının olduğu kesimlerde büyük blok verecek niteliktedir. Beyaz, kirli beyaz ya da açık bej renk dağılımı hakim durumdadır (Şekil 2.4). Travertenlerin renk ve dokusal özelliklerindeki farklılık göz önüne alındığında, iki ana kısımda incelenmiştir.

Traverten birimi inceleme alanında en yaygın olarak Yenice dolayında, Kamara ve Çizmeli kaplıcaları civarında, metamorfitle ve Pliyosen birimleri üzerinde açısız uyumsuzlukla bulunur. Kırmızı, sarımsı, boşluklu ve az dayanımlıdır. Bileşimi başlıca CaCO_3 'tür. Ancak bazı sert kısımlarda silis belirlenmiştir. İnce laminalı CaCO_3 ve aralarında çok ince FeO ve SiO_2 bantları da görülür. Bunun nedeni sıcak suyun, traverten oluşumu sırasında, çeşitli yerlere, farklı zamanlarda ulaşması, farklı çökel bırakmasıdır (Bülbül, 2000).

Bu bölgedeki travertenler yapıtaş olarak tarihi zamanlarda işletilmiştir. Yenicekent'in doğusunda Menderes nehri kıyısında, tarihi Tripolis şehrinin tüm yapıtlarında traverten kullanılmıştır. Bazı yerlerde travertenlerin altında gelişmiş çamurtaş katmanları belirlenmiştir.



Şekil 2.4: Travertenlerden bir görünüm (Yenicekent YK-5 kuyu başı).

Kamara kaplıcasının bulunduğu lokasyonda, Menderes'in akış yönüne göre sağ sahilde bulunan travertenlerin sırt eksenini K62B konumunda, uzunluğu 64 m yüksekliği 3-4 m, genişliği 15-20 m kadardır. Açılma çatlaklarının genişliği 5-40 cm arasındadır. Çatlak boşluğu kısmen kaba taneli traverten parçaları ile doldurulmuştur.

Yanal olarak sırt ekseninden uzaklaşılan yönlerde birkaç metre içinde fasiyes değişimleri gözlenmektedir. Çatlak duvarlarında kalınlıkları 10-15 cm. olan düşey konumlu kristalin kabuk travertenleri gelişmiştir. Yörede, Çizmeli kaplıcasının karşı sahilinde, travertenlerin üzerinde gelişmiş, büyük ölçekli açılma çatlakları gözlenebilmektedir. Bu çatlakların duvarlarında sıcak suların etkisiyle gelişmiş erime boşlukları sarkıt-dikit türü yapılar, kristallenmeler mevcuttur (Bülbul, 2000). Travertenlerin bulunduğu yerler graben tektoniğine bağlı normal fayların sıçrama yaptığı yerlerdir. Bu sıçramalarda traverten oluşturan sıcak suların varlığı karmaşık deformasyonların görüldüğü bu fay parçalarının aktif ana faylarla bağlantılı olmasıdır (Kumsar ve diğ. 2003).

2.2 Yapısal Jeoloji

2.2.1 Genel Yapısal Jeoloji

Ege Bölgesi'nin en büyük özelliği genel olarak D-B doğrultulu pek çok grabeni içermesidir. Bu grabenlerle ilgili fay düzlemi çözümleri diyagramları bölgede genel bir kuzey-güney gerilme olduğunu göstermektedir (Şengör 1982). McKenzie (1972), bu gerilmenin Batı Anadolu'da "bir elin parmaklarının açılmasına benzer" bir manzara yarattığını ve Ege grabenler bölgesinin oluşumundan (Tortoniyen) bu yana %50 oranında kuzey-güney yönde genişleme geçirdiğini ifade etmiştir.

Çalışma alanı ve yakın çevresi Paleozoyik döneminde deniz altındadır. Bu denizde çökelen çakıltaşları ve kumtaşları daha sonra bir metamorfizma geçirerek gnaysları oluşturmuştur. Kaledoniyen Orojenezi ile yükselerek kara haline geçen gnayslar aşınma sürecine girmiştir. Hersiniyen Orojenezi ile tekrar deniz altında kalan gnayslar üzerine silttaşı, kilitaşı ve kireçtaşları çökelmiş ve bu birimler de uğradıkları metamorfizma sonucu Menderes Maifi örtü metamorfizmaları olan şist ve mermerleri oluşturmuşlardır.

Ege Bölgesi'nde Mesozoyik sonundan başlayarak Tetis Okyanusu'nun yok olması ve Alp sistemini oluşturan sıkışma rejimi altında geçen ve gelişen dönem bölgenin Senozoyik evriminde ilk evreyi oluşturmaktadır. Bu evreyi dalma-batma tektoniği kontrol etmekte ve geliştirmektedir. Okyanusların yok olması ile bu okyanusları sınırlayan kıtalar birbirleri ile çarpışmış ve çarpışma tipi dağ kuşaklarını oluşturmuştur. Aynı dönemde Anadolu'da Toros ve Pontit kuşakları meydana gelmiş ve Neotektonik döneme girilmiştir.

Neotektonik dönemde Batı Anadolu'da gelişen grabenleşme ile ilgili çeşitli araştırmacılar değişik modeller öngörmüşlerdir. Alptekin (1973), batıya doğru hareket eden bir tek Anadolu plakasının varlığını kabul etmekte ve K-G yönlü açılmanın nedenini üst mantoda meydana gelen yükselme ile açıklamaktadır. Dewey ve Şengör (1979), Anadolu bloğunun batıya hareketinin Yunan makaslama zonu boyunca D-B yönlü sıkışmaya neden olduğu ve bu sıkışmanın da K-G doğrultulu açılma ile karşılandığı görüşünü ortaya atmışlardır. Bu D-B doğrultulu sıkışma

rejimi, yine aynı doğrultuda ve tansiyon çatlaklarının eşdeğeri olarak gelişen D-B doğrultulu fayları oluşturmuştur. Doğu Akdeniz litosferinin (Levant Okyanus Kabuğu) Anadolu Plakasının altına dalması, Menderes Masifi'nin altında bir anateksi zonunun oluşmasını, Masif'te asit intrüzyonlar gelişmesini ve Masif'in yükselmesini sağlamıştır. Böylece tüm bu etkiler altında Ege Graben Sistemi oluşmuştur. Araştırmalar, Ege'deki K-G yönlü gerilmenin yaşının en çok Tortoniyen'e kadar indiğini, ancak grabenlerin bugünkü boyutlara ulaşmasının Pliyosen'e hatta Pleyistosen'e kadar çıktığını göstermektedir (Şengör 1982). Grabenleşmenin başlamasıyla gelişen büyük akarsular çakıltası, kumtaşı, silttaşından oluşan ve litolojisinin akarsuyun enerjisine bağlı olarak değiştiği istifli metamorfitletler üzerine çökelmişlerdir. Çökellerin kırmızı rengi okside ortamı göstermektedir. Pliyosen sonlarına kadar yörede yersel, kapalı sığ göller oluşmuş ve bu göllerde silttaşı, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşı birimlerinden oluşan litolojiler depolanmıştır. İstif içindeki jips düzeyleri sıcak, buharlaşmanın egemen olduğu bir ortamı karakterize etmektedir. Pliyo-Kuvaterner'de büyük akarsuların taşıdığı çakıl, kum ve siltler akarsuyun göle ulaştığı yerlerde çökelmişlerdir.

2.2.2 Denizli Havzasının Tektoniği

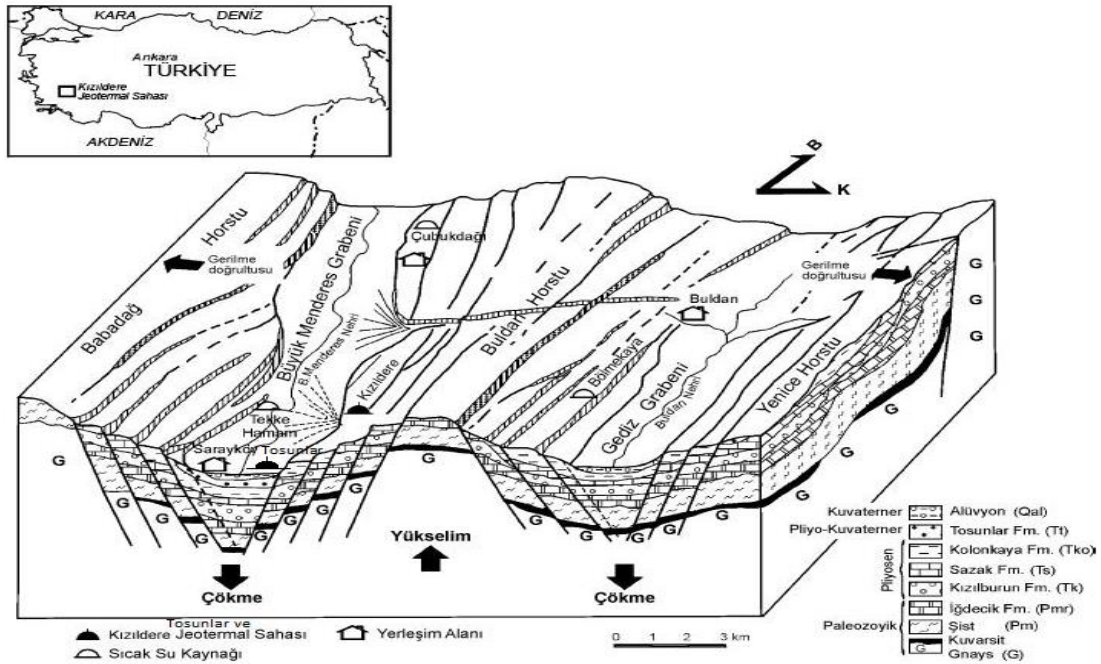
Batı Anadolu Bölgesinde yaklaşık K-G yönlü genişleme tektoniğine bağlı olarak D-B ve BKB-DGD doğrultulu Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz gibi çöküntü havzaları gelişmiştir (Şengör ve diğ. 1984).

Çalışma sahası, Ege Bölgesi'nin D-B sıkışma ve K-G açılımı ile meydana gelmiş olan Menderes Graben sisteminin hemen hemen en doğu ucunda yer alır. Bu sistemin en doğu ucunu oluşturan Tosunlar civarında, Gediz ve Menderes Grabenlerini oluşturan kırık sistemleri birbirlerini makaslayarak Çürüksu Vadisi içerisinde alüvyonların altına dalarlar. Büyük Menderes ve Gediz Grabenlerinin kesiştiği bölgenin doğusunda kalan çöküntü alanını Şimşek (1982), Çürüksu Grabeni, Westaway (1993) ve Hancock ve diğ. (1999) ise Denizli Havzası olarak adlandırmıştır. Bu havza 50 km uzunluğunda 24 km genişliğinde KB-GD uzanımlı bir çöküntü havzasıdır. Havza kuzey ve güneyden normal faylarla sınırlanmış, havza sınır fayları ve bunlara paralel ve dik gelişen birçok antitetik ve sintetik

faaylarla parçalanmış, bloklara ayrılmıştır. Sınır fayları tek parça olmayıp farklı uzunlukta segmentlerden meydana gelir.

D-B uzanım gösteren çöküntü sisteminin üzerinde akan Büyük Menderes Nehri bu grabene adını vermiştir. Menderes Grabeninin güney kanadındaki yükselim Babadağ Horstu adını alırken, kuzey kanadını oluşturan yükselime Buldan Horstu adı verilmiştir.

Bölgede etkileri oldukça yoğun olarak gözlenen kuzey açılı faylar hem jeotermal anlamda hem de sahada örtü kaya görevini yapan Neojen istifin şekillenmesinde etkili olmuştur. Kızıldere Köyü'nün içerisinde geçen K50D doğrultulu ve GD eğim yönüne sahip doğrultu atımlı faylar, gnays ve mermer-şist dokanağını sınırlar. Bir başka deyişle; K50D ve GD eğim yönüne sahip fay sisteminin yükselen bloğundaki temel kayalar (Menderes Masifi) gnays iken, söz konusu fayın düşen bloğundaki temel kayalar mermer ve şistlerdir. Bu bölgeden doğuya doğru Neojen çökellerde de kalınlığın arttığı, Kızıldere sahasında yapılan sondajlarda görülür. Ayrıca horst-graben sistemi üzerinde etkilerini gösteren K-G, K 30°-40°B faylar da yer alır. Bunlar jeotermal sistemin oluşumu ve şekillenmesinde önemlidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Sarayköy-Buldan-Yenicekent alanının yapısal jeolojik blok diyagramı (Şimşek,1985).

Graben sistemlerinin genel karakteri gereği, Babadağ Horstundan kuzeye, Buldan Horstundan ise güneye doğru bir çöküntünün olduğu veya başka bir deyişle; çöküntü alanının ortasından, kuzeydeki Buldan Horstu ile güneydeki Babadağ Horstuna doğru yükselimlerin varlığı söz konusudur. Ancak graben sistemi içerisine girildiğinde, sistemi oluşturan D-B fayların kendi içerisinde bir takım düşüş ve yükselimlere maruz kaldığı gözlenir.

Graben üzerinde etkileri gözlemlenebilen kuzey fayları, D-B uzanımlı bu yapı içerisinde, bu yapıyı kesen yükselim ve çöküntü alanlarına neden olabilmektedir. Kuzey fayları ile D-B faylarının birlikte oluşturduğu çöküntü alanları jeotermal anlamda oldukça önemli görünmektedir.

Faylar genellikle listrik karakterde eğim atımlı normal faylanmaya sahip olup eğim açıları yer yer 30°'nin altına kadar düşmektedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1987). Grabeni kuzeyden sınırlayan faylar yanında, bu fayları kesen K-G gidişli atımları küçük doğrultu atımlı faylar da yer almaktadır. Grabenin doğu ucunda, Buldan - Honaz arasında yer alan faylar KB-GD gidişli olup, morfolojik olarak çok belirgindirler. Denizli-Babadağ arasında, KB-GD gidişli 33 km uzunlukta diğer bir fay uzanmaktadır. Babadağ fayı, Paleozoyik yaşlı metamorfik ve Mesozoyik yaşlı kireçtaçları ile Pliyosen-Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökeller arasında dokanak oluşturmaktadır.

Denizli ve çevresi Büyük Menderes ve Gediz çöküntülerinin kesişim bölgesinin hemen doğusunda yer almaktadır. Westaway (1990) tarafından bu çöküntü alanı Çürüksu grabeni olarak adlandırılmıştır. Denizli havzası kuzey ve güneydeki normal faylarla sınırlandırılmış KB-GD uzanımlı bir çöküntü havzasıdır. Denizli havzası 50 km uzunlukta ve 24 km genişliktedir.

Denizli havzasının KKD'sunda geçen başlıca faylar Honaz-Pamukkale-Karahayıt arasında uzanan Pamukkale fayı; Honaz-Karakova arasında uzanan Karakova fayı ve Kaleköy-Üzerlik arasından uzanan fay Kaleköy fayıdır.

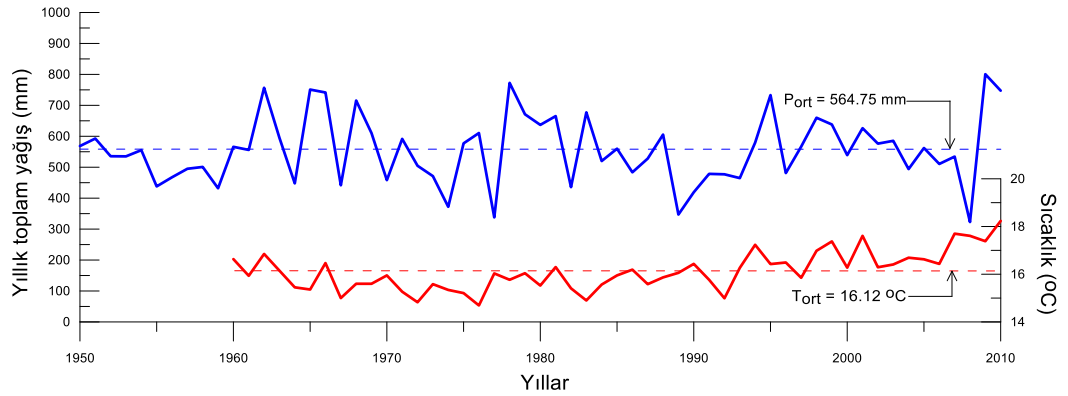
Bölgede fay hatları boyunca sıralanan sıcak su kaynaklarının varlığı, bu fayların aktif olduğunu göstermektedir. Tektonik aktivitenin sürdüğünü gösteren bir başka veri de deprenselliktir. İnceleme alanı ve çevresi 1. Derece Deprem

3. HİDROJEOLJİ

3.1 Hidrolojik Bilanço

Bu bölümde inceleme alanının iklim özellikleri incelenmiş, 1950-2010 yılları arasındaki meteorolojik verilerinden yararlanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bilanço hesabında, Denizli Meteoroloji İstasyonu'nun (DMİ) meteorolojik verileri kullanılmıştır. İstasyon, 37°76'K enlem ve 29°09'D boylam koordinatlarında bulunur ve deniz seviyesinden yüksekliği 425 metredir.

Coğrafi konumu nedeniyle inceleme alanının iklimi, yazları sıcak ve kurak kışları ise ılık ve yağışlı Akdeniz iklimi ile yazları sıcak ve kurak kışları yağışlı ve soğuk olan karasal İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş oluşturmaktadır. Denizli'de 1950-2010 yılları arasında yapılan yağış ve sıcaklık ölçümlerine göre yıllık yağış ortalaması 564,76 mm'dir ve en az yağış Ağustos (8,95 mm), en çok yağış ise Aralık (92,78 mm) ayında gerçekleşmiştir. İnceleme alanının yıllık sıcaklık ortalaması 14,4 °C olup en sıcak ay Temmuz (24,45 °C), en soğuk ay Ocak (5,17°C) ayıdır. 1950-2010 dönemi için yıllık toplam yağış ve sıcaklık ortalamalarının yıllara göre dağılımı Şekil 3.1'de verilmiştir. Buna göre 1990'lı yılların başından itibaren yağış değerlerinin genellikle ortalama ve ortalamanın altında seyrettiği, buna karşın sıcaklık değerlerinin ortalamanın üzerinde olarak sürekli artış gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3.1: Denizli il merkezi için yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerlerinin yıllara göre dağılımı.

İnceleme alanının su bütçesi, Thornthwaite (1948) yöntemiyle hesaplanmıştır. Thornthwaite'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi (Etp) veren formülü şeklindedir.

$$Etp = 16 \times \left(\frac{10 \times t}{I} \right)^a \quad (3.1)$$

3.1 formülünde

Etp, aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm); t, aylık sıcaklık ortalaması (°C), I, sıcaklık indisi ($\sum i$)'dir.

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} ; a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492 \quad (3.2)$$

şeklinde verilmiştir.

Bu yöntemle, 1950-2010 yılları için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 838,45 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 368,82 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

Nisan ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Yağış fazlası 182,15 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçer, bir kısmı da yeraltına süzülür. Nisan ayı sonundan Mayıs ayı ortalarına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır. Mayıs ayı ortasından Ekim ayı ortalarına dek su noksanı, başka bir deyişle tarım su açığı vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 733,63 mm ve yağış 134,24 mm'dir. Buna göre su noksanı: $733,63 - (134,24 + 100) = 499,39$ mm olur.

Kasım ayı ortasından sonra yağış Etp'den fazladır. Aralık ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar. Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın %65,6'sına karşılık gelen 370,65 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Aralık aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın %34,4'üdür. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır.

Tablo 3.1: İnceleme alanının 1950-2010 yıllarındaki deneşirmeli su bilançosu (Thornthwait 1948'e göre).

Meterolojik Elemanlar	AYLAR												YILLIK
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık Ort. Sıcaklık(°C)	5,17	6,09	8,88	13	17,66	22,03	24,45	23,85	19,96	15,04	10,12	6,64	172,89
Aylık Endeks(i)	1,05	1,35	2,38	4,24	6,76	9,44	11,06	10,65	8,13	5,3	2,91	1,54	64,81
Etp(mm)	9,69	12,23	26,51	50,35	89,23	125,61	148,51	133,89	41,87	54,9	26,42	13,77	732,98
Düzelme Katsayısı	0,8225	0,84	1,03	1,1	1,2275	1,2375	1,25	1,17	1,0375	0,9625	0,8425	0,83	
DüzeltilmişEtp (mm)	8,26	10,27	27,31	55,38	109,53	155,44	185,64	156,65	43,44	52,84	22,26	11,43	838,45
Yağış (P,mm)	82,69	76,78	65,07	55,04	39,64	23,23	14,98	8,95	13,36	34,09	58,15	92,78	564,76
Zemin Rezerv Değişimi(mm)	0	0	0	-0,34	-69,89	29,77	0	0	0	0	35,89	81,35	
Zemin Rezervi(mm)	100	100	100	99,66	29,47	0	0	0	0	0	35,89	100	
Etr(mm)	8,26	10,27	27,31	55,38	109,53	53	14,98	8,95	13,36	34,09	22,26	11,43	368,82
Tarım Su Açığı(mm)	0	0	0	0	0	102,44	170,66	147,7	30,08	18,75	0	0	469,63
Su Fazlası(mm)	74,43	66,51	37,77	0	0	0	0	0	0	0	0	17,24	195,95

3.2 Hidrojeoloji Birimleri

3.2.1 Geçirimli Birimler

İnceleme alanındaki geçirimli birimler Paleozoyik yaşlı mermerler ve şistler, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, Senozoyik yaşlı çakıltası ve kumtaşları ile Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyondur.

Mermerler, kuvarsit ve kalkşistler: Bol çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Mermerlerin kırık, çatlak ve katman yüzeylerinde çözünme boşlukları ve fazla ilerlememiş karstlaşma görülmektedir. Bu özellikleri nedeniyle alandaki en önemli rezervuarı oluşturur. Ayrıca, derinde, sıcak akışkanın depolandığı mermerlerde su-kaya arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu, olasılı olarak karstlaşma gelişmiş olabilir. Mermerlerin altında veya ardalanmalı olarak bulunan kuvarsitler ve kalkşistler de çok kırıklıdır ve bu yönüyle içinde su taşıyabilen ve iletebilen özelliklere sahiptirler.

Kireçtaşları: Menderes Masifi metamorfizmaları üzerine bindirmeyle gelen Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, çok çatlaklı ve yersel karstik özellikleri nedeniyle geçirgendir ve özellikle Pamukkale jeotermal sahası için rezervuar kaya niteliğindedir.

Traverten: Travertenlerde yarık ve çatlak sistemleri ile çözünme boşlukları, mağaralar, düdenler vb. karstik yapılar gözlenmektedir. Bu nedenle ikincil gözenekliği ve geçirgenliği yüksek bir akifer özelliği taşımaktadır. Yörede sıcak ve mineralli sular, yüzeye erişirken travertenleri de çözündürerek ikincil boşluklar oluşturmakta, yüzeyde kaynak tüfü ve yeni travertenler meydana getirmektedir.

Çakıltası ve kumtaşları: Senozoyik döneminde oluşan formasyonların çakıltası ve kumtaşları seviyeleri geçirimli birimleri oluşturur.

3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler

Sazak formasyonu: İçinde yer alan çatlaklı, çözünme boşluklu kireçtaşları geçirimlidir. Ancak kıltaşı ve killi kireçtaşları ile ardalanmalı ve yanal yöndeki süreksizliğinden dolayı birimin yeraltı suyu taşıma ve iletme özellikleri sınırlıdır. Formasyonun kireçtaşı birimi özellikle soğuk yeraltı suları için akifer özelliğindedir.

3.2.3 Geçirimsiz Birimler

Kızılburun ve Kolonkaya formasyonları: İçerdikleri çok iyi çimentolanmış çakıltaşları ile yaygın kıltaşı ve killi kireçtaşı seviyeleri geçirimsiz birimleri oluşturur.

3.3 Tosunlar Jeotermal Sahasının Oluşumu

Tosunlar sahası devirli bir hidrotermal sistemdir. Bu sistemin oluşması için bir sahada hazne kaya, örtü kaya, ısı kaynağı ve beslenme alanının olması gereklidir.

Hazne kaya: İyi bir hazne kaya yüksek gözeneklik ve geçirgenliğe, yeterli kalınlık ve yayılıma sahip olmalıdır. Ayrıca yüzeye yakın olmalı, atmosferle hidrolik bağlantısı bulunmalı ve sıcaklığı; bulunduğu derinlikte, suyun kaynama noktası sıcaklığından yüksek olmalıdır. İnceleme alanındaki hazne kayalar, üstte Sazak formasyonu kireçtaşları, altta mermer, kuvarsit ve şistlerdir.

Yenicekent ve Gölemezli sahalarında da üstte Sazak formasyonu kireçtaşları, altta mermer, kuvarsit ve şistler rezervuarı oluşturur. Pamukkale sahasında mermerler ve üzerinde bindirme ile bulunan Mesozoyik kireçtaşları hazne kayalardır.

Isı kaynağı, Neotektonik dönemde Anadolu ve Arap levhalarının çarpışması Anadolu Levhası'nın Doğu ve Kuzey Anadolu transform fayları boyunca batıya itilmesine neden olmuştur. Bu hareket Yunan makaslama zonu tarafından engellendiğinden Batı Anadolu'da D-B yönlü bir sıkışma rejimi gelişmiştir. Aynı zamanda Levant okyanus kabuğunun Anadolu Levhası altına dalması, Menderes

Masifi altında bir anateksis zonunun oluşmasına, asit intrüzyonlar gelişmesine ve masifin yükselmesine neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz 1981). Tüm bu etkilerle Batı Anadolu'da Ege graben sistemi ve genellikle yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar gelişmiştir. Grabenlerin kenar fay zonları 100-150 km devamlılık göstermekle birlikte, bu zon, uzunlukları genellikle 8-10 km'yi geçmeyen kısa faylardan oluşmuş bir fay demeti halindedir. Bu fayların üzerinde, sürekli sismik aktivite kaydedilmektedir (Yılmaz 2000). Sismik çalışmalar, Ege bölgesindeki K-G gerilmenin, büyük faylardaki hareketlerle ($M > 6$) karşılandığını işaret etmektedir (Eyidoğan ve Jackson 1985, Jackson ve McKenzie 1988). Litosferin incelenmesi, bölgenin jeotermal enerji potansiyelini arttırırken, sismik aktivite birçok yıkıcı depremin de nedeni olmaktadır (Yılmaz 2000). Filiz (1984), O^{18} , H^2 , H^3 ve C^{13} izotop verilerine göre inceleme alanı sıcak sularının meteorik kökenli, CO_2 gazının kaynağının ise karbonat kayaların $350^\circ C$ 'yi aşan sıcaklıklardaki metamorfizması olduğunu ortaya koymuştur. (Güleç 1988), yöredeki termal sularda yüksek helyum-3 içeriğinin manto kaynaklı olduğunu ifade etmiştir. Bu bulgular ışığında inceleme alanı jeotermal sahalarının ısı kaynağının genç tektonik aktivite olduğu söylenebilir.

Örtü kaya, Hazne kayanın üzerinde bulunan ve rezervuardan ısı ve akışkan kaybını azaltan (önleyen) geçirimsiz birimlerdir. İnceleme alanındaki jeotermal sistemlerde mermerlerin üzerindeki örtü kaya Kızılburun formasyonunun geçirimsiz litolojileri, Sazak formasyonunun üzerindeki örtü kaya ise Kolonkaya ve Tosunlar formasyonunun geçirimsiz birimleridir.

Beslenme, Beslenme alanına düşen yağış sularıdır.

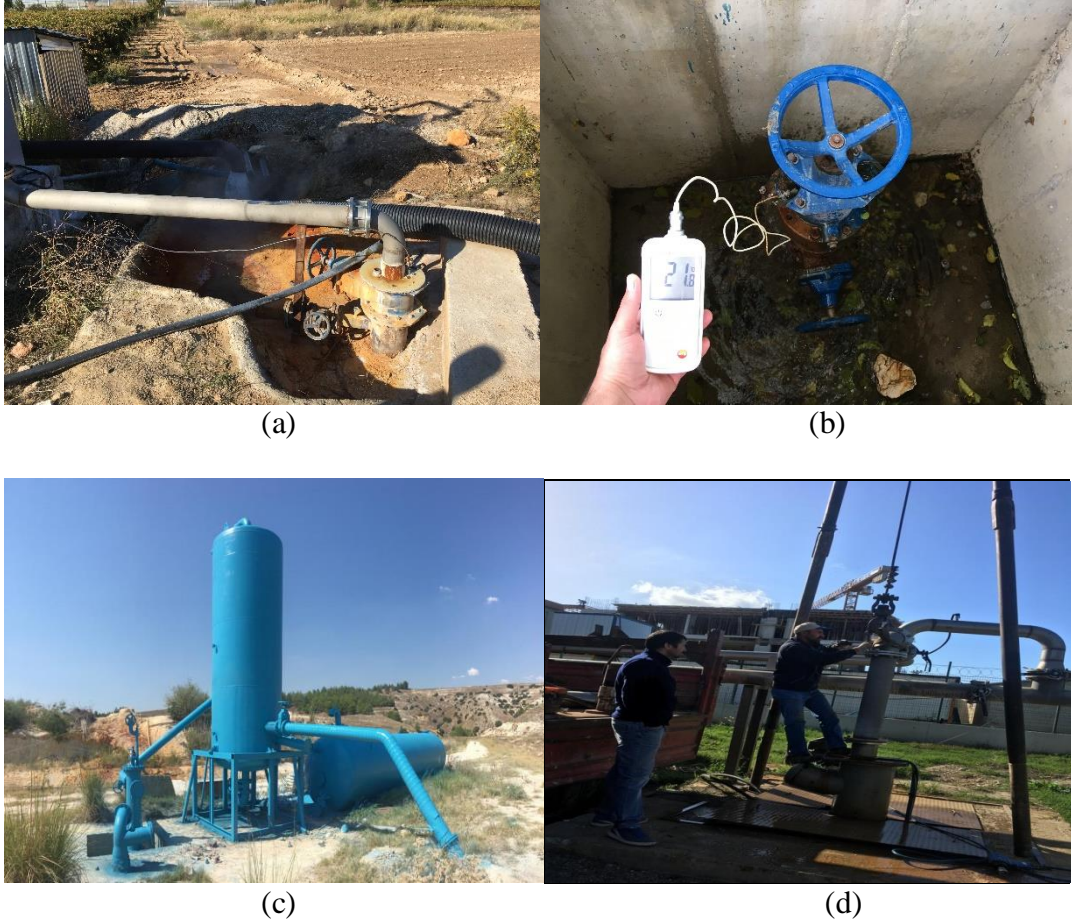
Özellikle Buldan horstunda, geçirimli birimler üzerine düşerek yeraltına süzülen ve burada genç tektonik aktiviteye bağlı gelişen jeotermal gradyanla ısınan sular mermer, kuvarsit ve kalkıştler, yüzeye yakın kesimlerde ise Sazak formasyonunun kireçtaşları içinde depolanmaktadır. Basınç altındaki sıcak sular, faylar ve çatlaklar boyunca yüzeye çıkarak sıcak ve mineralli su kaynaklarını oluştururlar. Bu süreçte hazne kaya ile kimyasal reaksiyona giren meteorik suların iyon derişimleri artar ve CO_2 , H_2S gibi bazı gazlarca zenginleşirler. Sular yüzeye yükselirken bir miktar soğuk yeraltısuları ile karışır.

3.4 Su Noktaları

Akça Enerji Üretim Otoprodüktör Grubu A.Ş. bünyesinde, Denizli İli, Sarayköy İlçesi, Tosunlar Mahallesi merkezinde bulunan 23 nolu jeotermal kaynak işletme ruhsat sahası, 2400 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Ruhsat alanı içerisinde farklı zamanlarda açılmış dört adet kuyu olup bunlardan AK-3 ve AK-6 nolu kuyular üretim, AK-1 ve AK-2 nolu kuyular ise reenjeksiyon kuyuları olarak kullanılmaktadır. AK-3 ve AK-6 jeotermal üretim kuyularından sağlanan ortalama 101°C sıcaklık ve 650 ton/saat akışkan ile 3,8 MWe güçteki ORC (Organic Rankine Cycle) sistem, şimdiye kadar kurulan Türkiye'nin en düşük entalpili jeotermal elektrik santrali özelliğini taşımaktadır. Tosunlar 1 JES tesis ismi ile Haziran 2015'den bu yana elektrik üretimi devam etmektedir. Bunun yanında saha prosesine toplam 196.500 m² kurulu sera ısıtması mevcut olup, kuyulardan elde edilen ortalama 101°C'lik 650 ton/saat debideki akışkan önce elektrik santraline girmekte, ardından santral çıkışı 65°C olarak sera ısı ünitesine gelmekte ve yaklaşık olarak tamamı 35°C sıcaklıkta AK-1 ve AK-2 kuyularına enjekte edilmektedir. Aşağıda bu kuyulara ilişkin bazı bilgiler verilmiştir.

Tosunlar jeotermal kuyularından alınan akışkan örneklerine (AK-1, AK-3 ve AK-6) ek olarak, karşılaştırma yapmak için diğer yakın jeotermal sahalarından (Pamukkale İl Özel İdare termal kaynağı, Karahayıt KH-3 kuyusu, Gölemezli GÖL-1, GÖL-2 ve GÖL-İlık kuyuları, Yenicekent YK-5 kuyusu) örnekler de alınmıştır.

AK-1 jeotermal reenjeksiyon kuyusu: Toplam derinliği 1265 m olan kuyu (Şekil 3.3), 700-1150 metreler arası İğdecik formasyonundan santralin devreye girdiği Haziran 2015'e kadar sera ısıtması amacı ile üretim yapmış, jeotermal elektrik santralinin devreye girmesi ile birlikte kuyu reenjeksiyon olarak kullanılmaya başlanmıştır. Üretim zonu 12 1/4'' ve 8 1/2'' çaplarında sırasıyla 9 5/8'' ve 7'' kapalı-filtreli liner borular ile teçhiz edilmiştir. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan kuyu testleri sonucunda en yüksek sıcaklık değeri kuyu tabanında 106,56°C olarak ölçülmüştür. Vana tam açıldığında maksimum toplam üretim debisi 0,4 bar kuyu başı basıncında 326 ton/saat olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.2: Bazı örnekleme alanlarından görünüm a) Yenicekent YK-5, b) Gölemezli Kuyu, c) Gölemezli GÖL-1, d) Karahayıt KH-3.

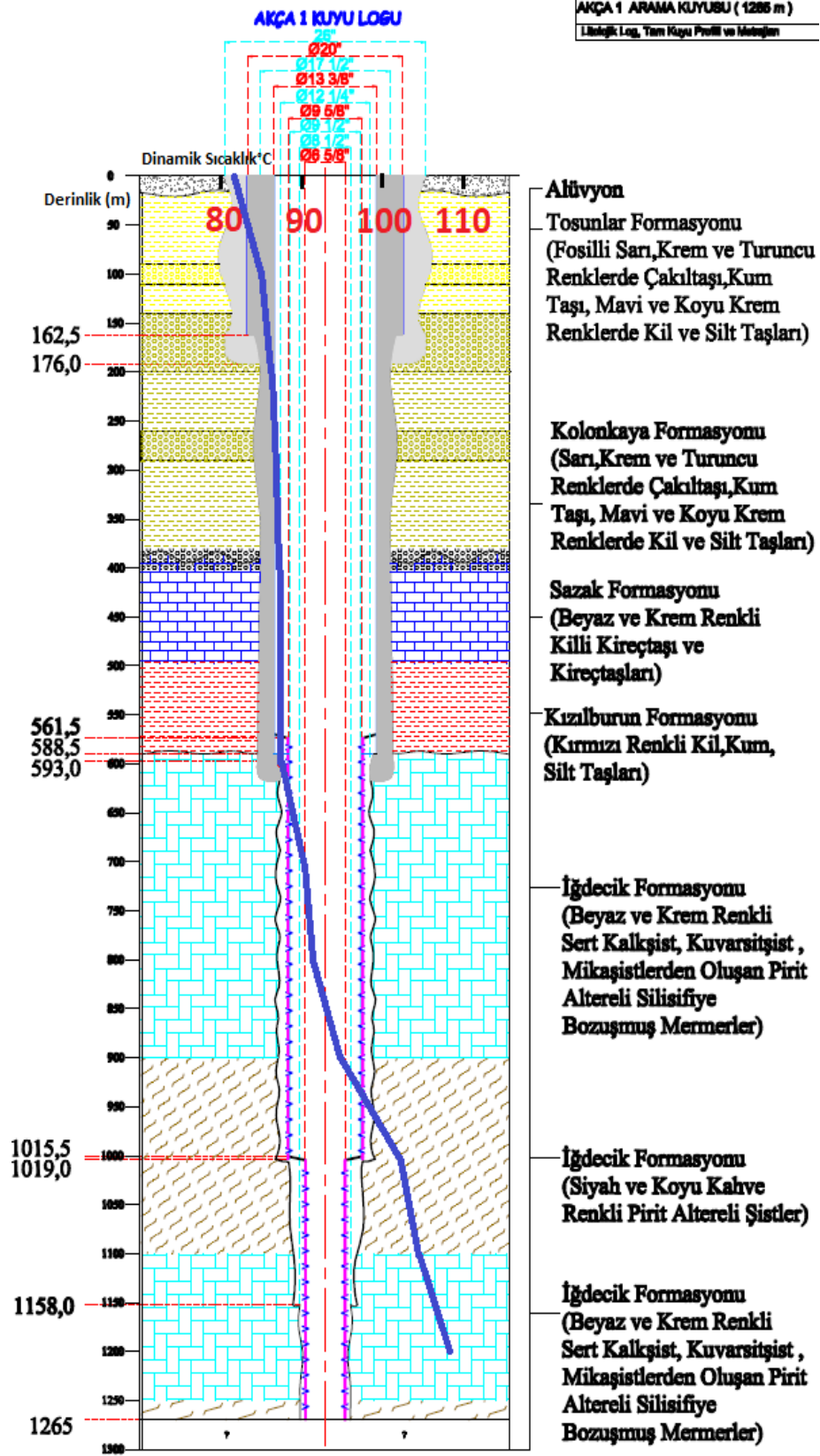
AK-2 jeotermal reenjeksiyon kuyusu: Toplam derinliği 918 m olan kuyu (Şekil 3.4), 650-850 metreler arası Sazak ve Kızılburun formasyonlarından üretim testleri sırasında kesikli olarak üretim yapmıştır. Üretim zonu 12 1/4'' çapta açılmıştır. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan kuyu testleri sonucunda; en yüksek statik sıcaklık değeri 800 m de 85,38°C olarak ölçülmüştür. Vana tam açıldığında savak taşmaya başlamış ve bir süre 262 ton/saat debide akışkan üretimi yapıldıktan sonra ölçülere başlamak için 222 ton/saat debiye düşürülmüştür. 10 dakika sonra kuyu üretimi tamamen kendiliğinden durmuştur. 333 dakika sonra tekrar kendiliğinden üretim yapmıştır. Kesikli üretim olduğundan dinamik ölçüler alınamamıştır.

AK-3 jeotermal üretim kuyusu: Toplam derinliği 2463 m olan kuyu (Şekil 3.5), 1450-2250 metreler arası Menderes Metamorfite'lerinden (kuvarsitli, kalkışit,

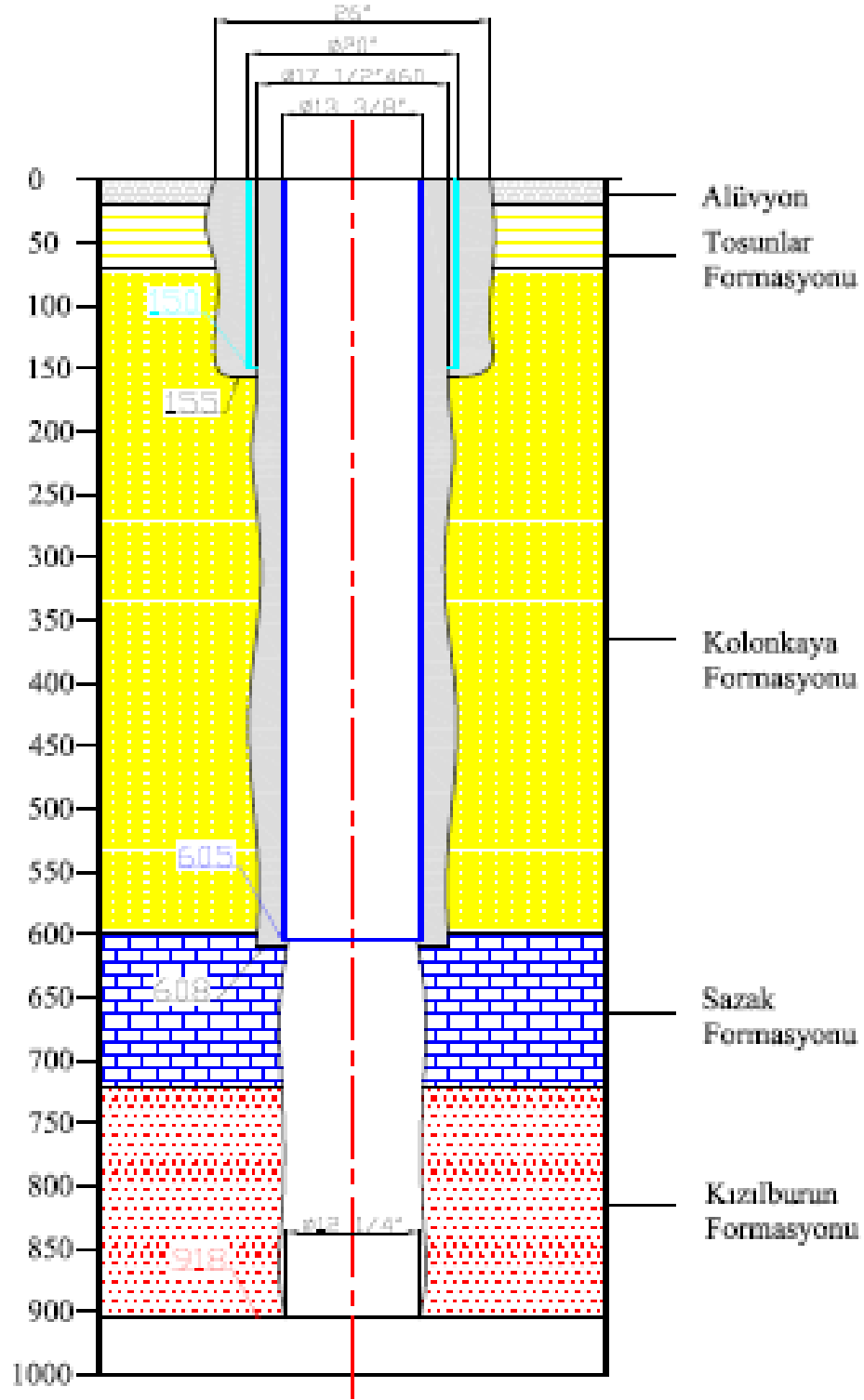
mikaşist, pirit alterasyonlu silisifiye mermerler) artezyen olarak üretim yapmaktadır. Üretim zonu 8 ½’’ çapta açılmış ve 7’’ filtreli-kapalı liner borular ile teçhiz edilmiştir. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan kuyu testleri sonucunda; maksimum statik sıcaklık 2437 m de 131,98°C ve üretim halinde ise aynı metrelerde maksimum dinamik sıcaklık 132,7°C, ölçülmüştür. 2000m den sonra sıcaklıkta lineer artış görülmektedir. 358 ton/saat üretimde yapılan dinamik sıcaklık ölçüsünde vana seviyesinde 104,8°C ve savakta 92-93°C sıcaklık ölçülmüştür. Savak-silencer yöntemi ile yapılan üretim testinde 29 psi (2 bar) kuyubaşı basıncında (whp) maksimum 518 ton/saat toplam akışkan (sıcak su+buhar) debisi tespit edilmiştir. Kuyu üretiminde 1,7 bar kuyu başı basıncında flash point noktası 280 m olarak belirlenmiştir.

AK-6 jeotermal üretim kuyusu: Toplam derinliği 2653 m olan kuyu (Şekil 3.6), 1750-1950 metreler arası Menderes Metamorfitelerinden (kuvarsitşist, kalkşist, mikaşist, pirit alterasyonlu silisifiye mermerler) artezyen olarak üretim yapmaktadır. Üretim zonu 8 ½’’ çapta açılmış ve 7’’ filtreli-kapalı liner borular ile teçhiz edilmiştir. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan kuyu testleri sonucunda; maksimum statik sıcaklık 2630 m de 148,76°C ve kuyu 140 ton/saat üretim halinde iken aynı metrelerde maksimum dinamik sıcaklık 151,8°C, ölçülmüştür. 2000 m den sonra sıcaklıkta lineer artış görülmektedir. Savak-silencer yöntemi ile yapılan üretim testi sonucu vana tam açıkken 3,5 bar kuyubaşı basıncında maksimum debisinin 140,57 t/h olduğu ölçülmüştür. 2,5 bar kuyu başı basıncında flash point noktası 485 m olarak belirlenmiştir. Kuyuya otomatik dozajlama ve pompa yardımı ile 520 m’den bazik karakterde dispersant, kuyunun üretim yaptığı her an basılmaktadır.

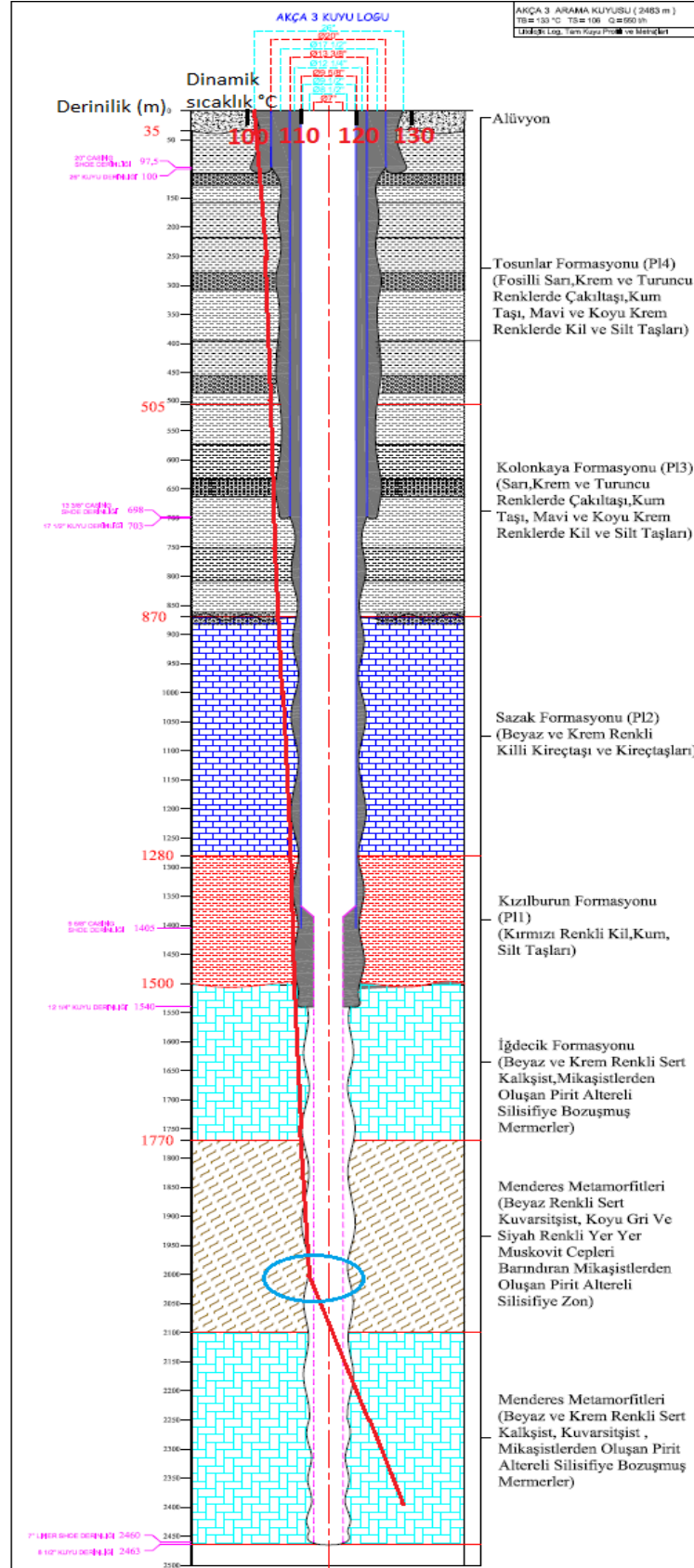
Bu çalışma kapsamında jeotermal sular olarak Tosunlar sahasındaki AK-1, AK-3 ve AK-6 kuyuları, Pamukkale sahasındaki Özel İdare kaynağı, Karahayıt sahasındaki KH-3 kuyusu, Gölemezli sahasındaki Göl-1 ve Göl-2 kuyuları ve Yenicekent sahasında YK-5 kuyusu örneklenmiştir. Bunların dışında Gölemezli’deki ılık bir sondaj kuyusu, Oğuzköy’de soğuk sondaj kuyusu ve Tosunlar’da bir kaynak suyu soğuk sular olarak örneklenebilecek dâhil edilmiştir.



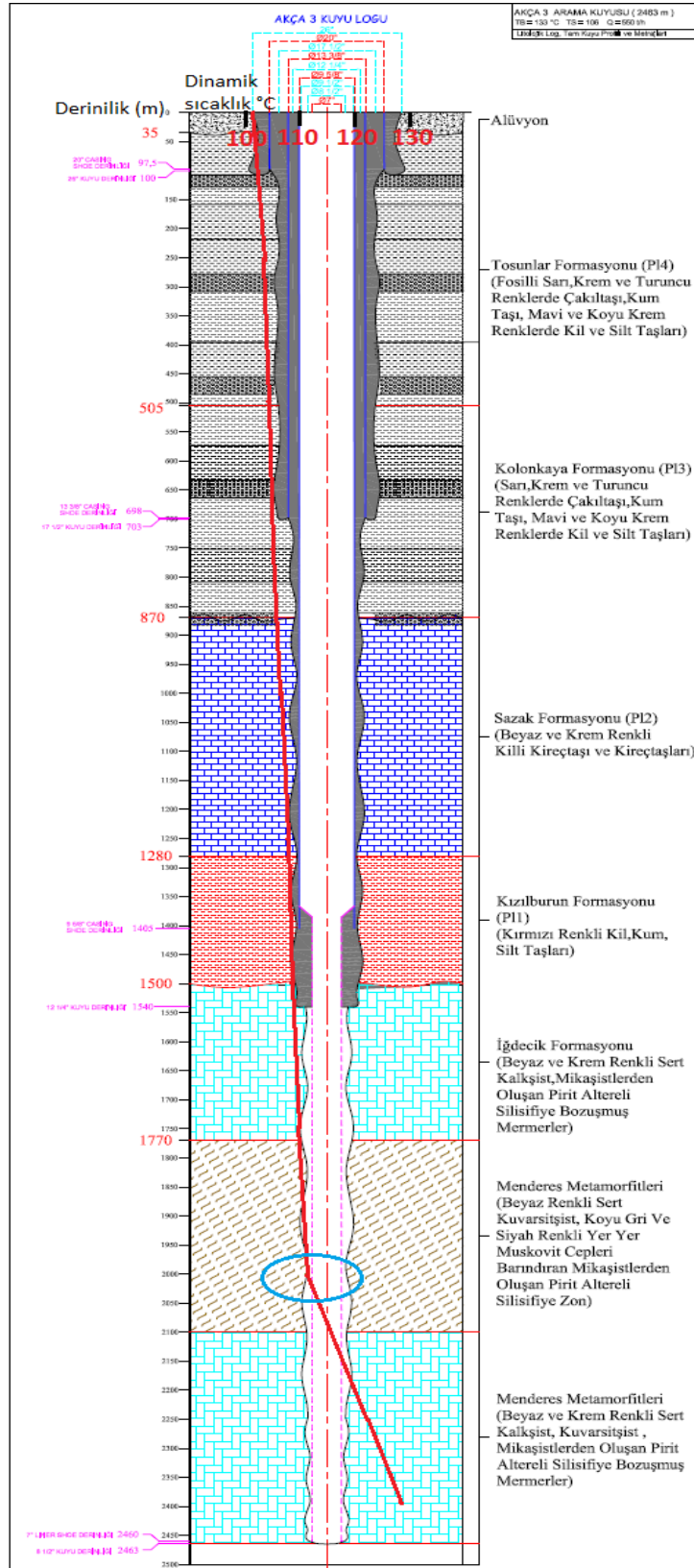
Şekil 3.3: AK-1 teçhizli litolojik kuyu logu (Mavi çizgi dinamik sıcaklığın derinlikle değişimini göstermektedir. Güvendi 2014'den değiştirilmiştir).



Şekil 3.4: AK-2 teçhizli litolojik kuyu logu (Güvendi 2014'den değiştirilmiştir).



Şekil 3.5: AK-3 teçhizli litolojik kuyu logu (Kırmızı çizgi dinamik sıcaklığın derinlikle değişimini göstermektedir. Güvendi 2014'den değiştirilmiştir).



Şekil 3.6: AK-6 teçizli litolojik kuyu logu (kırmızı çizgi dinamik sıcaklığın derinlikle değişimini göstermektedir. Güvendi 2014 değiştirilmiştir).

4. KUYU TESTLERİ

4.1 Jeotermal Kuyularda Yapılan Testler

Jeotermal kuyu testleri, sondaj operasyonları sırasında yapılan sıcaklık, basınç ve nadiren enjeksiyon veya üretim testleri ile başlar. Bu testlerden elde edilen bilgiler, kuyu ile ilgili kararların alınmasında ve sondaj programlarının yapılmasında kullanılır. Sonraki aşamalarda kuyu ve rezervuar ile ilgili bilgiler elde edilir. Sondaj çalışmalarının bitirilmesinden sonra yapılan testler kuyu tamamlama testleri olarak adlandırılır. Bu kapsamda su kaybı, enjeksiyon, basınç düşüm, statik-dinamik sıcaklık ve basınç testleri ile üretim testleri yapılır. Sondaj operasyonu tamamlanıp kuyu başına üretim sistemlerinin montajından sonra kısa dönem testleri yapılır. Bu testler kapsamında genellikle sıcaklık ve basınç ölçümleri, kararsız basınç testleri, gaz oranı ölçümü, kimyasal analiz için numune alma ve üretim testleri gerçekleştirilir (Erkan 2006).

Uzun dönemli testlerde ise üretim ve/veya enjeksiyonla kuyu, rezervuar parametrelerindeki değişimler izlenir. Üretim kuyularında çökeltme problemine yönelik inhibitör testleri ve uygulamaları bu dönemde yapılır. Kuyular arası etkileşimin belirlenmesi, rezervuarın daha geniş bölgelerine ait parametrelerin bulunması amacı ile çok kuyulu testlerden olan girişim testleri uzun dönemde yapılır. Rezervuar basıncının korunması, ısıl enerji üretiminin artırılması, sıcak ve kirlenici kimyasal maddeler içeren atık suyun ortadan kaldırılması gibi nedenlerle uygulanan tekrar basma (reenjeksiyon) çalışmalarında yapılan izleyici testleri de uzun dönemde yapılan testlerdendir. Uzun dönemde girişim, inhibitör, enjeksiyon, izleyici testleri esas olmakla beraber bunların yanında diğer jeofiziksel testler de yapılmaktadır. Jeotermal sahanın işletilmesi aşamasında da saha izleme programları hazırlanarak kuyu testleri ve ölçümler belirli aralıklarla yapılmaya devam edilir. Sıcaklık, basınç, debi, gaz oranı ve akışkanın kimyasal özellikleri sürekli gözlenerek daha önceki verilerle karşılaştırma ve güncelleme olanağı sağlanır (Erkan 2006).

Kuyu testlerinden kuyu performansı ile ilgili bilgiler ve rezervuar parametrelerinin yanında rezervuarın yapısı, şekli, durumu gibi birçok bilgi elde etmek mümkündür. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili kararların alınmasında, ileriye yönelik performans ve sürdürülebilirlik tahminlerinin yapılmasında ve modelleme çalışmalarında kullanılır (Erkan 2006). Jeotermal kuyularda yapılan testler ve amaçları aşağıda kısaca şöyle açıklanmıştır (Erkan 2006):

Statik sıcaklık testi: Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan, kuyu kapalı iken statik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek ve belirli bir derinlikteki sıcaklık değişimini gözlemek amacı ile yapılabilir.

Statik basınç testi: Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan kuyu kapalı iken statik durumda kuyu içi basınç profilini belirlemek ve belirli bir derinlikteki basınç değişimini gözlemek amacı ile yapılır.

Dinamik sıcaklık testi: Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek amacı ile yapılan ölçümlerdir.

Dinamik basınç testi: Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapılır.

Su Kaybı (Water Loss) Testi: Su kaybı (water -loss) testi kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdendir. Bu test ile sabit debide kuyuya soğuk su basılırken alınan sıcaklık ve/veya akış profillerinden, suyun rezervuara gittiği veya rezervuardan kuyuya akışın olduğu seviyeler belirlenir.

Enjeksiyon Testi (Injection Test): Kuyuya sabit debide su basılması sırasında kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği testtir. Debinin belirli zaman aralıklarında sabit olmak koşulu ile değiştirildiği (genelde her adımda belirli oranda artan) çok debili testler de yapılmaktadır. Su basma sırasında kaydedilen basınç değerleri uygun tekniklerle yorumlanarak rezervuar parametreleri hesaplanır ve enjektivite indeksi (EI) belirlenir.

Basınç Düşüm Testi (Fall-off Test): Kuyuya yapılan sabit debideki enjeksiyonun durdurulması ile kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği bu test ile rezervuar parametreleri belirlenir.

Basınç Azalım Testi (Pressure Draw-Down Test): Kuyunun üretime geçirilmesi ile kuyu dibinde oluşan basınç düşmesinin değerlendirildiği bu test ile rezervuar parametreleri belirlenir.

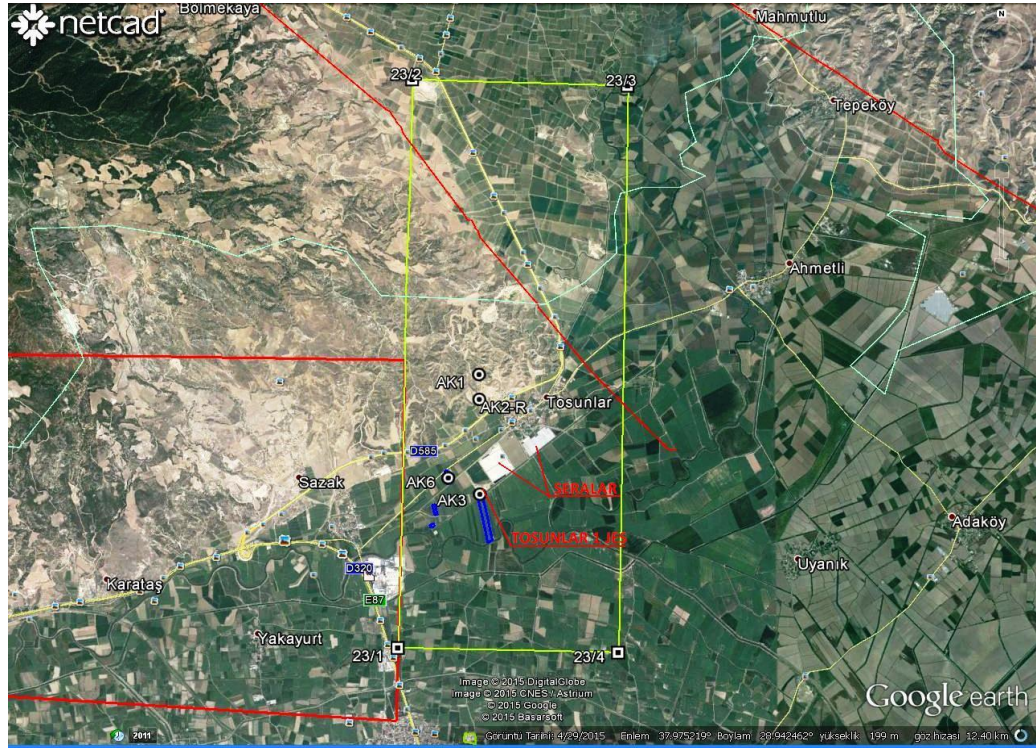
Basınç Yükselim Testi (Pressure Build-Up Test): Basınç azalım testinin tersine sabit debide üretim yapan kuyunun üretiminin durdurularak kuyu dibinde oluşan basınç yükselmesinin değerlendirildiği bu test ile rezervuar parametreleri ve kuyunun verimlilik indeksi (PI, productivity index) belirlenir.

4.2 Tosunlar Jeotermal Sahasında Bulunan Kuyuların Test Sonuçları

Bu bölümde Akça Enerji Üretim Otoprodüktör Grubu A.Ş.'nin işletmesinde olan Sarayköy İlçesi Tosunlar Mahallesi merkezli jeotermal işletme ruhsatında bulunan 4 adet jeotermal kuyunun (AK-1, AK-2, AK-3 ve AK-6 kuyuları; Şekil 4.1) farklı zamanlarda tamamlanmış test raporlarına ait bilgiler yer almaktadır. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanan testlerde sıcaklık, basınç, enjeksiyon ve üretim değerlerine ilişkin bilgiler bulunmaktadır.

4.2.1 AK-1 Kuyusuna Ait Test Sonuçları

Toplam derinliği 1265 m olan kuyu, elektrik santralinin devreye girdiği Haziran 2015'e kadar, 700-1150 metreler arasında İğdecik formasyonundan sera ısıtması amacı ile üretim yapmış, jeotermal elektrik santralinin devreye girmesi ile birlikte kuyu reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaya başlanmıştır. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından 2008 yılının Temmuz ayında tamamlanan kuyu testleri sonucunda en yüksek sıcaklık değeri kuyu tabanında 106,56°C olarak ölçülmüştür. Vana tam açıldığında, 0,4 bar kuyu başı basıncında maksimum toplam üretim debisi 326 ton/saat olarak belirlenmiştir.

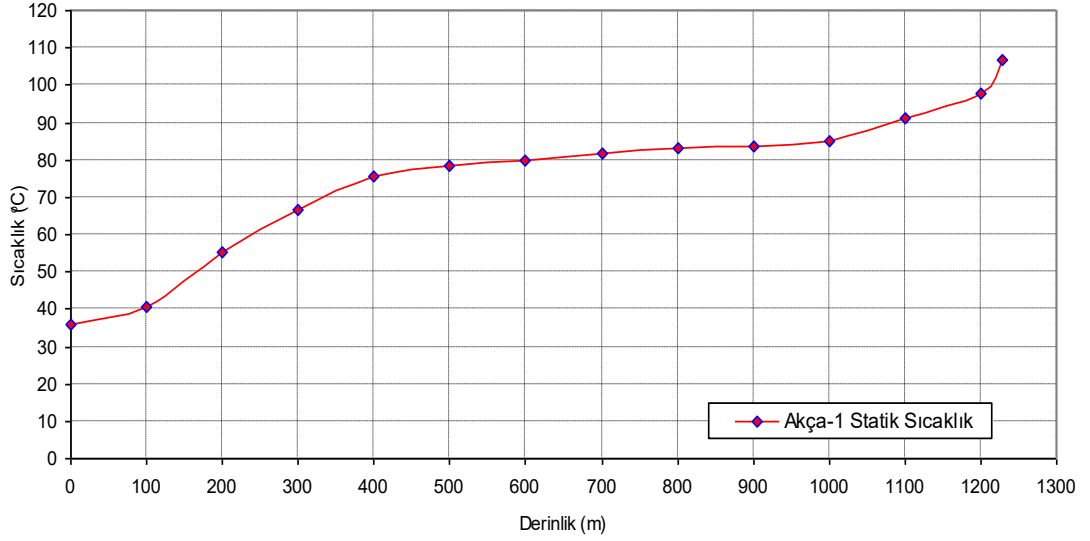


Şekil 4.1: Tosunlar jeotermal sahasındaki kuyuların lokasyonu (Google Maps'den yararlanılmıştır).

Statik Sıcaklık Ölçüsü: Kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru sıcaklık ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek değerler alınmış ve test tamamlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.1'de ve derinlik-sıcaklık grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: AK-1 kuyusu statik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1229
Sıcaklık (°C)	35,8	40,6	55,5	66,8	75,6	78,5	79,9	81,8	83,2	83,7	85,1	91,2	98,0	106,6

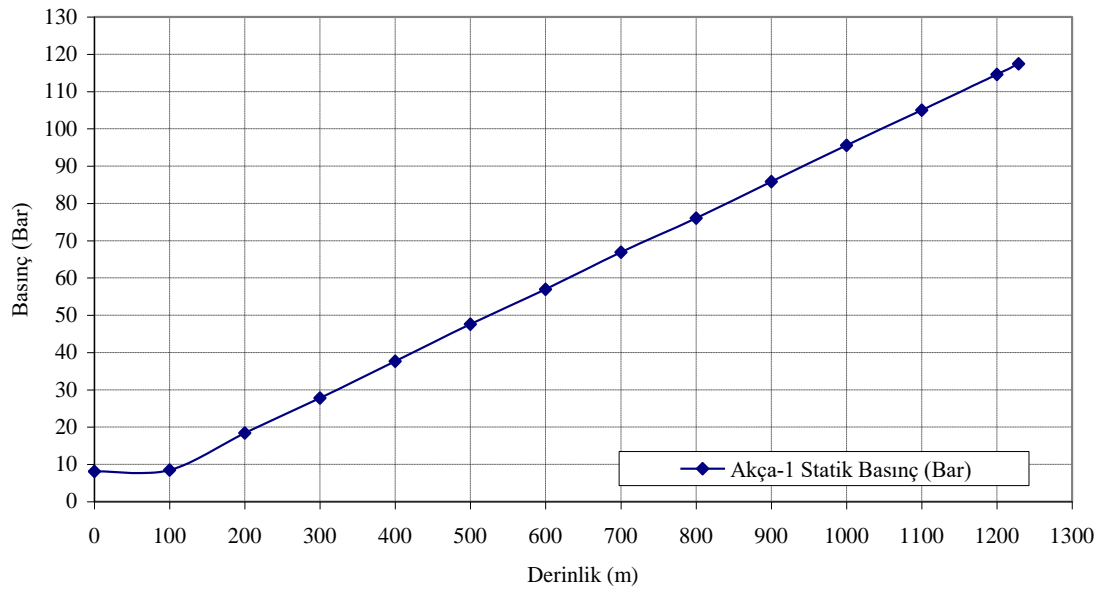


Şekil 4.2: AK-1 kuyusu statik sıcaklık grafiği.

Statik Basınç Ölçüsü: Kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru basınç ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek ölçü alınmış ve test tamamlanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2’de ve derinlik-basınç grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.2: AK-1 kuyusu statik basınç değerleri.

Derinlik (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1229
Basınç (bar)	8,14	8,49	18,40	27,77	37,68	47,59	56,96	66,87	76,07	85,83	95,60	105,01	114,59	117,43

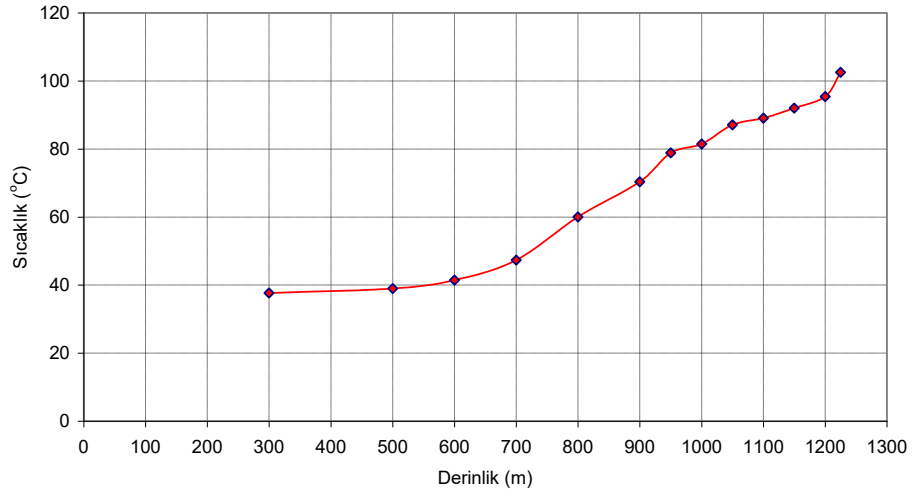


Şekil 4.3: AK-1 kuyusu statik basınç grafiği.

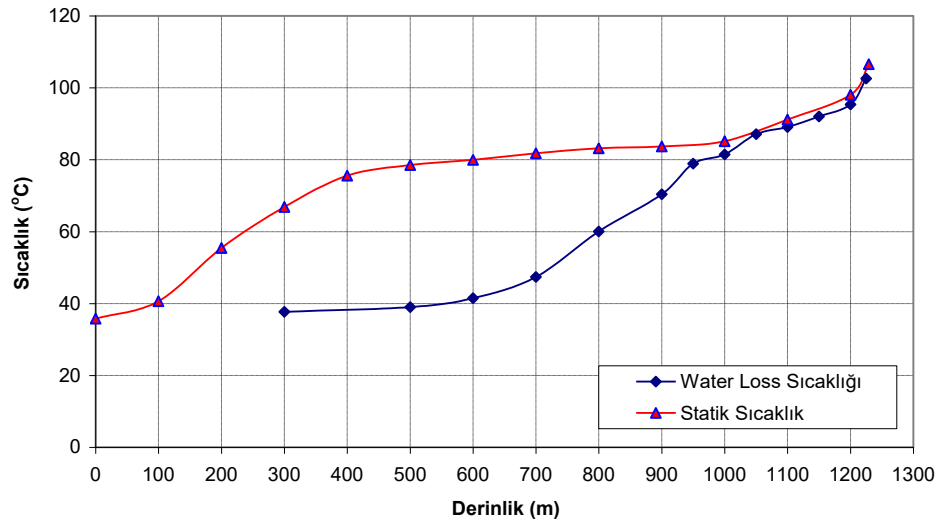
Water Loss Ölçüleri: Kuyuya 10 lt/sn debide su basılarak soğutulmuş ve yine aynı debide su basma işlemi devam ederken kuyu tabanına kadar belirlenen istasyonlarda ölçüler alınmış ve test tamamlanmıştır. 195 dakikada yaklaşık 117 m³ su, kuyuya basılmıştır (Tablo 4.3, Şekil 4.4 ve 4.5).

Tablo 4.3: AK-1 water loss değerleri.

Derinlik (m)	300	500	600	700	800	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1225
Sıcaklık (°C)	37,7	39,0	41,5	47,4	60,0	70,4	78,9	81,5	87,1	89,1	92,0	95,4	102,5



Şekil 4.4: AK-1 water loss grafiği.

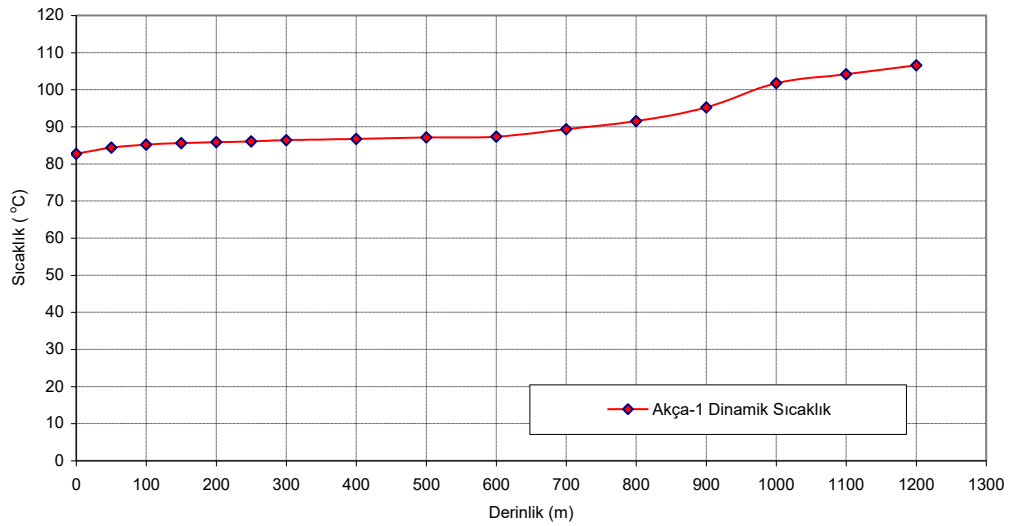


Şekil 4.5: AK-1 water loss-Statik sıcaklık grafiği.

Dinamik Sıcaklık Ölçüsü: Kuyu üretimi Ortalama $Q=242$ ton/saat debiye düşürülmüş, kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru sıcaklık ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek ölçü alınmış ve test tamamlanmıştır (Tablo 4.4, Şekil 4.6).

Tablo 4.4: AK-1 dinamik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	0	50	100	150	200	250	300	400
Sıcaklık (°C)	82,74	84,42	85,17	85,61	85,85	86,09	86,36	86,72
Derinlik (m)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Sıcaklık (°C)	87,13	87,32	89,35	91,52	95,18	101,79	104,14	106,56

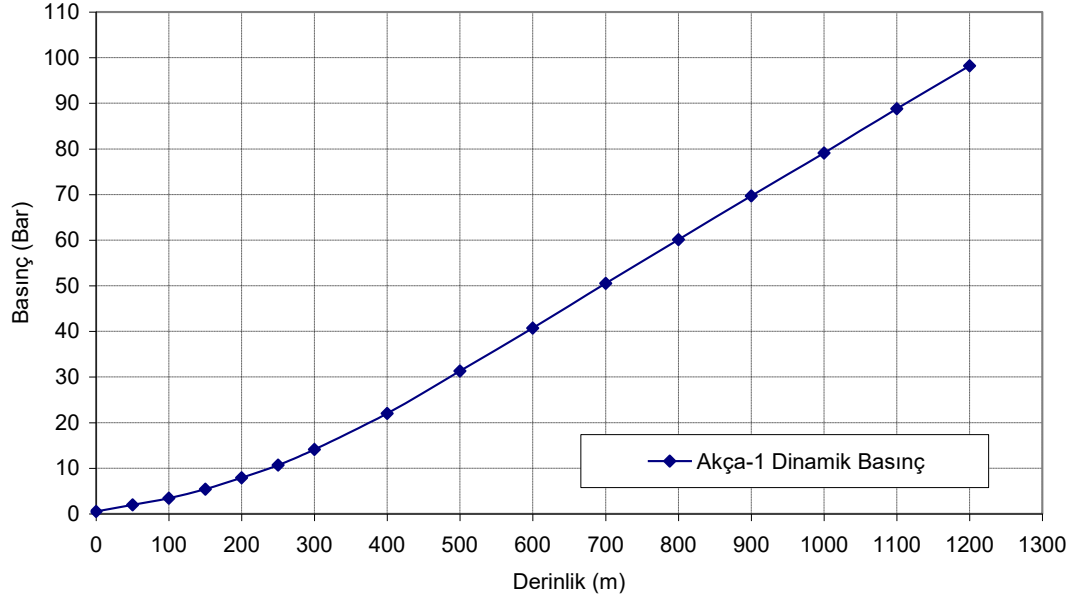


Şekil 4.6: AK-1 dinamik sıcaklık grafiği.

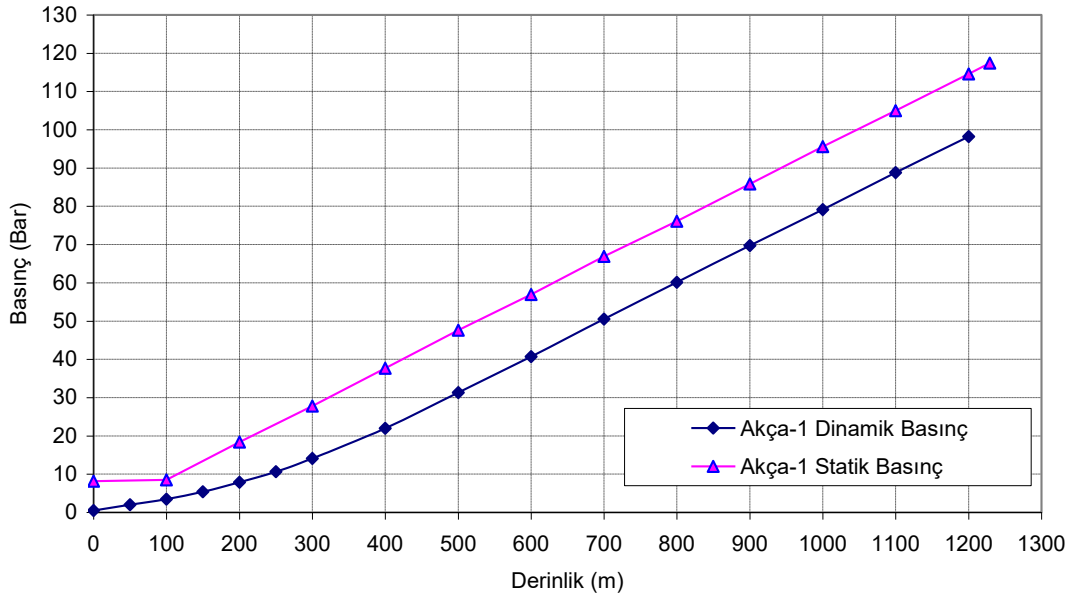
Dinamik Basınç Ölçüsü: Kuyu üretimi Ortalama $Q=242,00$ ton/saat debiye düşürülmüş, kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru basınç ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek ölçü alınmış ve test tamamlanmıştır (Tablo 4.5, Şekil 4.7 ve 4.8).

Tablo 4.5: AK-1 dinamik basınç değerleri.

Derinlik (m)	0	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Basınç (bar)	0,52	1,98	3,44	5,42	7,91	10,66	14,10	22,01	31,29	40,73	50,51	60,11	69,72	79,13	88,79	98,20



Şekil 4.7: AK-1 dinamik basınç grafiği.

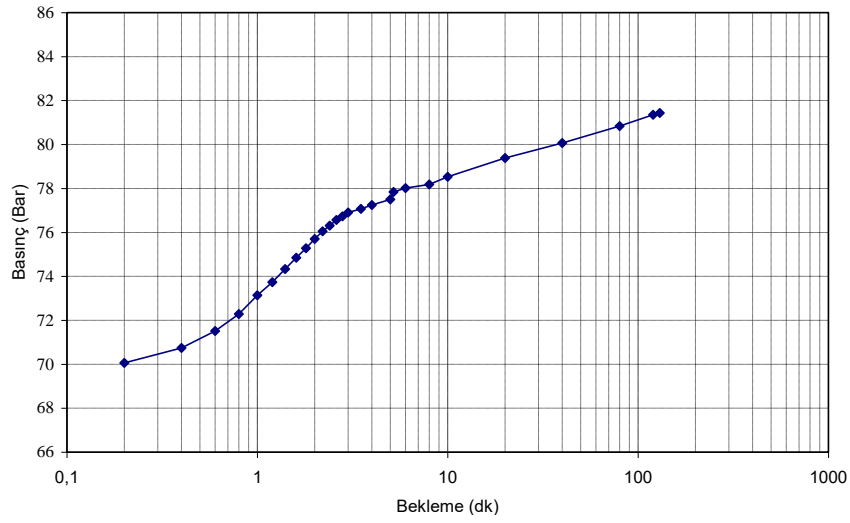


Şekil 4.8: AK-1 dinamik basınç–statik basınç grafiği.

Build-Up (Basmañ Yükselim) Ölçüsü: Basmañ Elementi 900 m de; $Q=242$ t/h ve $WHP=1$ bar iken ölçüye başlanmış ve 130 dakika beklenerak ölçü tamamlanmıştır. Vana 90 saniyede tamamen kapatılmıştır (Tablo4.6, Şekil 4.9). $PI=20,79$ bar / (ton/saat) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6: AK-1 build-up değerleri.

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
0	69,80	2	75,71	6	78,01
0,2	70,06	2,2	76,05	8	78,19
0,4	70,74	2,4	76,30	10	78,53
0,6	71,51	2,6	76,56	20	79,38
0,8	72,28	2,8	76,73	40	80,07
1	73,14	3	76,90	80	80,84
1,2	73,74	3,5	77,07	120	81,35
1,4	74,34	4	77,24	130	81,44
1,6	74,85	5	77,50		
1,8	75,28	5,2	77,84		

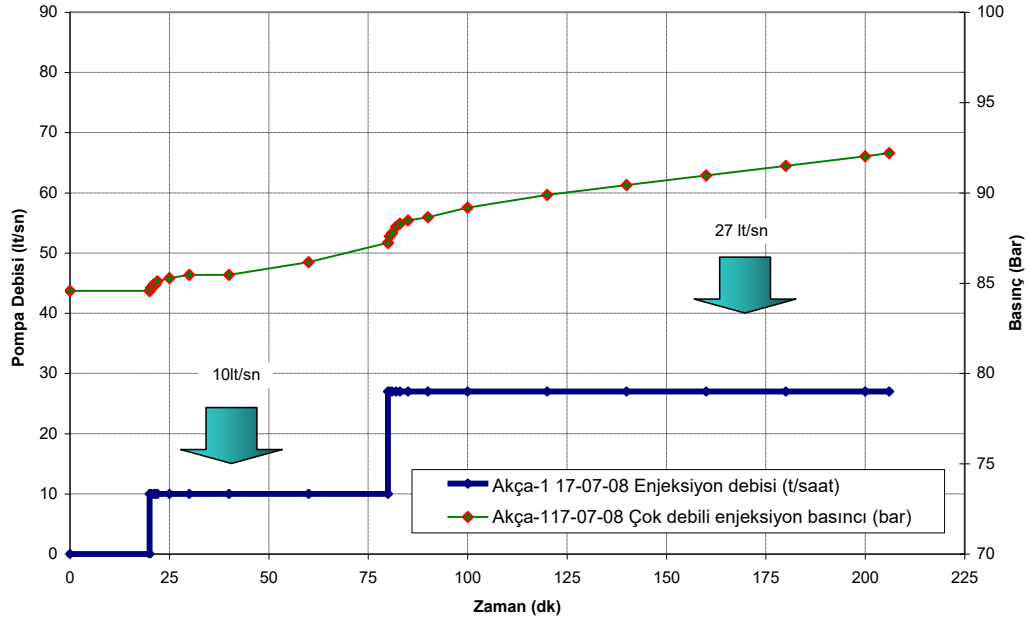


Şekil 4.9: AK-1 build-up grafiği.

Çok Debili Enjeksiyon ve Fall Off Ölçüsü: Ölçü aleti 900 m de iken, iki farklı debide ($Q=10; 27$ l/s) enjeksiyon yapılarak pompa kapatılmış ve fall off beklenerek test tamamlanmıştır (Tablo 4.7 ve 4.8, Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13).

Tablo 4.7: AK-1 çok debili enjeksiyon değerleri.

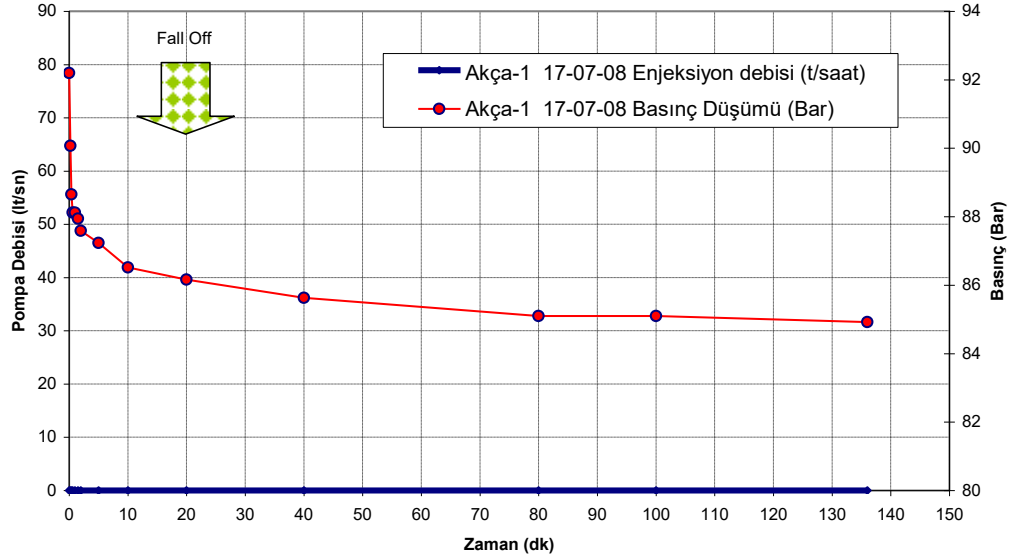
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
0	84,57	20	85,45	10	88,65
20	84,57	40	86,16	20	89,18
0	84,57	60	87,23	40	89,89
0,4	84,74	0	87,23	60	90,42
1	84,92	0,4	87,58	80	90,96
1,5	84,92	1	87,76	100	91,49
2	85,10	2	88,12	120	92,02
5	85,28	3	88,29	126	92,20
10	85,45	5	88,47		



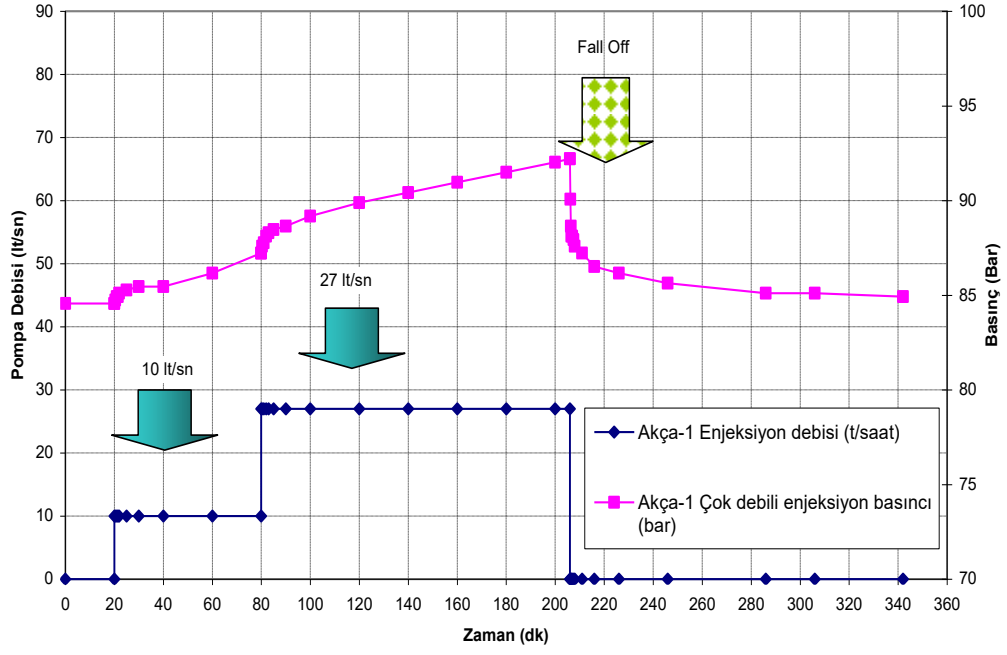
Şekil 4.10: AK-1 çok debili enjeksiyon grafiği.

Tablo 4.8: AK-1 fall off değerleri.

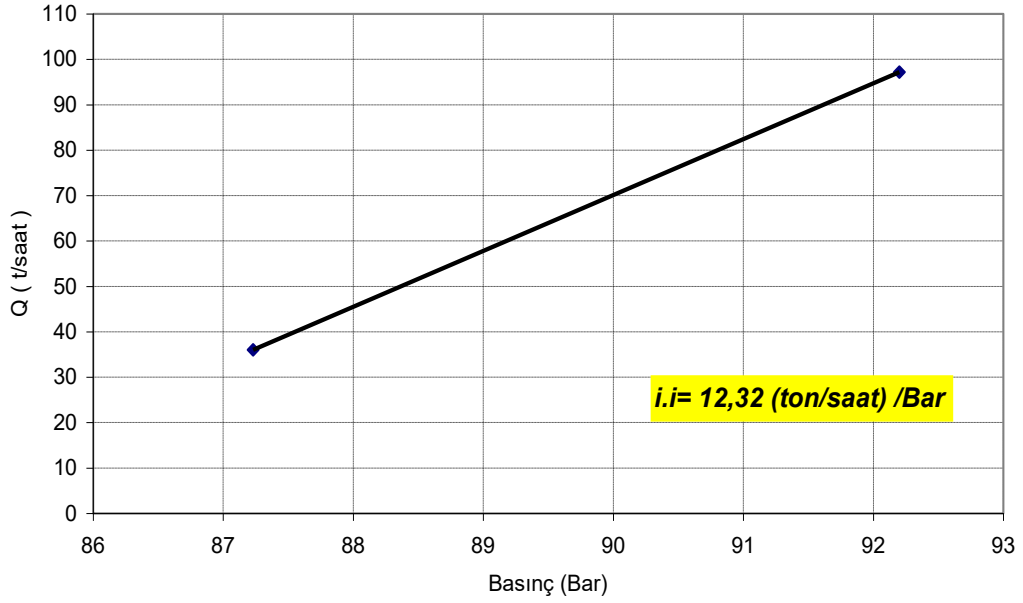
Zaman (dk)	0	0,2	0,4	0,6	1	1,5	2	5	10	20	40	80	100	136
Basınç (bar)	92,20	90,07	88,65	88,12	88,12	87,94	87,58	87,23	86,52	86,16	85,63	85,10	85,10	84,92



Şekil 4.11: AK-1 fall off zaman grafiği.



Şekil 4.12: AK-1 çok debili enjeksiyon ve fall off zaman grafiği.



Şekil 4.13: AK-1 injektivite indeksi grafiği.

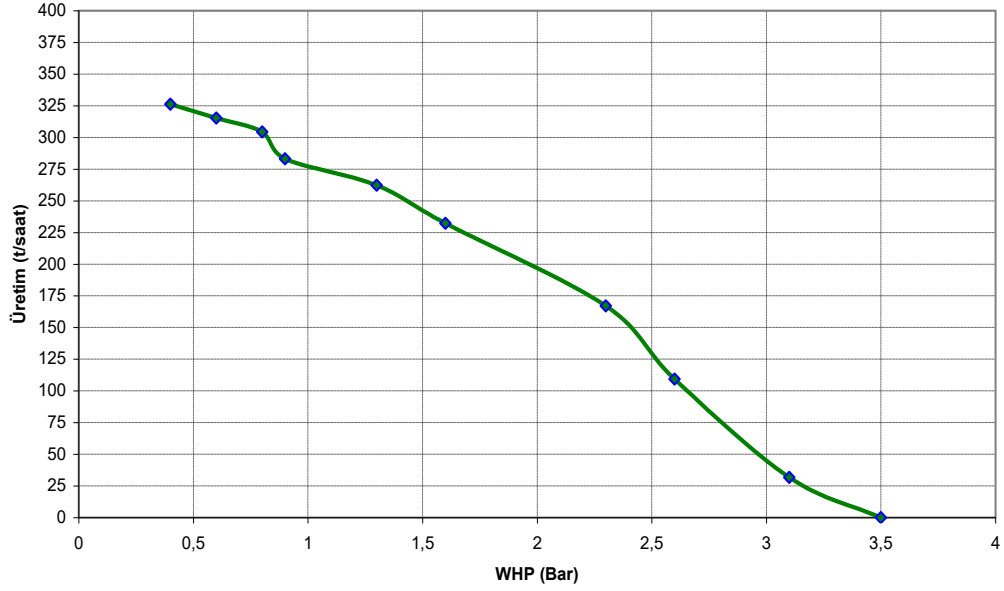
Üretim Testi: AK-1 kuyusunun üretim debisi Savak-Silencer sistemi ile ölçülmüştür. Akışkan içerisindeki buhar oranı (106–80 °C) % 5 olarak hesap edilmiştir. Uç basınç 6" james tüpünde 1 psi gösterdiğinden uç basınç yöntemi kullanılmamıştır (Tablo 4.9, Şekil 4.14).

Tablo 4.9: AK-1 üretim değerleri.

WHP Bar	Savak cm	Q		Vana Turu
		lt/sn	t/saat	
0,4	22	90,6	326,16	42
0,6	21,5	87,56	315,22	27
0,8	21	84,55	304,38	22
0,9	20	78,65	283,14	17
1,3	19	72,89	262,40	12
1,6	17,5	64,53	232,31	9
2,3	14	46,41	167,08	6
2,6	10,5	30,39	109,40	4
3,1	4,5	8,82	31,75	2
3,5	0	0	0	0

Tam açık

Tam Kapalı



Şekil 4.14: AK-1 kuyusu üretim grafiği.

Kuyunun water-loss (Şekil 4.4) ve dinamik sıcaklık (Şekil 4.6) grafiklerine göre filtreli üretim borusunun başladığı 600. m'den kuyu tabanına kadar kesilen kalkşist, kuvarsitşist, mikaşist ve pirit alterasyonlu silisifiye mermerlerden oluşan İğdecik formasyonu içinden farklı sıcaklıklarda akışkan girişlerinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum dinamik konumda alınan ölçülerde kuyu tabanı (106,56°C) ile kuyu başında (82,74°C) yaklaşık 24°C'lik bir farkın oluşmasının nedenlerinden biridir (Şekil 3.3).

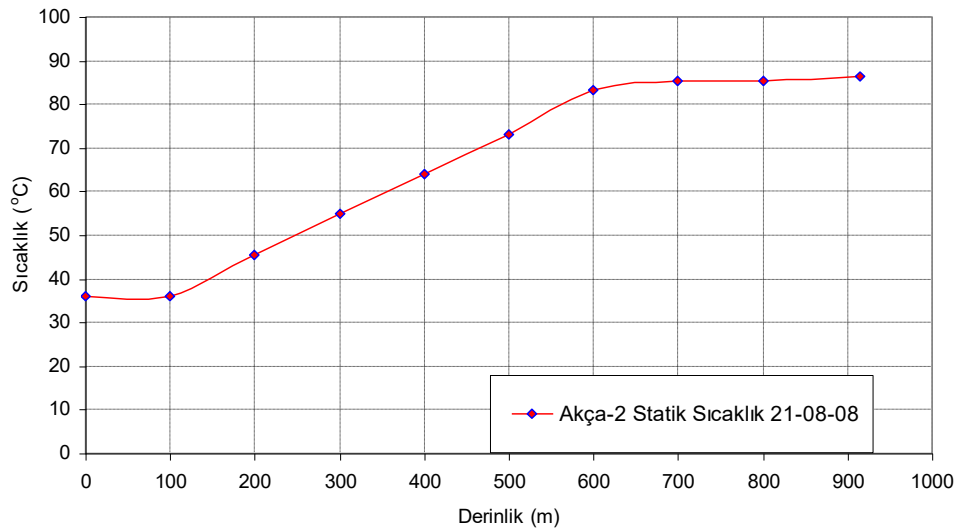
4.2.2 AK-2 Kuyusuna Ait Test Sonuçları

Testler 2008 yılının Aralık ayında tamamlanmıştır.

Statik Sıcaklık Ölçüsü: Kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru sıcaklık ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek değerler alınmış ve test tamamlanmıştır (Tablo 4.10, Şekil 4.15).

Tablo 4.10: AK-2 statik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	914
Sıcaklık (°C)	36,00	36,00	45,48	55,01	63,98	72,94	83,28	85,17	85,38	86,24

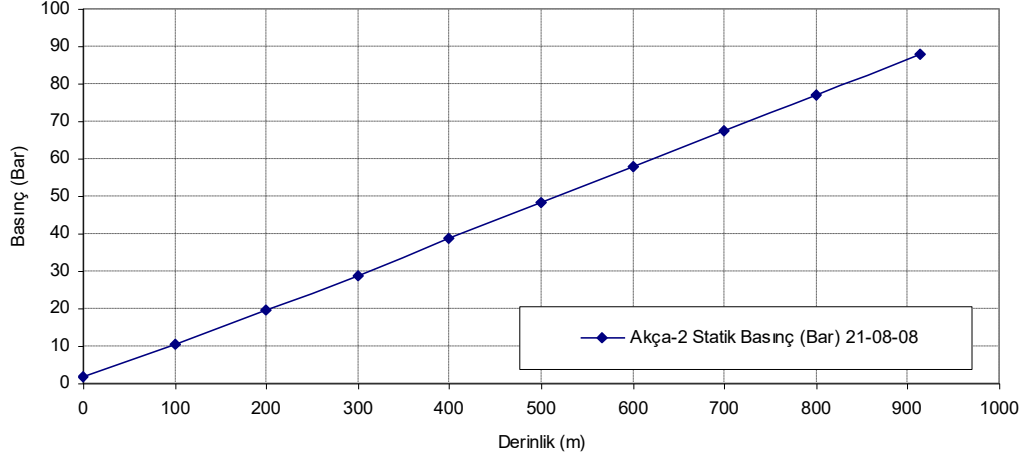


Şekil 4.15: AK-2 statik sıcaklık grafiği.

Statik Basınç Ölçüsü: Kuyu başı vanası sıfır alınarak kuyu tabanına doğru basınç ölçü aleti değişik istasyonlarda bekletilerek ölçü alınmış ve test tamamlanmıştır (Tablo 4.11, Şekil 4.16).

Tablo 4.11: AK-2 statik basınç değerleri.

Derinlik (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	914
Basınç (bar)	1,80	10,61	19,49	28,77	38,56	48,18	57,84	67,43	76,96	87,95

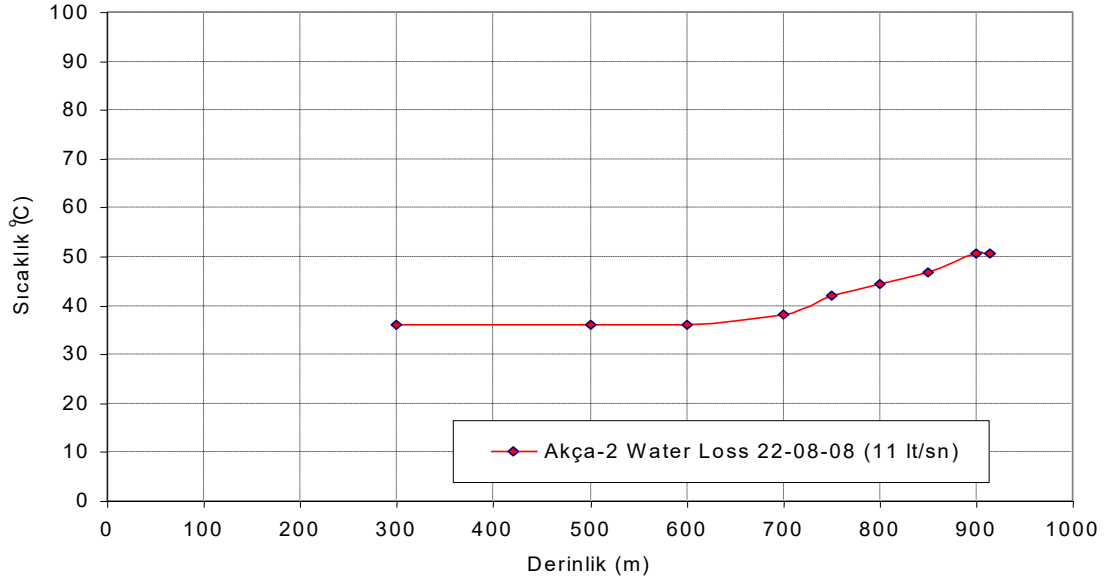


Şekil 4.16: AK-2 statik basınç grafiği.

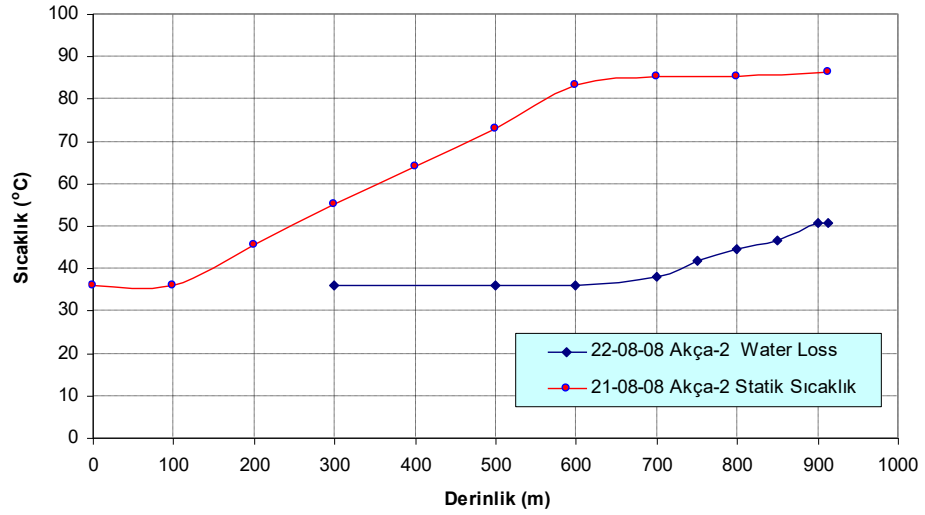
Water Loss Ölçüleri: Kuyuya 11 lt/sn debide su basılarak soğutulmuş ve yine aynı debide su basma devam ederken kuyu tabanına kadar belirlenen istasyonlarda ölçüler alınmış ve test tamamlanmıştır. 183 dakikada yaklaşık 120 m³ su kuyuya basılmıştır (Tablo 4.12, Şekil 4.17 ve 4.18).

Tablo 4.12: AK-2 water loss değerleri.

Derinlik (m)	300	500	600	700	750	800	850	900	914
Sıcaklık (°C)	36,00	36,00	36,00	37,97	41,82	44,36	46,74	50,62	50,62



Şekil 4.17: AK-2 water loss grafiği.



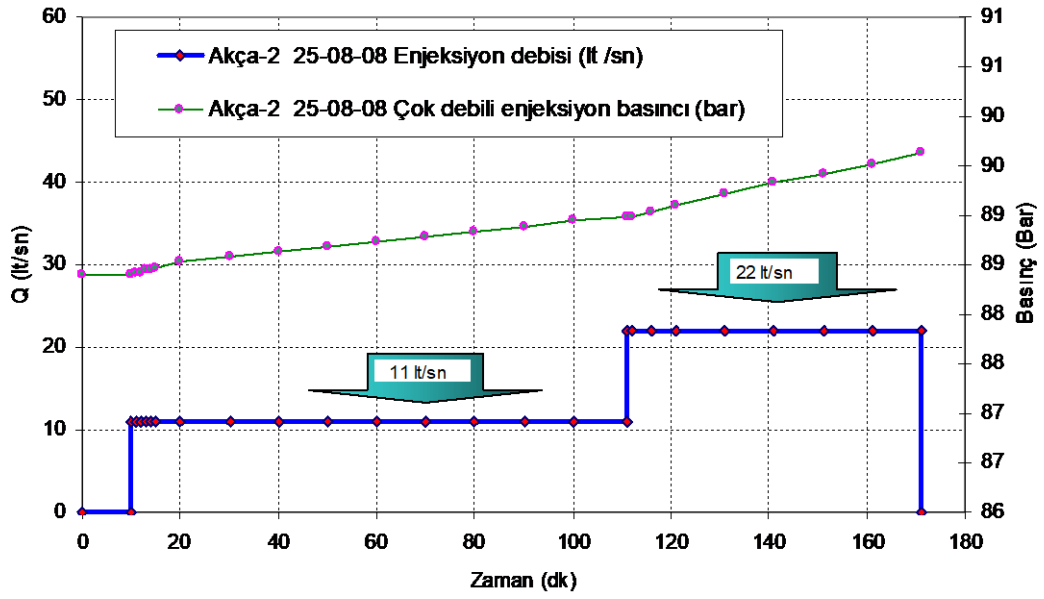
Şekil 4.18: AK-2 water loss-static sıcaklık grafiği.

Dinamik Sıcaklık ve Basınç Ölçüleri: Kuyu üretime açılmış, bir süre 87 ton/saat üretimde tutulduktan sonra vana yavaş yavaş tam açılmış ve savağın taşması üzerine 262 ton/saat debiye düşürülmüştür. Bu debide 75 dakika üretim yaptırdıktan sonra dinamik ölçüleri almak üzere vana az kapatılarak üretim 222 ton/saat'e düşürülmüştür. Ölçü çalışmalarına başlanırken 10. dakikada kuyunun üretimi kendiliğinden kesilmiştir. Gözlemlendiğinde kuyu 5saat 35 dakika sonra yeniden kendiliğinden üretime geçmiştir. Üretim kesikli olduğundan dinamik ölçüler alınamamıştır.

Çok Debili Enjeksiyon ve Fall Off Ölçüsü: Ölçü aleti 914 m de iken, iki farklı debide ($Q=11; 22$ lt/sn) enjeksiyon yapılarak pompa kapatılmış ve fall off beklenerek test tamamlanmıştır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, Tablo 4.13 ve 4.14).

Tablo 4.13: AK-2 çok debili enjeksiyon değerleri.

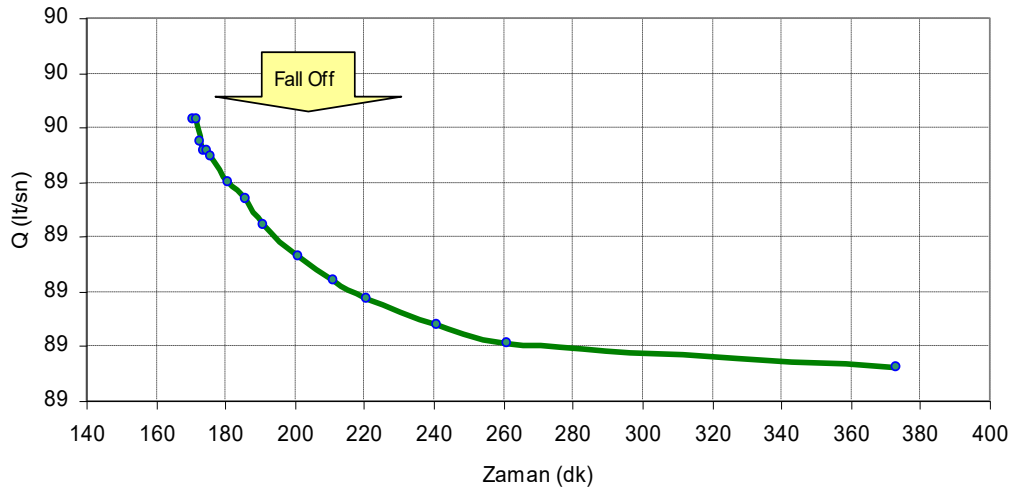
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (l/s)
0	88,40	0,00	20	88,58	11,00	0	88,98	22,00
10	88,40	0,00	30	88,63	11,00	1	88,98	22,00
0	88,40	11,00	40	88,69	11,00	5	89,04	22,00
1	88,42	11,00	50	88,74	11,00	10	89,10	22,00
2	88,42	11,00	60	88,78	11,00	20	89,22	22,00
3	88,45	11,00	70	88,83	11,00	30	89,33	22,00
4	88,45	11,00	80	88,88	11,00	40	89,42	22,00
5	88,47	11,00	90	88,95	11,00	50	89,51	22,00
10	88,54	11,00	101	88,98	11,00	60	89,63	22,00



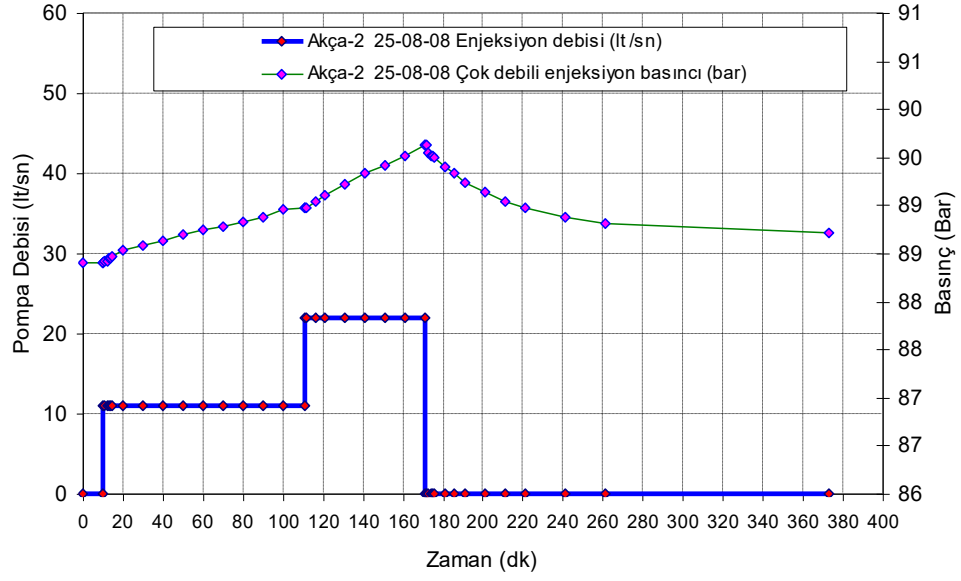
Şekil 4.19: AK-2 çok debili enjeksiyon grafiği.

Tablo 4.14: AK-2 fall off değerleri.

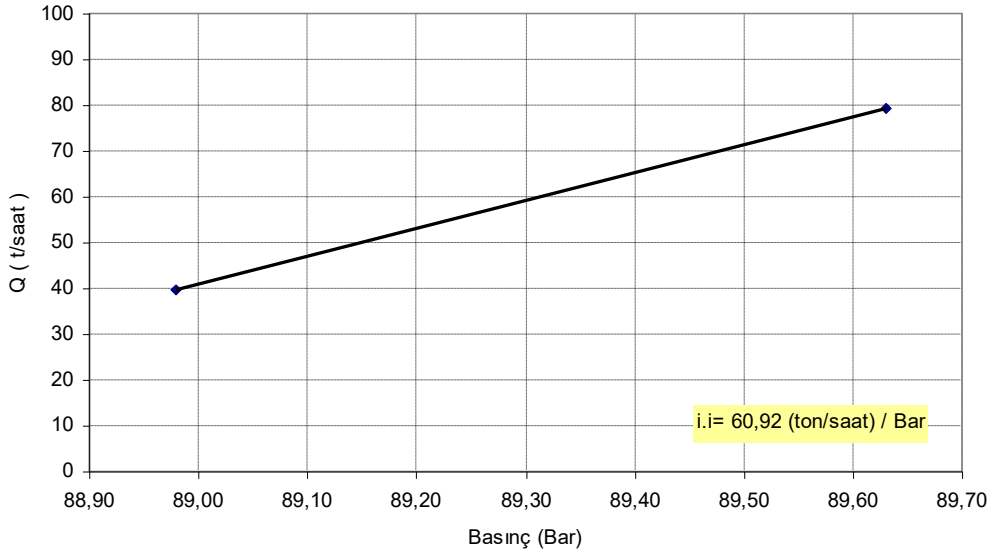
Zaman (dk)	0	1	2	3	4	5	10	15	20	30	40	50	70	90	121
Basınç (bar)	89,6	89,6	89,5	89,5	89,5	89,4	89,4	89,3	89,2	89,1	89,0	88,9	88,8	88,8	88,7



Şekil 4.20: AK-2 fall off zaman grafiği.



Şekil 4. 21: AK-2 çok debili enjeksiyon ve fall off zaman grafiği.



Şekil 4.22: AK-2 injektivite indeksi grafiği.

Yapılan enjeksiyon debileri göz önüne alındığında, I.I. = 60,92 (ton/saat) / bar olarak hesaplanmıştır.

Kuyu reenjeksiyon amaçlı kullanıldığı için akışkan örneği alma durumu söz konusu olmamıştır. Kuyunun water-loss grafiğine (Şekil 4.17) göre 700. m'den itibaren zayıf bir sıcaklık artışı olduğu artezyenik üretim açısından devamlılık yaratmayacağına işaret etmiştir. Filtreli borunun başladığı 620. m'den itibaren Neojen yaşlı yarı geçirimli Sazak formasyonu içinde yer alan çatlaklı, çözünme

boşluklu kilitaşı ve killi kireçtaşı ardalımalı ve yanal yöndeki süreksizliğinden dolayı birimin yeraltı suyu taşıma ve iletme özelliklerinin oldukça sınırlı olduğunu göstermiştir.

730. m'den itibaren Neojen yaşlı geçirimsiz Kızılburun formasyonu da çok iyi çimentolanmış çakıltıtaşı ile yaygın kilitaşı ve killi kireçtaşı seviyelerinden oluşur. Dolayısı ile kuyunun üretim amaçlı delinen 12 ¼" çapındaki formasyonlar saha için rezervuar kaya özelliği taşımamaktadır. Nitekim kesikli başlayan üretim testlerinden sonra kuyu, artezyen karakterini tamamen kaybetmiştir. Enjeksiyon testleri sonucunda hesaplanan yaklaşık 61 ton/saat/bar'lık enjektivite indeksi ise kuyunun reenjeksiyon olarak kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

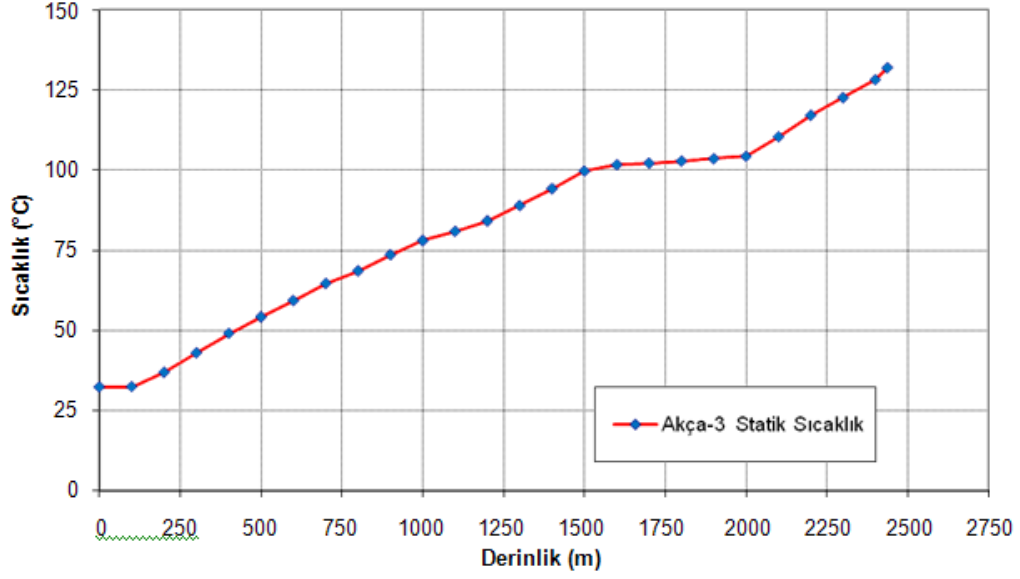
4.2.3 AK-3 Kuyusuna Ait Test Sonuçları

Testler 2012 Temmuz ayında tamamlanmıştır.

Statik Sıcaklık Ölçüsü: Sıcaklık ölçü aleti ile vana seviyesinden kuyu tabanına doğru belirlenen istasyonlarında beklemek suretiyle statik sıcaklık ölçümleri için kuyu içine inişe başlanmıştır. Ölçü aleti 2437 m'de dolguya oturmuş, bu seviyede ölçü tamamlanarak element çekilmiştir. 2437 m de maksimum statik sıcaklık 131,98°C ölçülmüştür. 2000 m den sonra sıcaklıkta lineer artış görülmüştür (Şekil 4.23, Tablo 4.15).

Tablo 4.15: AK-3 statik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
0	32,31	900	73,61	1800	102,90
100	32,40	1000	78,05	1900	103,59
200	36,94	1100	80,94	2000	104,35
300	42,99	1200	84,19	2100	110,48
400	49,08	1300	88,98	2200	117,16
500	54,20	1400	94,27	2300	122,67
600	59,34	1500	99,77	2400	128,25
700	64,69	1600	101,73	2437	131,98
800	68,60	1700	102,21		

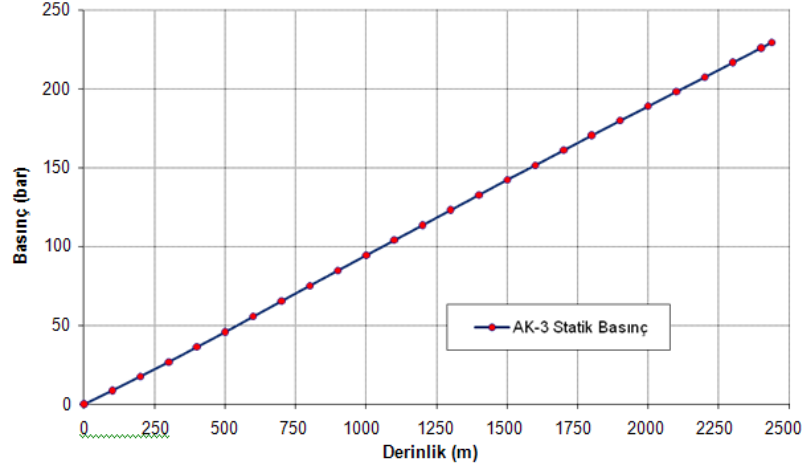


Şekil 4.23: AK-3 statik sıcaklık grafiği.

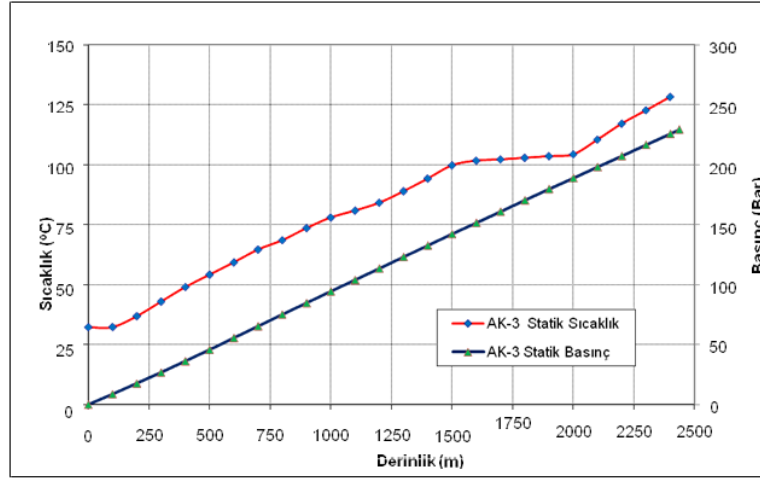
Statik Basınç Ölçüsü: Basınç ölçü aletini; vana seviyesinden kuyu tabanına doğru belirlenen istasyonlarında bekletmek suretiyle statik basınç ölçümleri alınmıştır. 2437 m de ölçü tamamlanarak element çekilmiştir. 2437 m de maksimum statik basınç 229,49 bar ölçülmüştür (Tablo 4.16, Şekil 4.24 ve 4.25).

Tablo 4.16: AK-3 statik basınç değerleri.

Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)
0	0,09	700	65,47	1400	132,79	2100	198,32
100	8,80	800	75,25	1500	142,43	2200	207,40
200	17,80	900	84,88	1600	151,68	2300	216,73
300	26,90	1000	94,55	1700	161,07	2400	226,00
400	36,35	1100	104,05	1800	170,55	2437	229,49
500	45,81	1200	113,59	1900	179,89		
600	55,67	1300	123,26	2000	189,00		



Şekil 4.24: AK-3 statik basınç grafiği.

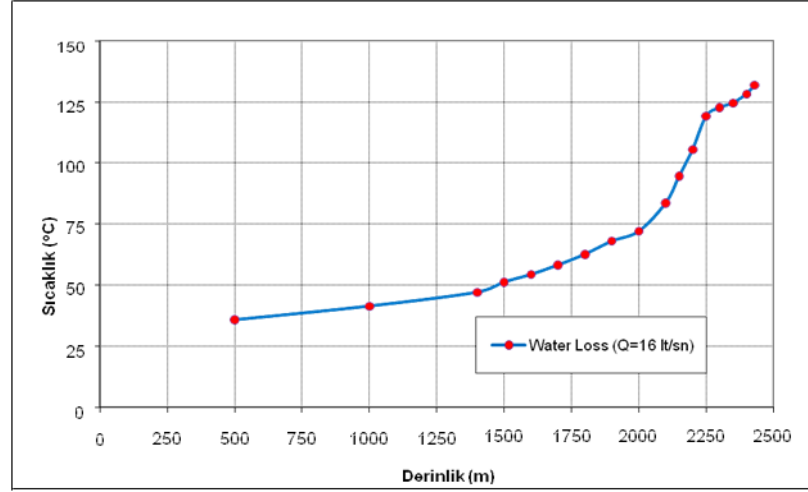


Şekil 4.25: AK-3 statik sıcaklık ve basınç grafiği.

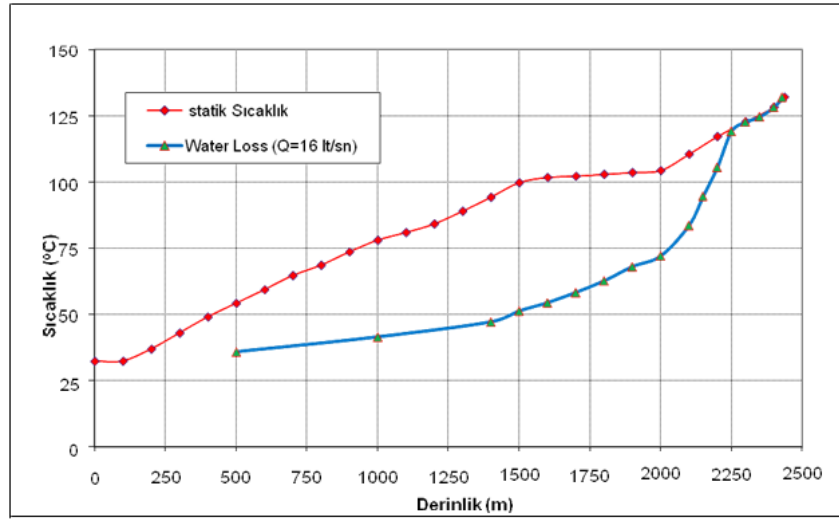
Water Loss Ölçüleri: Kuyuya 16 lt/sn debide 140m^3 su basıldıktan sonra yine aynı debide ölçüler 2430 m ye kadar alınarak test tamamlanmıştır. Test boyunca 256m^3 temiz su kullanılmıştır (Şekil 4.26 ve 4.27, Tablo 4.17).

Tablo 4.17: AK-3 water loss değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Q (l/s)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Q (l/s)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Q (l/s)
500	35,75	16	1800	62,6	16	2250	119,12	16
1000	41,4	16	1900	67,98	16	2300	122,67	16
1400	47,08	16	2000	72,02	16	2350	124,61	16
1500	51,21	16	2100	83,57	16	2400	128,26	16
1600	54,34	16	2150	94,58	16	2430	131,98	16
1700	58,2	16	2200	105,54	16			



Şekil 4.26: AK-3 water loss grafiği.

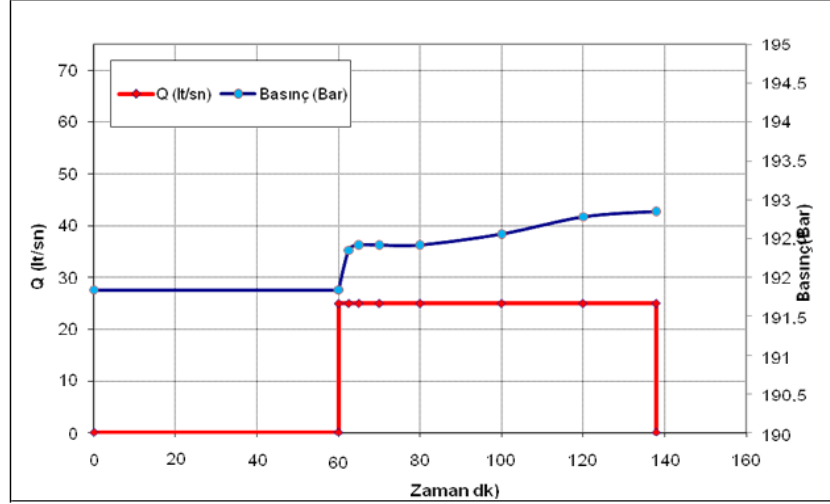


Şekil 4.27: AK-3 water loss statik sıcaklık grafiği.

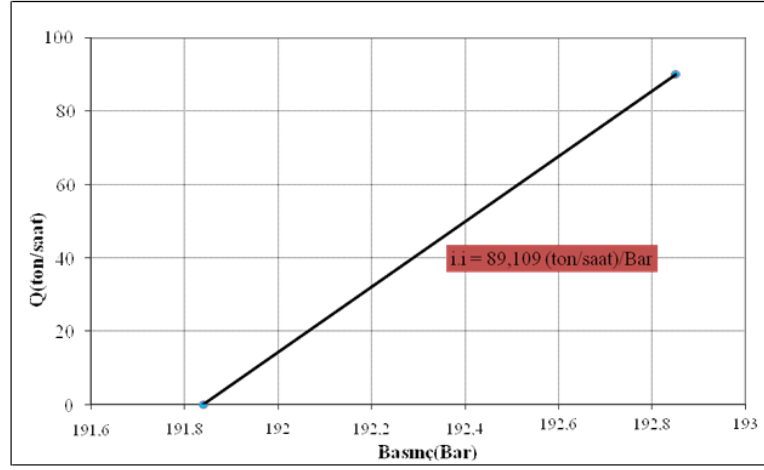
Tek Debili Enjeksiyon Testi: Ölçü aleti 2100 m'ye indirilerek tek debide ($Q=25$ l/s) enjeksiyon testi yapılmıştır. Enjektivite indeksi $i.i=89.11$ (ton/saat)/bar hesaplanmıştır. 25 l/s debide WHP basıncında (-) 7 psi gözlenmiştir (Tablo 4.18, Şekil 4.28 ve 4.29).

Tablo 4.18: AK-3 tek debili enjeksiyon değerleri.

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)
0	191,84	0	5	192,42	25	60	192,78	25
60	191,84	0	10	192,42	25	78	192,85	25
0	191,84	25	20	192,42	25			
2,5	192,35	25	40	192,56	25			



Şekil 4.28: AK-3 tek debili enjeksiyon grafiği.

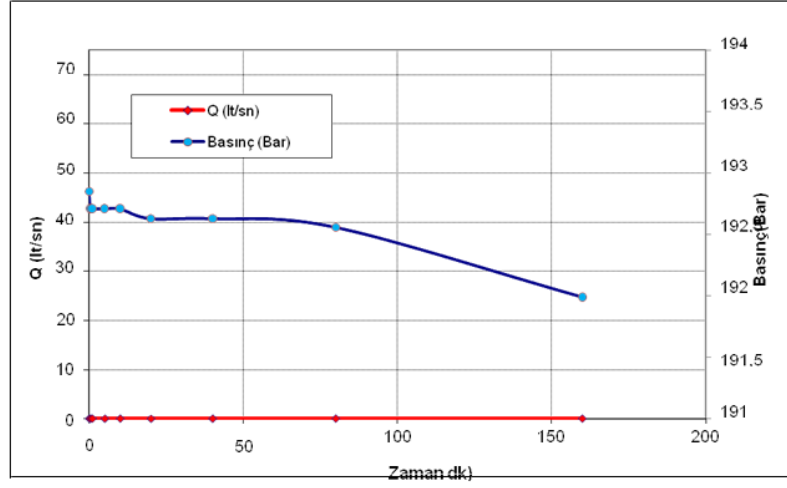


Şekil 4.29: AK-3 I.I. grafiği.

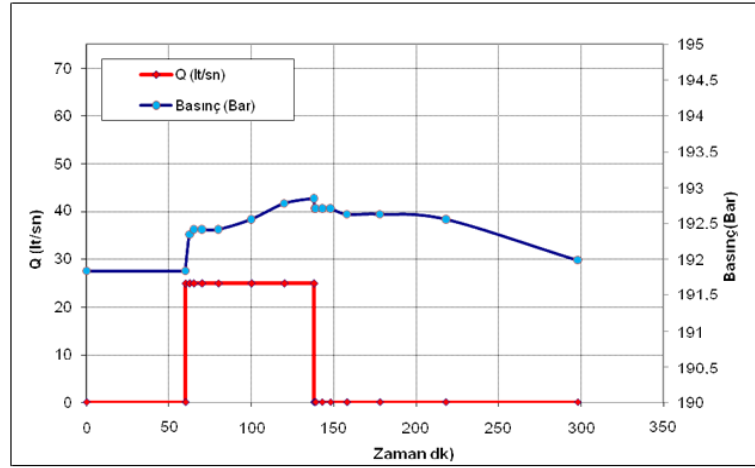
Fall Off Testi: Ölçü aleti 2.100m de iken TDE (tek debili enjeksiyon) sonrasında 160 dk beklenerek basınç değerleri kaydedilmiş ve test tamamlanmıştır (Tablo 4.19, Şekil 4.30 ve 4.31).

Tablo 4.19: AK-3 TDE fall off değerleri.

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Q (l/s)
0	192,85	0	5	192,71	0	40	192,63	0
0,4	192,71	0	10	192,71	0	80	192,56	0
1	192,71	0	20	192,63	0	160	191,99	0



Şekil 4.30: AK-3 fall off grafiği.

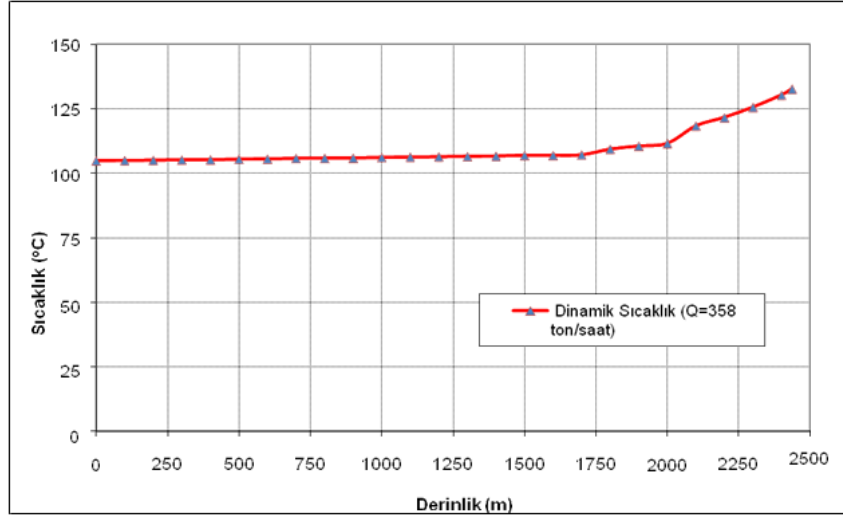


Şekil 4.31: AK-3 TDE ve fall off grafiği.

Dinamik Sıcaklık Testi: 358 t/s üretim debisinde ve 75 Psi (5,17 Bar) WHP basıncında dinamik sıcaklık ölçüsü kuyu başından kuyu tabanına doğru belirlenmiş istasyonlarda ölçülerek test tamamlanmıştır. 2437m de en yüksek dinamik sıcaklık 132,7°C ve kuyu ağzında 104,8°C ölçülmüştür (Şekil 4.32, Tablo 4.20).

Tablo 4.20: AK-3 dinamik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
0	104,80	700	105,75	1400	106,62	2100	118,32
100	104,94	800	105,80	1500	106,89	2200	121,64
200	105,00	900	105,88	1600	106,91	2300	125,60
300	105,14	1000	106,07	1700	107,10	2400	130,34
400	105,21	1100	106,22	1800	109,31	2437	132,70
500	105,41	1200	106,35	1900	110,52		
600	105,54	1300	106,49	2000	111,53		

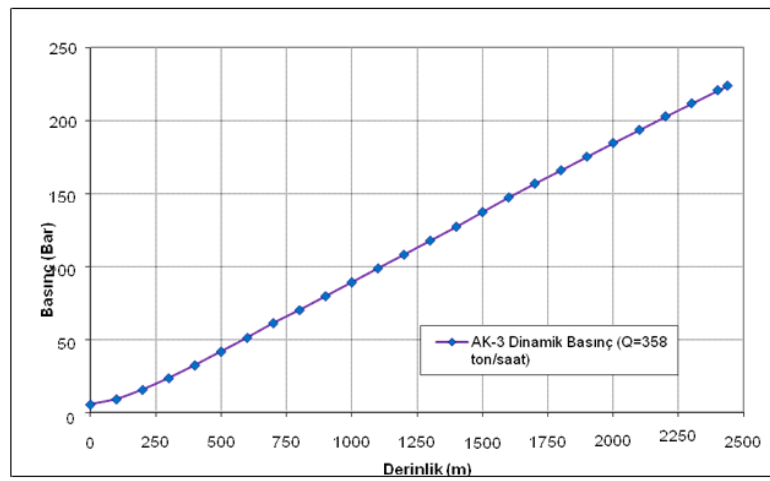


Şekil 4.32: AK-3 dinamik sıcaklık grafiği.

Dinamik Basınç Testi: 358 t/s üretim debisinde ve 75 Psi (5,17 Bar) WHP basıncında dinamik basınç ölçüsü kuyu başından kuyu tabanına doğru belirlenmiş istasyonlarda ölçülerek test tamamlanmıştır. Yapılan ölçülerden ayrışma noktası 450-475m hesaplanmıştır (Tablo 4.24, Şekil 4.33).

Tablo 4.21: AK-3 dinamik basınç değerleri.

Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)
0	5,58	700	61,29	1400	127,27	2100	193,57
100	9,18	800	70,22	1500	137,36	2200	202,80
200	15,66	900	79,73	1600	147,37	2300	211,74
300	23,57	1000	89,23	1700	156,81	2400	220,69
400	32,43	1100	98,81	1800	165,96	2437	223,80
500	41,78	1200	108,17	1900	175,26		
600	51,28	1300	117,76	2000	184,63		

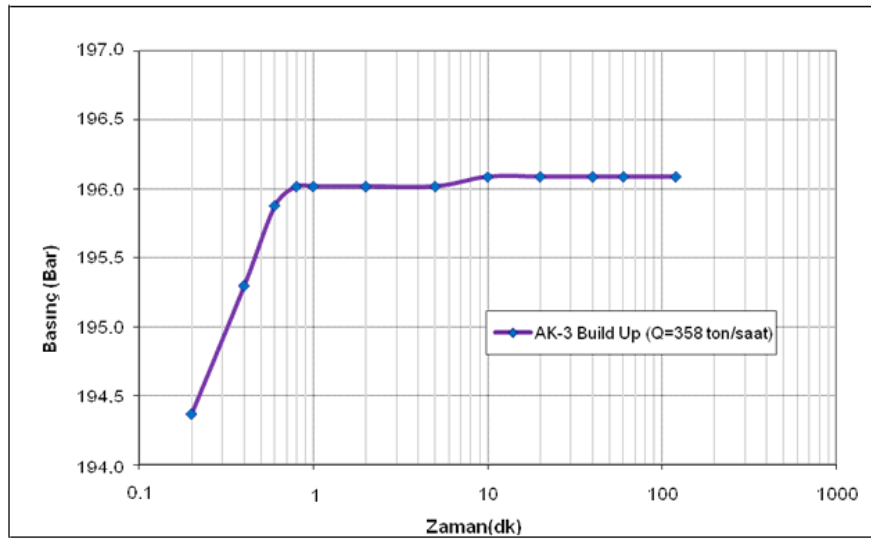


Şekil 4.33: AK-3 dinamik basınç grafiği.

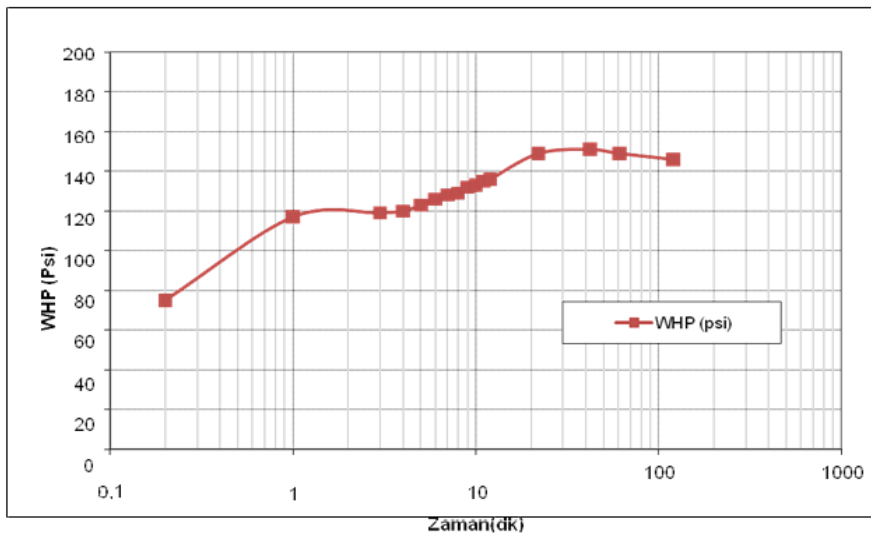
Build Up Testi: Kuyu 75 psi WHP basıncında 358 ton/saat üretim yaparken 2100 m'den build up testi yapılmıştır. Vana 43 sn'de kapatılmıştır. Prodüktivite indeksi p.i:172.115 (ton/saat)/bar hesaplanmıştır (Tablo 4.22, Şekil 4.34 ve 4.35).

Tablo 4.22: AK-3 build up değerleri.

Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
0	194,01	0,8	196,02	10	196,09	120	196,09
0,2	194,37	1	196,02	20	196,09		
0,4	195,3	2	196,02	40	196,09		
0,6	195,88	5	196,02	60	196,09		



Şekil 4.34: AK-3 build up grafiği.

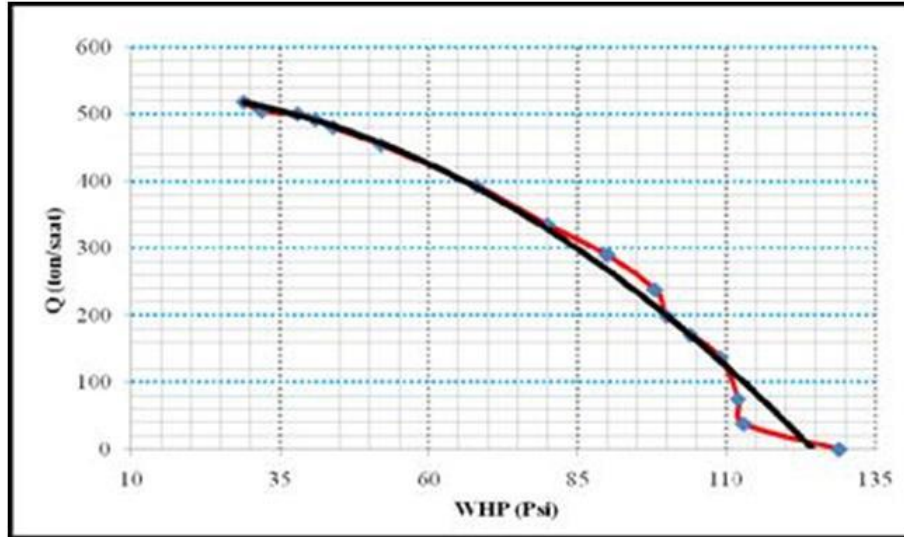


Şekil 4.35: AK-3 WHP (well head pressure) grafiği.

Üretim Testleri: Üretim testlerinde savak-silencer yöntemi kullanılmıştır. Kuyu yaklaşık 12 saat maksimum üretimde tutulduktan sonra farklı WHP basınçlarında debileri ölçülmüştür. 29psi WHP basıncında maksimum üretim 518 ton/saat ölçülmüştür. Kapama basıncı ise 129 psi ölçülmüştür (Tablo 4.23, Şekil 4.36).

Tablo 4.23: AK-3 üretim değerleri.

SS Vana (Tur)	WHP (Psi)	Q (Ton/Saat)	Tam Açık
150	29	518	
100	32	505	
70	38	500	
60	41	492	
50	44	480	
40	52	454	
30	68	393	
25	80	335	
20	90	290	
17	98	238	
15	100	199	
13	104	171	
11	109	137	
9	112	75	
7	113	38	
0	129	0	



Şekil 4.36: AK-3 üretim grafiği.

Kuyunun water-loss (Şekil 4.26) ve dinamik sıcaklık (4.32) grafiklerine göre Menderes Metamorfileri içinden üç farklı aralıkta (1750-2000 m, 2000-2100 m, 2100-2500 m) üç farklı doğrusallık göstermesi dinamik konumda alınan ölçülerde kuyu tabanı (132,7°C) ile kuyu başında (104,8°C) yaklaşık 28°C'lik bir farkın oluşmasının nedenlerinden biridir. Filtreli boruların başladığı 1540. m'den itibaren rezervuar kaya özelliği gösteren Paleozoyik yaşlı İğdecik formasyonu kalkışist, mikaşist ve pirit altereli silisifiye mermerlerden oluşmaktadır. 1770. m'den tabana kadar devam eden yine Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfileri ise kuvarsitşist, yer yer muskovit cepli mikaşist, kalkışist ve pirit altereli silisifiye mermerlerden meydana gelir. Şekil 3.5'de kuyu loguna işlenmiş dinamik sıcaklık grafiğinde görüldüğü üzere özellikle 2000. m'den kuyu tabanına kadar silisifiye mermerler içerisindeki doğrusal sıcaklık artışı kuyu içi beslenmesinin bu bölgeden daha verimli olduğunu göstermektedir.

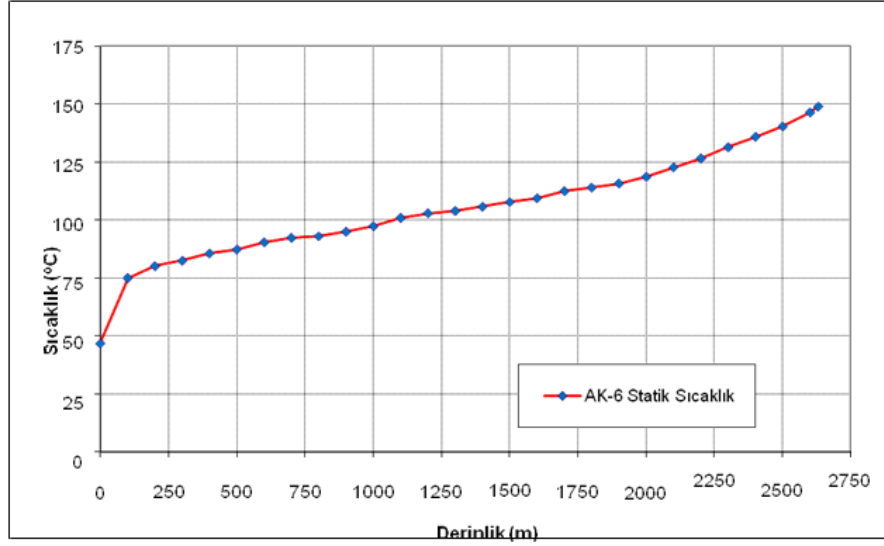
4.2.4 AK-6 Kuyusuna Ait Test Sonuçları

Testler 2012 yılının Ekim ayında tamamlanmıştır.

Statik Sıcaklık Ölçüsü: Sıcaklık ölçü aleti ile vana seviyesinden kuyu tabanına doğru belirlenen istasyonlarında beklemek suretiyle statik sıcaklık ölçümleri için kuyu içine inişe başlanmıştır. Tabanda 2630 m'den ölçü alınarak test tamamlanmış ve element çekilmiştir. 2630 m'de maksimum statik sıcaklık 148,76°C ölçülmüştür. Bu kuyuda da 2000 m'den sonra sıcaklıkta lineer artış görülmüştür (Şekil 4.37, Tablo 4.24).

Tablo 4.24: AK-6 statik sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
0	46,83	700	92,37	1400	105,75	2100	122,70
100	75,07	800	93,06	1500	107,70	2200	126,52
200	80,17	900	94,99	1600	109,38	2300	131,32
300	82,51	1000	97,32	1700	112,46	2400	135,85
400	85,61	1100	100,9	1800	114,00	2500	140,29
500	87,37	1200	102,9	1900	115,80	2600	146,36
600	90,43	1300	103,9	2000	118,59	2630	148,76

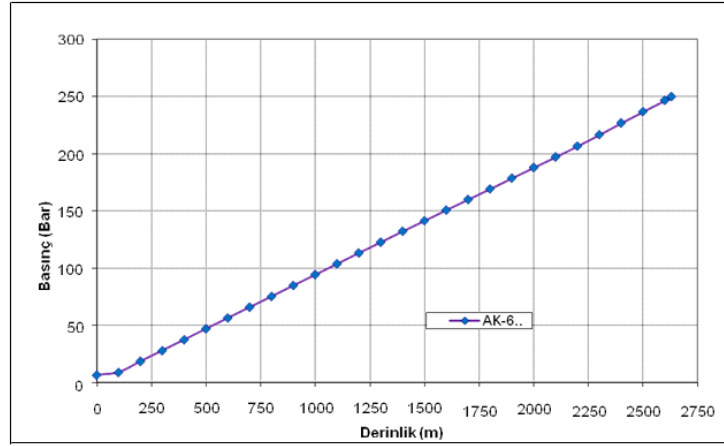


Şekil 4.37: AK-6 statik sıcaklık grafiği.

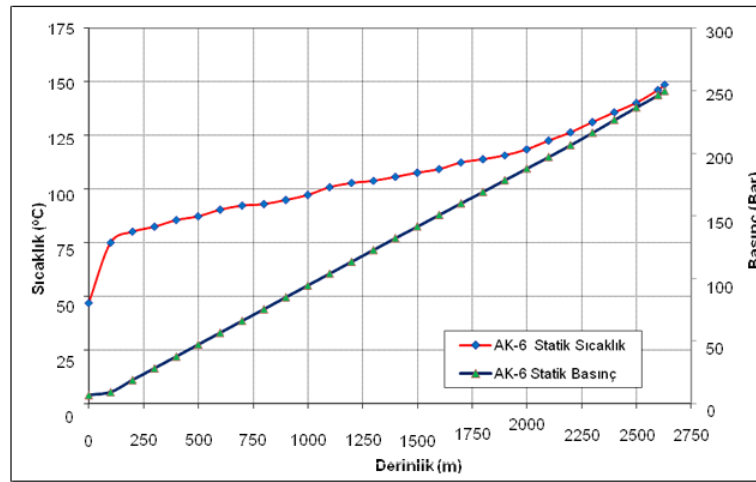
Statik Basınç Ölçüsü: Basınç ölçü aleti ile vana seviyesinden kuyu tabanına doğru belirlenen istasyonlarında beklemek suretiyle statik basınç ölçümleri için kuyu içine inişe başlanmıştır. Tabanda 2630 m'den ölçü alınarak test tamamlanmış ve element çekilmiştir. 2630 m'de maksimum statik basınç 249,82 bar ölçülmüştür (Tablo 4.25, Şekil 4.38 ve 4.39).

Tablo 4.25: AK-6 statik basınç değerleri.

Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)
0	6,80	700	66,12	1400	132,31	2100	197,18
100	9,18	800	75,55	1500	141,53	2200	206,62
200	18,89	900	85,06	1600	150,90	2300	216,57
300	28,26	1000	94,49	1700	160,13	2400	226,81
400	37,74	1100	103,93	1800	169,28	2500	236,77
500	47,25	1200	113,43	1900	178,65	2600	246,65
600	56,69	1300	122,87	2000	187,95	2630	249,82



Şekil 4.38: AK-6 statik basınç grafiği.

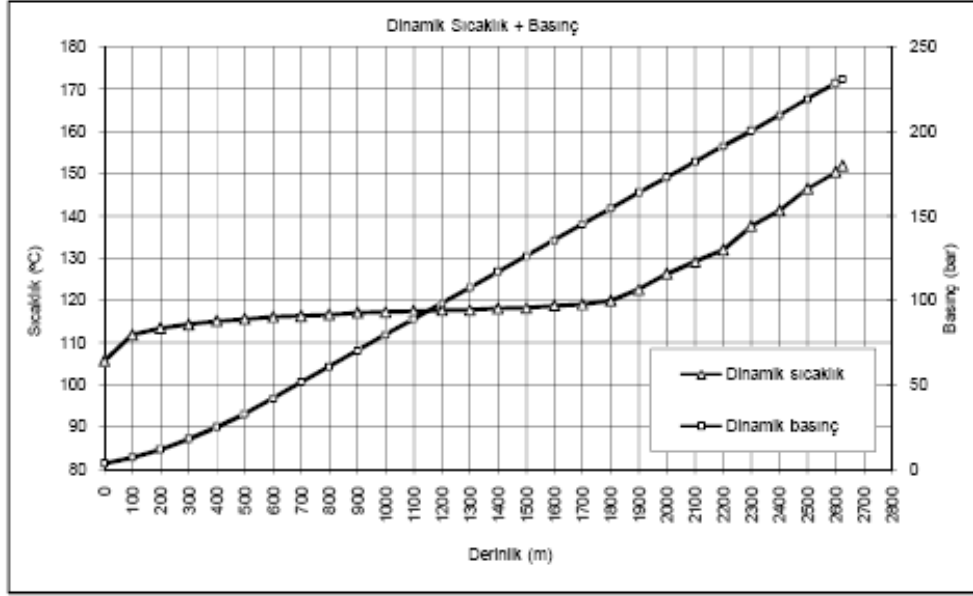


Şekil 4.39: AK-6 statik sıcaklık ve basınç grafiği.

Dinamik Sıcaklık ve Basınç Ölçüsü: Kuyubaşı basıncı WHP=3,5 bar ve Debi= 140,57 t/h iken 2625 metreye kadar sıcaklık ve basınç elementleri beraber inilerek dinamik ölçüler alınmıştır (Tablo 4.26, Şekil 4.40).

Tablo 4.26: AK-6 dinamik sıcaklık ve basınç değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)
0	105,61	3,37	1000	117,26	79,49	2000	126,25	172,83
100	111,79	6,92	1100	117,39	88,74	2100	129,15	181,88
200	113,39	11,58	1200	117,66	98,08	2200	131,91	191,16
300	114,26	17,73	1300	117,73	107,38	2300	137,54	200,17
400	115,06	24,86	1400	118,05	116,81	2400	141,20	209,48
500	115,53	32,72	1500	118,19	126,11	2500	146,42	219,17
600	116,06	41,86	1600	118,72	135,55	2600	150,32	228,54
700	116,26	51,39	1700	118,98	144,88	2625	151,88	230,93
800	116,59	60,72	1800	119,91	154,23			
900	117,06	70,05	1900	122,56	163,62			



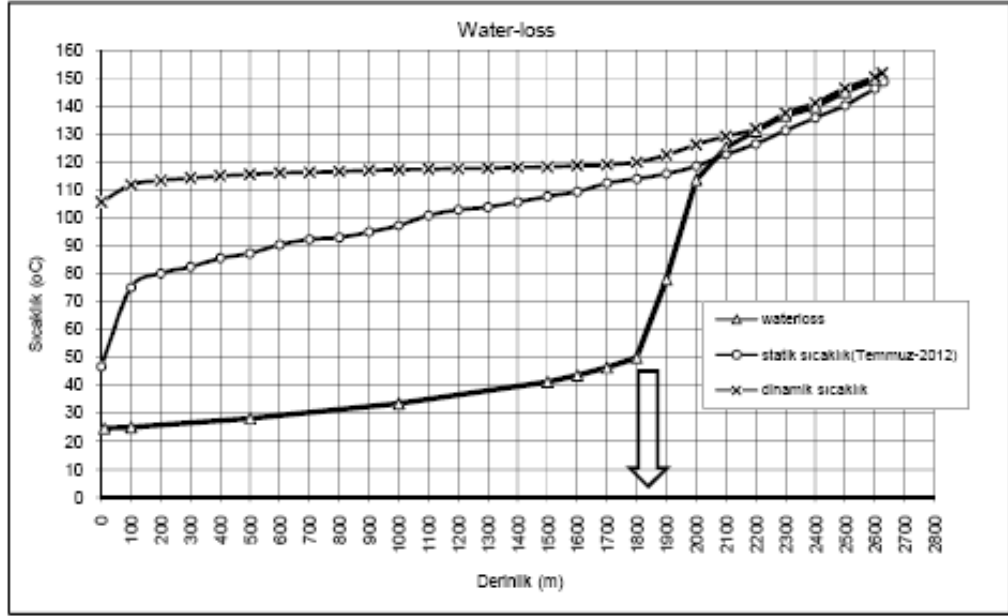
Şekil 4.40: AK-6 dinamik sıcaklık ve basınç grafiği.

Build-Up Ölçüsü: Kuyu başı basıncı WHP=3,5 bar ve Debi= 140,57 t/h iken dinamik ölçülerin alınmasının ardından basınç elementi 2200 metreye çekilmiş ve yatay üretim vanası build-up için kapatılmaya çalışılmıştır. Fakat vana yarıya kadar kapatılabilmiş ve devamında sıkışmıştır. Vananın kabuklaşma veya daha başka bir arızası yüzünden kapanmaması sebebiyle basınç yükselimi sağlanamadığı için Build-up testi gerçekleştirilememiştir.

Water Loss Ölçüsü: Soğutma amaçlı hacminin 1,5 katı kadar kuyuya soğuksu basılmıştır. Devamında su basılmaya devam ederken sıcaklık elementi inilerek kuyu tabanına kadar sıcaklık ölçüleri alınmıştır. Ortalama 20 lt/sn debide toplamda 340 ton temiz ve soğuk su basılarak water loss testi gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.27, Şekil 4.41).

Tablo 4.27: AK-6 water loss değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
10	24,67	1600	43,69	2100	125,20	2600	149,41
100	25,03	1700	46,43	2200	130,99	2625	150,58
500	28,20	1800	49,94	2300	136,63		
1000	33,54	1900	77,88	2400	139,76		
1500	41,23	2000	113,53	2500	144,98		



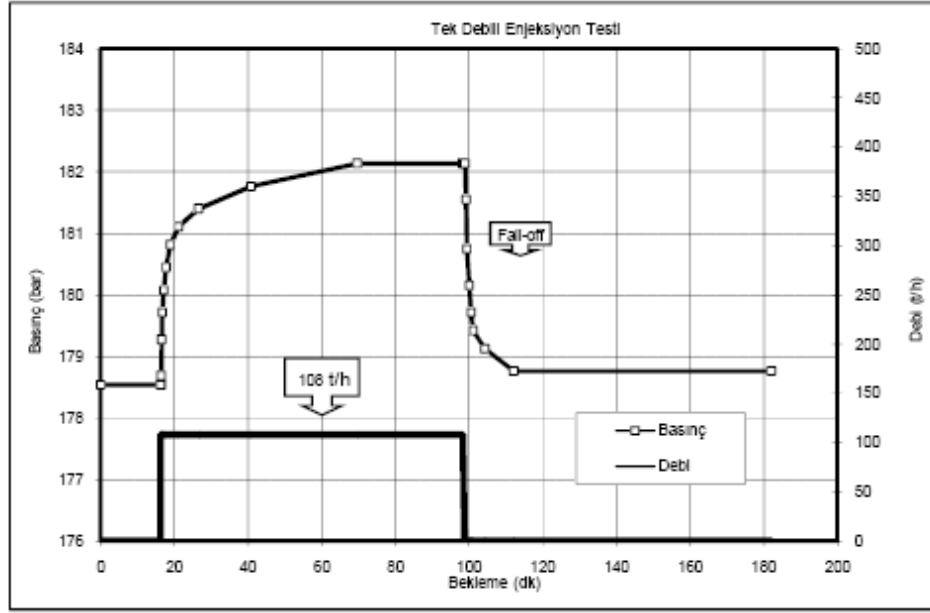
Şekil 4.41: AK-6 water-loss grafiği.

Tek Debili Enjeksiyon Testi: Basınç elementi 1850 metreye inildi ve 16 dakikalık beklemenin ardından pompa ile spool girişinden 30 lt/sn (108 t/h) debide soğuk su basılarak tek debili enjeksiyon testi gerçekleştirilmiştir. Kuyubaşında basınç oluşmamış, enjeksiyon sonrası fall-off gerçekleştirilerek test tamamlanmıştır (Tablo 4.28, Şekil 4.42).

Tablo 4.28: AK-6 enjeksiyon ve fall-off değerleri.

ENJEKSİYON		
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)
0,00	178,54	0,00
16,35	178,54	0,00
16,35	178,54	180,00
16,44	178,54	180,00
16,52	178,68	180,00
16,64	179,27	180,00
16,75	179,71	180,00
17,14	180,08	180,00
17,76	180,44	180,00
18,94	180,81	180,00
21,13	181,10	180,00
26,75	181,40	180,00
40,80	181,76	180,00
69,74	182,13	180,00
98,26	182,13	180,00

FALL-OFF		
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)
98,69	182,13	0,00
98,91	182,13	0,00
99,14	181,54	0,00
99,39	180,74	0,00
100,04	180,15	0,00
100,54	179,71	0,00
101,08	179,42	0,00
104,39	179,12	0,00
112,23	178,76	0,00
182,14	178,76	0,00

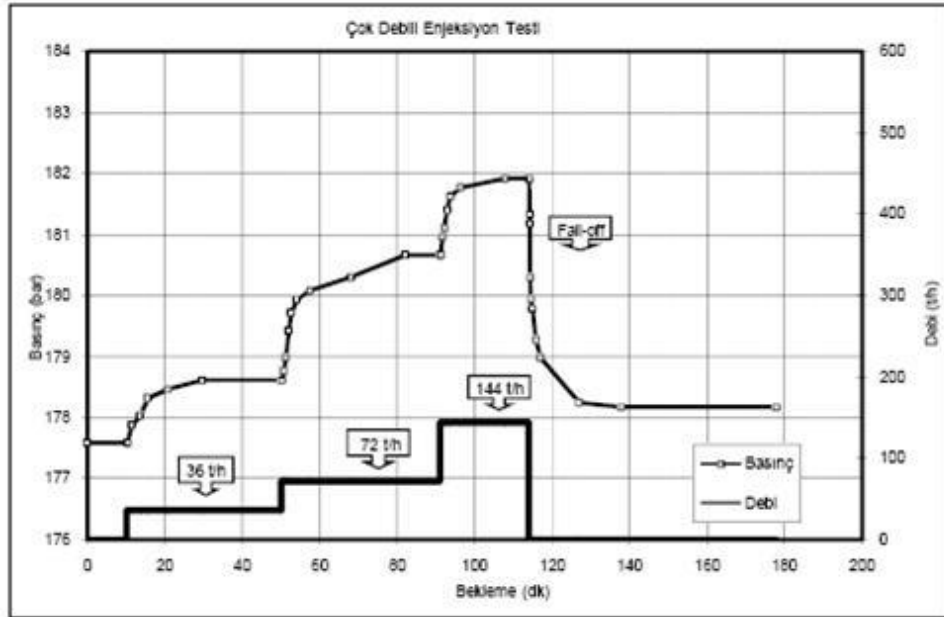


Şekil 4.42: AK-6 tek debili enjeksiyon testi grafiği.

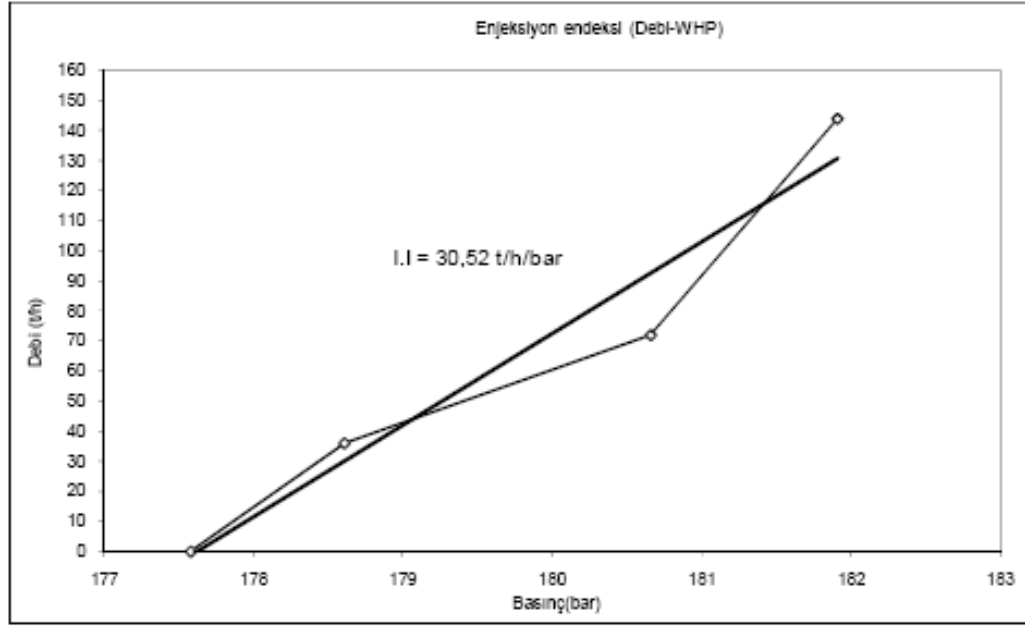
Çok Debili Enjeksiyon Testi: Basınç elementi 1850 metreye inilmiş ve 10 dakikalık beklemenin ardından pompa ile spool girişinden 10 lt/sn (108 t/h), 20 lt/sn (72 t/h) ve 40 lt/sn (144 t/sn) olmak üzere üç farklı debide soğuk su basılarak çok debili enjeksiyon testi gerçekleştirilmiştir. Kuyu başında basınç oluşmamış, enjeksiyon sonrası fall-off gerçekleştirilerek test tamamlanmıştır (Tablo 4.29, Şekil 4.43 ve 4.44).

Tablo 4.29: AK-6 çok debili enjeksiyon ve fall-off değerleri.

ENJEKSİYON			FALL-OFF		
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Debi (t/h)
0,00	177,58	0,00	91,04	180,66	144,00
10,17	177,58	0,00	91,16	180,66	144,00
10,17	177,58	36,00	91,75	180,96	144,00
10,28	177,58	36,01	92,17	181,10	144,00
11,52	177,88	36,02	92,90	181,40	144,00
13,60	178,02	36,03	93,69	181,62	144,00
15,62	178,32	36,04	96,30	181,76	144,00
20,74	178,46	36,05	107,76	181,91	144,00
29,67	178,61	36,06	113,97	181,91	144,00
50,02	178,61	36,07	113,97	181,91	0,00
50,02	178,61	72,00	114,09	181,91	0,00
50,21	178,61	72,00	114,20	181,32	0,00
50,72	178,76	72,00	114,28	181,18	0,00
51,25	178,98	72,00	114,37	180,30	0,00
51,99	179,42	72,00	114,48	179,93	0,00
52,60	179,71	72,00	114,93	179,78	0,00
54,12	179,93	72,00	115,86	179,27	0,00
57,38	180,08	72,00	117,04	178,98	0,00
68,00	180,30	72,00	127,01	178,24	0,00
82,16	180,66	72,00	137,97	178,17	0,00
91,04	180,66	72,00	177,93	178,17	0,00



Şekil 4.43: AK-6 çok debili enjeksiyon testi grafiği.

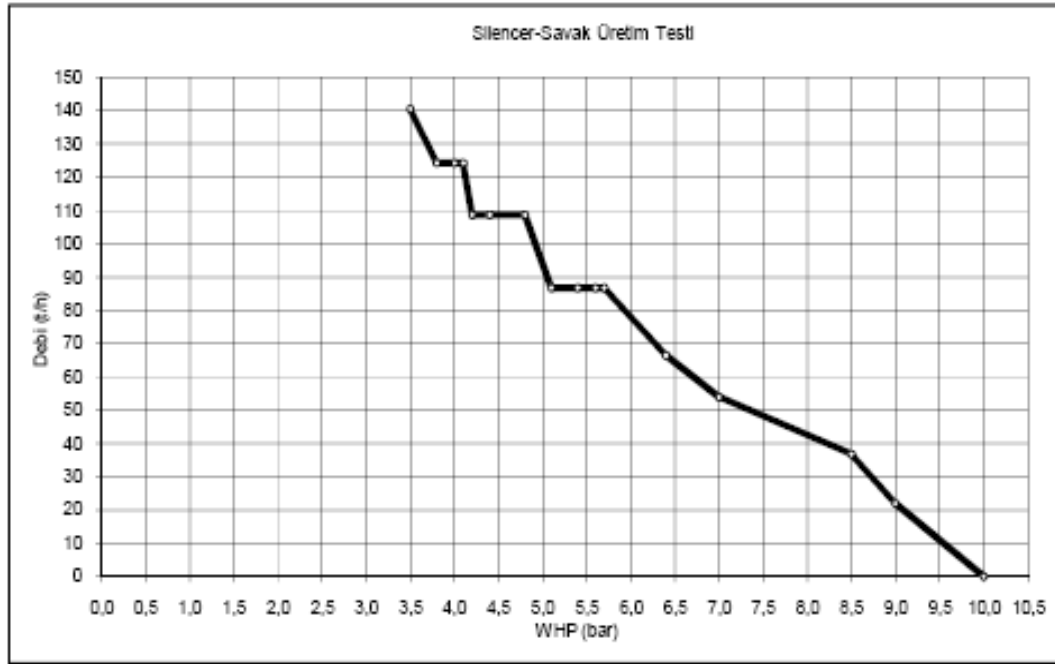


Şekil 4.44: AK-6 enjeksiyon endeksi grafiği.

Üretim Testleri: Kuyu tam olarak açılmış, basıncın dengeye girmesi beklenmiştir. Yatay üretim vanası arızalı olduğu için Ana vana çeşitli turlarda kapatılmak suretiyle kuyubaşındaki manometreden WHP ve savaktan debi değerleri okunup kaydedilerek test gerçekleştirilmiştir. Kuyunun yaptığı toplam üretim hesaplamalarında buhar oranı ($120^{\circ}\text{C} \rightarrow 98^{\circ}\text{C}$) %4,3 olarak alınmıştır (Tablo 4.30 ve 4.31, Şekil 4.45).

Tablo 4.30: AK-6 debi-basınç değerleri.

Debi(t/h)	WHP(bar)	Durum
140,57	3,5	Vana Tam Açık
124,34	3,8	
124,34	4,0	
124,34	4,1	
108,77	4,2	
108,77	4,4	
108,77	4,8	
86,75	5,1	
86,75	5,4	
86,75	5,6	
86,75	5,7	
66,43	6,4	
53,89	7,0	
36,78	8,5	
21,95	9,0	
0,00	10,0	Vana Tam Kapalı



Şekil 4.45: AK-6 silencer-savak üretim testi grafiği.

Tablo 4.31: AK-6 savak debi değerleri.

B=	1,00	AK6 Kuyusu Savak Ölçüleri	
A=	0,50	Sıcaklık :	120 → 98°C
D=	0,60	Buhar % :	1,043

Su Seviyesi (h)		k değeri	Savak Su Debisi	Kuyu Toplam Debi	Kuyu Toplam Debi
cm	m	sabit	ton/h	ton/h	l/s
0,5	0,005	143,48	1,47	1,53	0,43
1,0	0,010	125,16	3,63	3,78	1,05
1,5	0,015	118,81	6,33	6,60	1,83
2,0	0,020	115,51	9,47	9,87	2,74
2,5	0,025	113,44	12,99	13,55	3,76
3,0	0,030	112,00	16,86	17,59	4,89
3,5	0,035	110,92	21,05	21,95	6,10
4,0	0,040	110,08	25,52	26,62	7,39
4,5	0,045	109,41	30,27	31,57	8,77
5,0	0,050	108,84	35,27	36,78	10,22
5,5	0,055	108,37	40,51	42,25	11,74
6,0	0,060	107,95	45,98	47,96	13,32
6,5	0,065	107,59	51,67	53,89	14,97
7,0	0,070	107,28	57,58	60,05	16,68
7,5	0,075	106,99	63,69	66,43	18,45
8,0	0,080	106,74	69,99	73,00	20,28
8,5	0,085	106,51	76,49	79,78	22,16
9,0	0,090	106,30	83,17	86,75	24,10
9,5	0,095	106,11	90,04	93,91	26,09
10,0	0,100	105,93	97,08	101,25	28,13
10,5	0,105	105,77	104,29	108,77	30,22
11,0	0,110	105,62	111,67	116,47	32,35
11,5	0,115	105,48	119,21	124,34	34,54
12,0	0,120	105,35	126,92	132,37	36,77
12,5	0,125	105,23	134,78	140,57	39,05
13,0	0,130	105,12	142,79	148,93	41,37
13,5	0,135	105,02	150,96	157,45	43,74
14,0	0,140	104,92	159,27	166,12	46,14
14,5	0,145	104,83	167,73	174,95	48,60
15,0	0,150	104,74	176,34	183,92	51,09
15,5	0,155	104,66	185,09	193,05	53,62
16,0	0,160	104,58	193,98	202,32	56,20
16,5	0,165	104,51	203,00	211,73	58,81
17,0	0,170	104,45	212,16	221,29	61,47
17,5	0,175	104,38	221,46	230,98	64,16
18,0	0,180	104,33	230,89	240,82	66,89
18,5	0,185	104,27	240,45	250,79	69,66
19,0	0,190	104,22	250,14	260,89	72,47
19,5	0,195	104,17	259,95	271,13	75,31
20,0	0,200	104,13	269,90	281,50	78,20

Kuyunun water-loss (Şekil 4.41) ve dinamik sıcaklık (Şekil 4.40) grafiklerine göre filtreli borunun başladığı 1547. m'den itibaren kuvarsitşist, kalkşist, mikaşist ve silisifiye mermerlerden oluşan ve rezervuar kaya özelliğinde olan Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfitleri içinden iki farklı aralıkta (1800-2200 m, 2200-2600 m) iki farklı doğrusallık göstermesi dinamik konumda alınan ölçülerde kuyu tabanı (151,8°C) ile kuyu başında (105,6°C) yaklaşık 46°C'lik bir farkın oluşmasının nedenlerinden biridir. Şekil 3.6'da kuyu loguna işli dinamik sıcaklık grafiğinde Menderes metamorfitleri içerisinde silisifiye mermerlerden kuvarsşistlere oranla daha yüksek sıcaklıkta akışkanın kuyu içini beslediği anlaşılmaktadır.

5. HİDROKİMYA

Bu çalışma kapsamında jeotermal sular olarak Tosunlar sahasındaki AK-1, AK-3 ve AK-6 kuyuları, Pamukkale sahasındaki Özel İdare kaynağı, Karahayıt sahasındaki KH-3 kuyusu, Gölemezli sahasındaki Göl-1 ve Göl-2 kuyuları ve Yenicekent sahasında YK-5 kuyusu örneklenmiştir. Bunların dışında Gölemezli'deki ılık bir sondaj kuyusu, Oğuzköy'de soğuk sondaj kuyusu ve Tosunlar'da bir kaynak suyu soğuk sular olarak örnelemeye dâhil edilmiştir.

5.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri

İnceleme alanında termal suların sıcaklıkları Tosunlar sahasında 84,1-98,0°C, Gölemezli sahasında 63,3 °C ile 69,0 °C, Yenicekent sahasında 61,5 °C, Karahayıt sahasında 60,7 °C, Pamukkale sahasında 33,9 °C olarak ölçülmüştür (Tablo 5.1).

Suların elektriksel iletkenliği (Kondüktivite=EC) elektriği geçirme özelliğidir ve $\mu\text{mho/cm}$ (veya $\mu\text{S/cm}$) ile tanımlanır. Kondüktivite ile ölçülen elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar ve değişik sular arasında karşılaştırma yapmak için genellikle 25°C'ye indirgenerek verilir. Sularda çözünmüş toplam katı madde miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki (pozitif korelasyon) vardır. İnceleme alanında EC değerleri Tosunlar sahasında 3770 ile 4820 $\mu\text{S/cm}$, Gölemezli sahasında 3780-4470 $\mu\text{S/cm}$, Yenicekent sahasında 3140 $\mu\text{S/cm}$, Karahayıt sahasında 3060 $\mu\text{S/cm}$, Pamukkale sahasında 2390 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür.

pH, sudaki hidrojen iyonunun derişimidir. Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. İnceleme alanı termal sularının pH değerleri Tosunlar sahasında 7,27 ile 7,77, Gölemezli sahasında 6,85-7,32, Yenicekent sahasında 6,84, Karahayıt sahasında 7,01, Pamukkale sahasında 6,19 olarak ölçülmüştür.

5.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri

Olağan yeraltı sularının kökeni yağış sularıdır. Yağış sularının bir kısmı yer altına süzülerek akifere ulaşır. Ancak bu süzülme sırasında ve akiferde, geçtiği kayaçları kısmen çözündürerek yeni bir kimyasal bileşim kazanır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu sularının kullanım alanlarını ve kullanılabilirlik özelliklerini belirlemede büyük önem taşır.

İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

5.2.1 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, kaya su etkileşimlerini araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların türünün belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiş olup, bu çalışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması kullanılmıştır. Buna göre suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l olarak hesaplanmış % 20’ den fazla çözülmüş bulunan iyonlar, önce katyonlar sonra anyonlar yazılarak su türünü belirlemektedir (IAH 1979).

İnceleme alanı sularının IAH sınıflaması Tablo 5.1’de verilmiştir. Buna göre Tosunlar sahası termal suları ile Göl-1 ve YK-5 kuyusu suları Na-Ca-HCO₃-SO₄, Pamukkale ve Karahayit suları Ca-Mg-SO₄-HCO₃, Göl-2 kuyu suyu Ca-Na-SO₄-HCO₃ tipindedir.

Tablo 5.1: İnceleme alanı sularının analiz sonuçları (Elektriksel iletkenlik EC: $\mu\text{S/cm}$, Eh: mV, pH: standart birim, diğerleri mg/l'dir).

No	Adı	T(°C)	EC	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	F	Br	Li	İ.D. (%)	Su Tipi
1	AK-1	84,1	4820	7,27	940,3	138,5	242,6	24,6	58,3	971	2332	1,39	3,49	0,51	1,54	-1,26	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
2	AK-3	97,0	3850	7,48	752,2	123,0	231,9	31,6	44,5	638	2063	0,80	2,36	0,36	0,59	1,64	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
3	AK-6	98,0	3770	7,77	688,4	131,6	214,8	39,9	44,1	651	2063	0,76	2,16	0,28	0,61	-1,41	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
4	Pamukkale	33,9	2390	6,19	40,1	5,1	381,3	93,2	9,5	653	756	0,56	0,93	0,06	0,13	4,21	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
5	KH-3	60,7	3060	7,01	131,2	21,3	367,1	122,3	18,9	948	744	0,19	1,63	0,11	0,33	3,37	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
6	Göl-1	63,3	3780	7,32	334,5	56,1	318,0	92,3	36,4	470	1537	0,35	1,46	0,22	0,32	4,85	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
7	Göl-2	69,0	4470	6,85	496,4	56,2	432,4	124,0	58,0	1812	1165	0,82	3,32	0,33	1,52	-2,08	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
8	YK-5	61,5	3140	6,84	441,7	70,3	253,5	35,4	32,0	497	1476	0,11	2,45	0,17	0,66	2,38	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
9	Göl-İlık	22,0	1020	7,66	91,3	8,7	65,5	37,6	73,4	76	354	20,00	0,25	0,12	0,03	3,99	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
10	Tosunlar kaynak	14,0	1170	7,47	117,1	19,7	82,2	40,2	98,3	173	409	0,06	0,31	0,14	0,06	-0,13	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
11	Oğuzlar kuyu	13,0	1110	7,84	34,2	12,0	55,8	91,8	35,1	200	353	35,07	0,99	0,06	0,04	2,91	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃

Tablo 5.2: İnceleme alanı sularının bazı element analiz sonuçları (ppb).

No	Adı	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
1	AK-1	<0,05	30	320,0	<0,05	7280	69,2	2,55	<0,05	360	<0,05	<0,01	<0,02	<0,05	118,00	21,0	<0,01	<0,01
2	AK-3	<0,05	20	209,2	<0,05	4328	103,6	1,60	<0,05	264	<0,05	0,08	<0,02	<0,05	69,60	14,0	<0,01	<0,01
3	AK-6	<0,05	12	234,0	<0,05	4460	121,8	1,88	<0,05	280	0,48	<0,01	<0,02	<0,05	78,80	10,8	<0,01	<0,01
4	Pamukkale	0,30	4	<0,5	<0,05	958	19,0	0,20	<0,05	60	<0,05	0,06	<0,02	<0,5	11,80	6,8	<0,01	<0,01
5	KH-3	0,17	11	5,4	<0,05	1974	53,4	0,69	<0,05	106	<0,05	0,06	<0,02	<0,5	27,17	10,6	<0,01	<0,01
6	Göl-1	0,28	24	18,0	<0,05	3588	79,1	0,44	<0,05	216	<0,05	0,24	<0,02	<0,5	46,48	8,8	<0,01	<0,01
7	Göl-2	<0,05	12	100,8	<0,05	6480	37,3	<0,05	<0,05	332	<0,05	0,12	<0,02	<0,5	87,56	10,0	<0,01	<0,01
8	YK-5	0,23	17	176,0	<0,05	3423	56,4	0,86	<0,05	169	<0,05	0,06	<0,02	<0,5	53,14	9,7	<0,01	<0,01
9	Göl-İlık	0,09	3	48,9	<0,05	251	105,8	<0,05	<0,05	115	<0,05	0,03	0,19	2,1	1,11	1,4	<0,01	<0,01
10	Tosunlar kaynak	<0,05	5	19,7	<0,05	430	89,1	<0,05	<0,05	136	<0,05	0,04	0,18	1,1	0,53	3,2	<0,01	<0,01
11	Oğuzlar kuyu	0,23	2	2,1	<0,05	81	32,6	<0,05	<0,05	62	<0,05	0,01	0,04	2,9	0,06	2,5	<0,01	<0,01

Tablo 5.2: (Devam).

No	Adı	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Li	Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni
1	AK-1	<0,01	1345	<0,05	<0,01	27,9	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	1394	<0,01	30,05	1,5	<0,01	<0,01	<0,2
2	AK-3	<0,01	328	<0,05	<0,01	15,8	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	521	<0,01	18,6	4,0	<0,01	<0,01	<0,2
3	AK-6	<0,01	372	<0,05	<0,01	18,2	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	544	<0,01	8,4	3,6	<0,01	<0,01	<0,2
4	Pamukkale	<0,01	<10	<0,05	<0,01	1,1	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,06	127	<0,01	9,3	0,6	<0,01	<0,01	5,0
5	KH-3	<0,01	<10	<0,05	<0,01	4,6	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,06	326	<0,01	51,9	0,3	<0,01	<0,01	<0,2
6	Göl-1	<0,01	344	<0,05	<0,01	7,6	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,12	317	<0,01	141,1	<0,1	<0,01	0,08	2,4
7	Göl-2	<0,01	<10	<0,05	<0,01	18,1	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,04	1522	<0,01	3,9	<0,1	<0,01	<0,01	<0,2
8	YK-5	<0,01	729	<0,05	<0,01	13,2	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,03	662	<0,01	63,4	1,7	<0,01	<0,01	<0,2
9	Göl-İlık	<0,01	18	<0,05	<0,01	1,02	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,02	34	<0,01	787,5	0,3	0,01	<0,01	2,5
10	Tosunlar kaynak	<0,01	39	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,02	60	<0,01	31,4	2,1	<0,01	<0,01	2,6
11	Oğuzlar kuyu	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	39	<0,01	2,7	3,0	<0,01	<0,01	2,4

Tablo 5.2: (Devam).

No	Adı	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	SiO ₂	Sm	Sn
1	AK-1	2815	3,0	0,15	<0,01	<0,01	614,00	<0,01	0,20	<0,05	290	4,75	10	<0,5	113065	<0,02	0,75
2	AK-3	912	2,0	0,16	<0,01	<0,01	571,60	<0,01	0,24	<0,05	200	0,24	12	<0,5	137648	<0,02	0,28
3	AK-6	1548	2,8	0,16	<0,01	<0,01	653,12	<0,01	0,28	<0,05	205	1,44	12	<0,5	162147	<0,02	<0,05
4	Pamukkale	36	1,2	<0,01	<0,01	<0,01	22,54	<0,01	0,12	<0,05	230	<0,05	<1	<0,5	46605	<0,02	<0,05
5	KH-3	109	1,1	<0,01	<0,01	<0,01	95,34	<0,01	0,17	<0,05	300	<0,05	<1	<0,5	52695	<0,02	0,14
6	Göl-1	572	1,6	0,04	<0,01	<0,01	296,76	<0,01	0,12	<0,05	160	<0,05	<1	<0,5	71691	<0,02	<0,05
7	Göl-2	396	1,2	0,16	<0,01	<0,01	218,48	<0,01	0,20	<0,05	544	<0,05	<1	<0,5	135604	<0,02	<0,05
8	YK-5	1626	0,9	<0,01	<0,01	<0,01	295,69	<0,01	0,11	<0,05	166	1,20	<1	<0,5	57885	<0,02	0,17
9	Göl-İlık	1343	0,3	0,01	<0,01	<0,01	16,12	0,03	0,01	<0,05	26	0,44	<1	0,7	56033	<0,02	<0,05
10	Tosunlar kaynak	144	0,4	0,03	<0,01	<0,01	17,72	0,02	0,02	<0,05	59	0,30	<1	0,7	14586	<0,02	<0,05
11	Oğuzlar kuyu	24	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	1,38	0,04	0,02	<0,05	65	0,12	<1	2,4	34744	<0,02	<0,05

Tablo 5.2: (Devam).

No	Adı	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
1	AK-1	7161,1	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	1,25	<0,01	1,50	1,0	<0,02	0,15	<0,01	24,0	0,10
2	AK-3	7502,3	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	1,60	<0,01	1,16	0,8	<0,02	0,08	<0,01	34,8	0,16
3	AK-6	8089,8	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	1,88	<0,01	0,12	<0,2	<0,02	0,04	<0,01	28,4	<0,02
4	Pamukkale	6316,6	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	2,10	<0,2	<0,02	0,12	<0,01	11,2	0,04
5	KH-3	9430,4	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	0,03	<0,01	0,14	<0,2	<0,02	0,03	<0,01	7,4	0,06
6	Göl-1	7116,1	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	0,08	<0,01	0,12	<0,2	<0,02	0,24	<0,01	9,2	0,12
7	Göl-2	11340,4	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	<0,02	<0,2	0,08	0,04	<0,01	9,2	<0,02
8	YK-5	5110,9	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	0,57	<0,01	1,06	2,0	<0,02	0,06	<0,01	10,0	0,09
9	Göl-Ilık	953,7	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,80	5,1	0,29	0,01	<0,01	2,9	0,08
10	Tosunlar kaynak	1109,6	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	2,83	1,5	0,04	0,02	<0,01	4,2	0,04
11	Oğuzlar kuyu	1084,58	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	18,69	1,5	<0,02	<0,01	<0,01	32,6	0,16

Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre sınıflama

Bu sınıflamada toplam iyon miktarları 1000 mg/l'den düşük sular “tatlı sular”, 1000-10.000 mg/l arasında olanlar “hafif tuzlu su” sınıfına girer. Buna göre soğuk sular “tatlı sular”, diğerleri “hafif tuzlu sular” sınıfına girer.

Schoeller sınıflaması

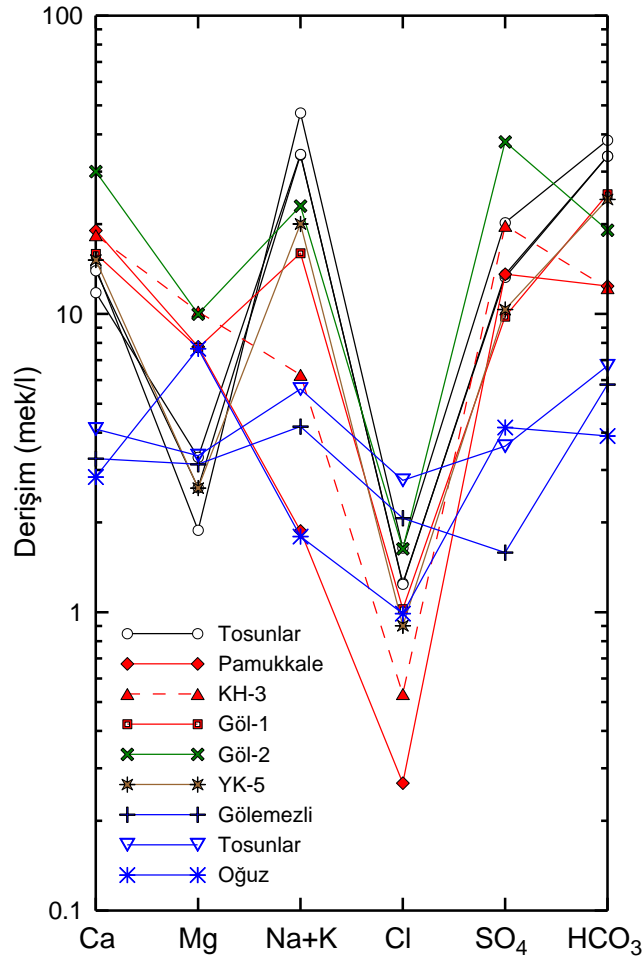
Schoeller, suları klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanı sularının tümü olağan klorürlü ($rCl < 15$ mek/l); soğuk sular olağan sülfatlı ($SO_4 < 6$ mek/l), Göl-2 sondaj suyu “sülfatlı“ ($24 < rSO_4 < 58$ mek/l), diğer sular oligosülfatlı ($6 < rSO_4 < 24$ mek/l); soğuk sular “olağan karbonatlı” (2 mek/l $< HCO_3 + CO_3 < 7$ mek/l), diğer sular “hiperkarbonatlı” ($HCO_3 + CO_3 > 7$ mek/l) sular sınıfına girmektedir.

Yarı logaritmik diyagram

Yarı logaritmik diyagramda aynı rezervuardan gelen veya yeraltında benzer jeokimyasal süreçten geçmiş sular birbiriyle çakışan veya birbirine yakın ve az-çok paralel doğrular oluştururlar.

Yarı logaritmik diyagramda, Tosunlar sahası termal sularının en yüksek derişime sahip olduğu, Na+K ve HCO_3 miktarlarının diğer termal sulardan daha fazla Ca ve Mg miktarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Pamukkale termal suyundan Tosunlar sahasına doğru daha yüksek sıcaklık, daha yüksek derişim, daha yüksek Na+K ve HCO_3 ve daha düşük Ca ve Mg miktarları, Tosunlar'a doğru daha derin dolaşımı ve giderek azalan soğuk yeraltısuyu karışımını göstermektedir (Şekil 5.1). Suların yüksek SO_4 içerikleri termal suların rezervuardan yüzeye yükselirken içerdiği H_2S gazının oksitlenerek sülfata dönüşmesi ve Sazak formasyonundaki jipslerin çözünmesi nedeniyledir. Sölestin mineralinin genellikle jipslerle birlikte bulunması ve inceleme alanı sularında sülfat ve stronsiyum arasındaki doğrusal ilişki,

sulardaki Sr zenginleşmesini de açıklamaktadır. Sularda bağıl olarak Ca ve Mg miktarlarının düşük, Na+K, SiO₂, B ve As miktarlarının yüksek olması yeraltındaki sıcaklığın yüksek olduğunun göstergesidir.



Şekil 5.1: İnceleme alanı sularının Schoeller diyagramı.

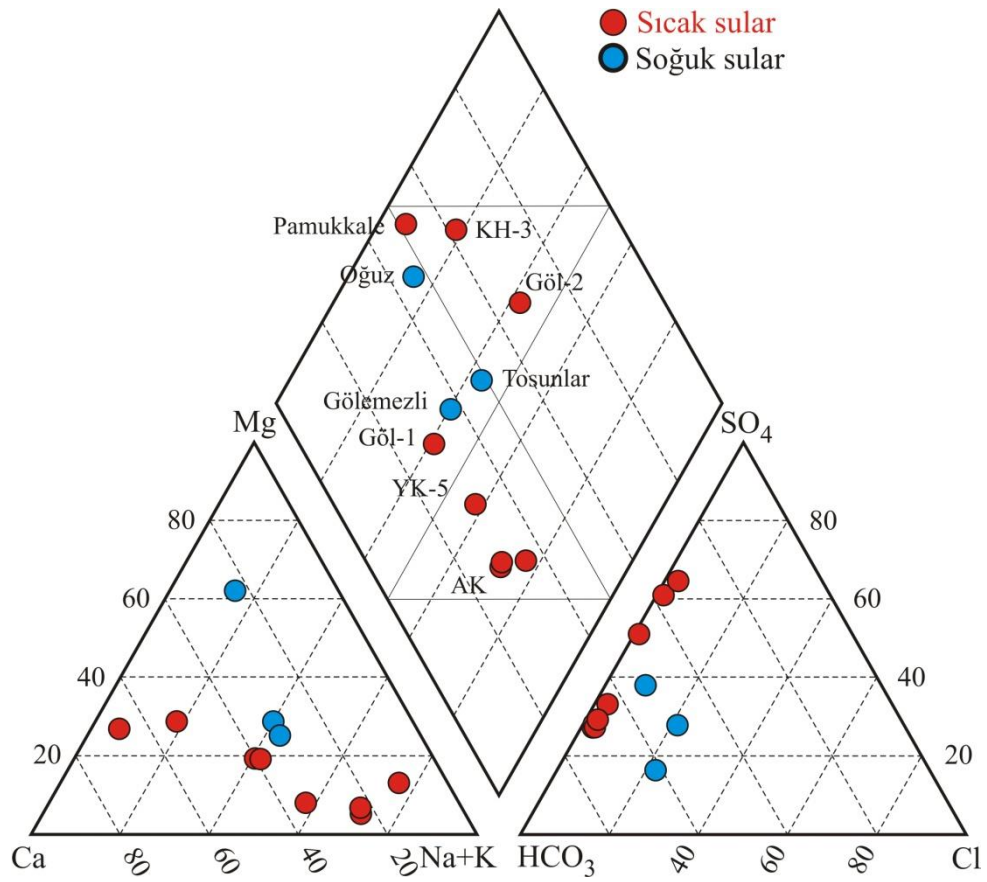
Piper sınıflaması

Piper, üçgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende, anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür.

İnceleme alanındaki suların içerdiği iyonlar % mek/l cinsinden Piper diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 5.2). Buna göre Göl-1, Göl-2, KH-3, Pamukkale termal suları ile soğuk sularda alkali toprak elementler (Ca+Mg), alkali elementlerden (Na+K) fazla, diğer sularda ise alkali elementler (Na+K) alkali toprak elementlerden (Ca+Mg) fazladır. Göl-2 ve KH-3 termal suları ile Oğuz kuyu suyunda güçlü asit kökleri (Cl+SO₄) zayıf asit köklerinden (HCO₃+CO₃) fazla, diğer sularda

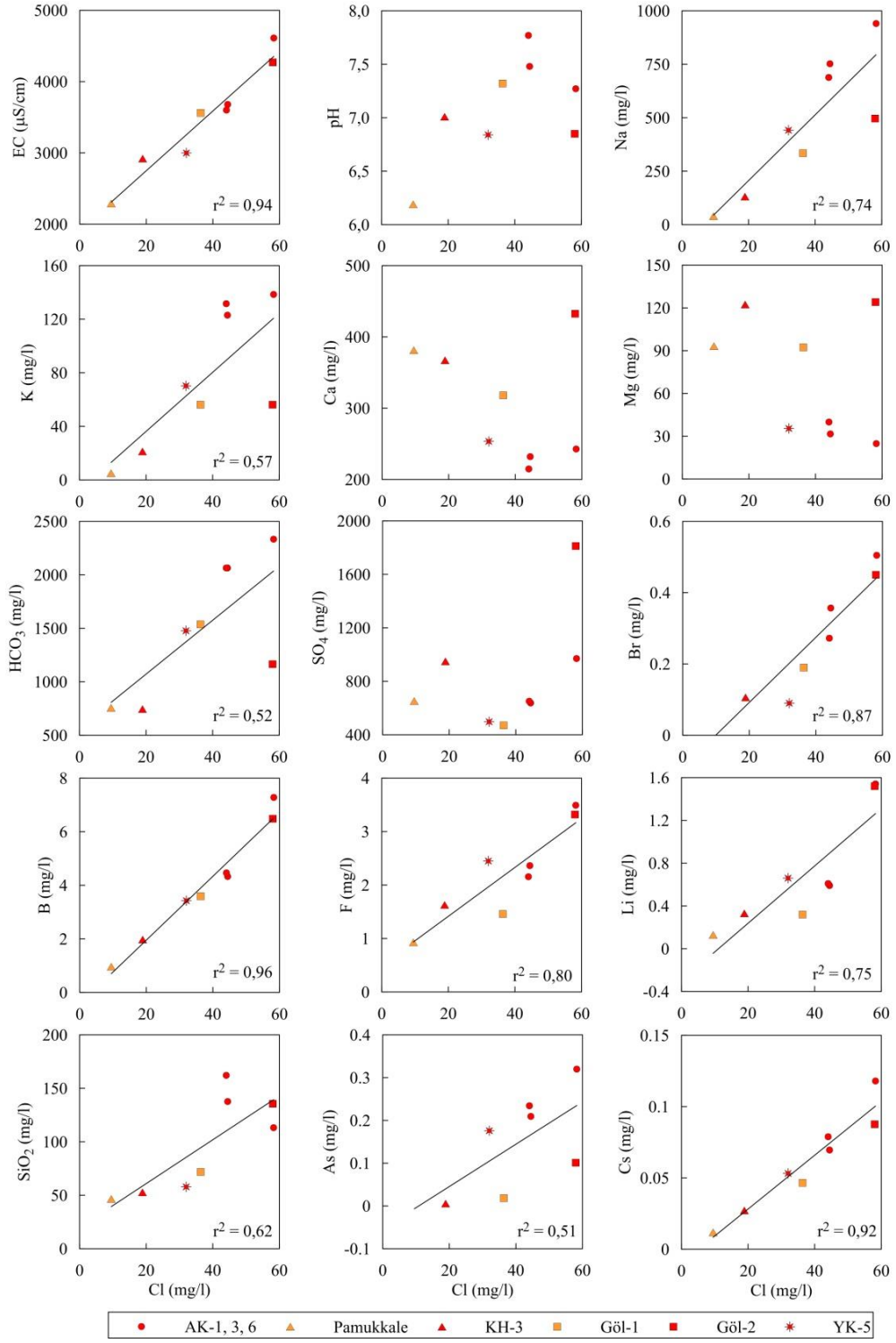
zayıf asit kökleri (HCO_3+CO_3), güçlü asit köklerinden ($\text{Cl}+\text{SO}_4$) fazladır. Göl-1 ve Pamukkale termal suları ile Gölemezli ve Tosunlar soğuk suları karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır (CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sular). Tosunlar (AK-1, AK-3, AK-6), YK-5, Göl-2, KH-3 termal suları ile Oğuz kuyu suyu iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık sulardır.

İnceleme alanı sularının bazı element analiz sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu tabloda iz element ve ağır metal yönüyle Tosunlar sahası sularının diğer termal sulara oranla daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

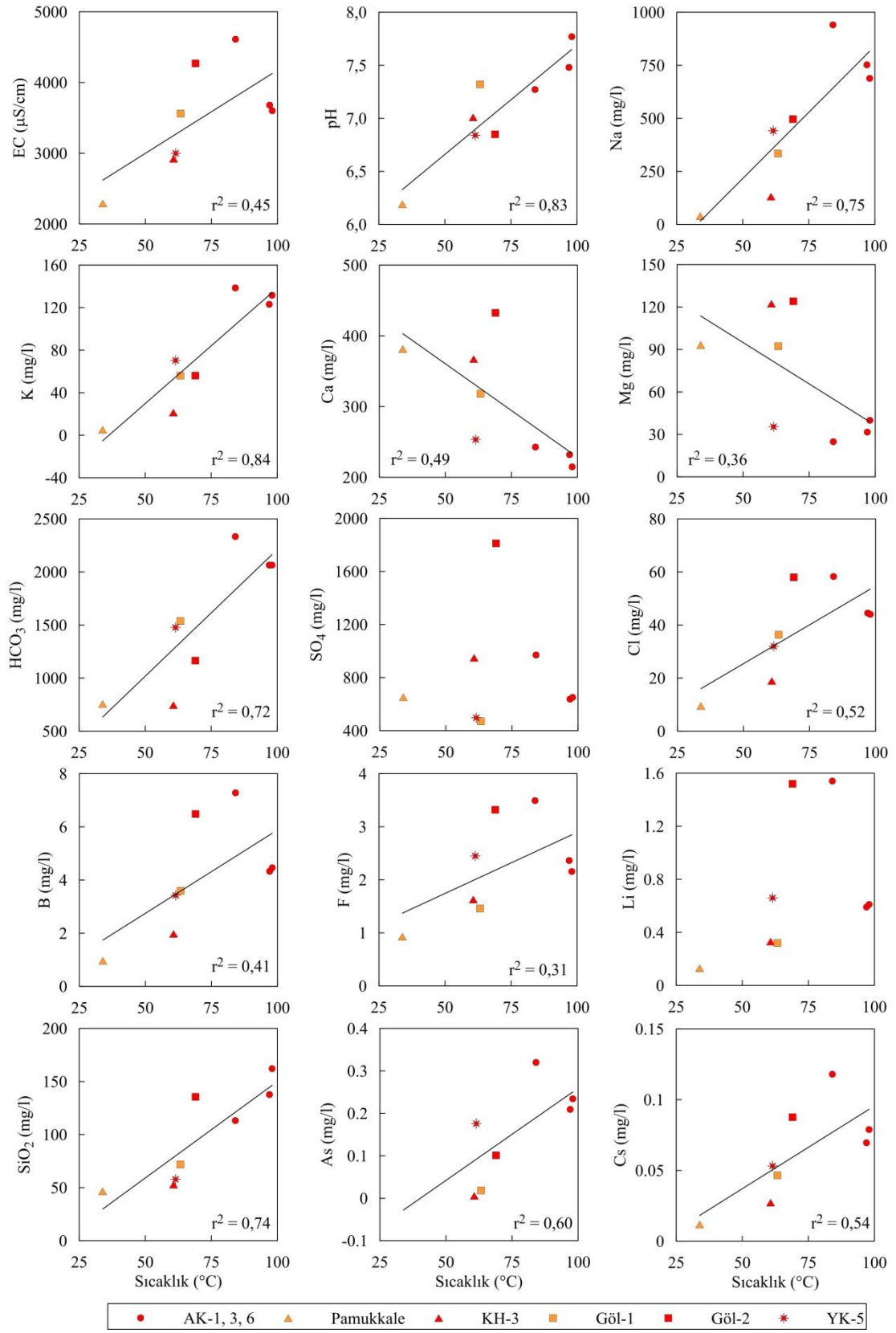


Şekil 5.2: İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.

İnceleme alanındaki termal suların sıcaklık, pH, iyon ve element değerlerinin sıcaklık ve klorür ile ilişkileri Şekil 5.3, ve 5.4'deki ikili grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde genellikle ikili ilişkiler yüksek korelasyon katsayısı sunar. Suların bir doğru üzerinde uzanımı da karışımı gösterir.



Şekil 5.3: Sulardaki sıcaklık, EC, iyon ve bazı element değerlerinin klorürle değişimleri.



Şekil 5.4: Sulardaki pH, EC, iyon ve bazı element değerlerinin sıcaklıkla değişimleri.

5.3 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları

Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır.

İnceleme alanı sularının $\delta^2\text{H}$ (döteryum), $\delta^{18}\text{O}$, ^3H (trityum), $\delta^{13}\text{C}$ (DIC) ve $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{34}\text{S}$ (çözünmüş sülfattan) izotop değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta_2\text{H}$) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri, δ değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)’a göre ölçülmektedir.

Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki vardır.

$$\delta\text{D}=\text{A}*\delta^{18}\text{O}+\text{B} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki 5.1 bağıntısında A (eğim) ve B (döteryum fazlası) değeri, hidrolojik döngü boyunca buharlaşma, nem, yağış, iklim koşullarına ve coğrafi konuma bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su vardır. ^{18}O ve $\text{D}(^2\text{H})$ izotoplarının bu özellikleri, yeraltı sularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Yağışların çevresel izotop değerlerinin belirlenebilmesi için Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Organizasyonunun (WMO) işbirliğiyle 1960 yılından itibaren dünyadaki yaklaşık 153 yağış istasyonlarından toplanan yağış numunelerinin izotop içerikleri belirlenmiştir (Çifter ve Sayın 2002). Global Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak bilinen bu doğrunun denklemi;

$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10 \text{ ‰ (SMOW)}$ ’ dir (Craig 1961). Bu doğru buharlaşma etkisinde olmayan sular için geçerlidir. Çeşitli etkiler nedeni ile A ve B değerleri genel denklemi ifade eden 8 ve 10 değerlerinden sapmalar gösterirler. Örneğin Akdeniz’deki yağışlar için döteryum fazlalığı batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Bu bölgedeki yağışlar yüksek hıza sahip buharlaşma etkisi altındaki Akdeniz kaynaklı atmosferik su buharından oluşmaktadır. Döteryum fazlalığı genel olarak okyanus ve deniz kenarındaki atmosferik neme yani klimatolojik faktörlere bağlıdır (Çifter ve Sayın 2002).

Bu çalışmada global meteorik su doğrusu ile birlikte Akdeniz meteorik su doğrusu ve yerel meteorik su doğrusu kullanılmıştır. Akdeniz meteorik doğrusunun denklemi (Gatt ve Carmi 1970);

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 22 \text{ ‰ (SMOW)} \quad (5.2)$$

İnceleme alanı termal sularının $\delta^{18}O$ değerleri ‰-8,01 ile -9,28 ve δD değerleri ‰-55,17 ile -60,82 arasındadır. $\delta^{18}O$ - δ^2H diyagramında (Şekil 5.6) suların tümü “Dünya Meteorik Su Çizgisi” ve “Akdeniz Meteorik Su Çizgisi” civarında kalmaktadır. Buradan suların tümünün meteorik kökenli olduğu anlaşılmaktadır. Termal suların $\delta^{18}O$ değeri “Akdeniz Meteorik Su Çizgisi” ‰ 2 değerinde bir sapma (^{18}O zenginleşmesi) göstermektedir. Bu derinde yüksek sıcaklıktaki bir su-kaya etkileşimine işaret etmektedir. Şekil 5.6’dan termal suların beslenme alanı yüksekliklerinin soğuk sulara oranla çok daha fazla olduğu ve soğuk suların buharlaşma etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır.

Termal suların trityum değerleri Tosunlar termal suları için 0,54 (AK-1) ve 0,71 (AK-3), Gölemezli ve Yenicekent suları için 0,54 (Göl-1), 0,02 (Göl-2) ve 0,05 (YK-5) olarak belirlenmiştir. Bu değerler, bu termal suların yeraltındaki sirkülasyon zamanının 50 yıldan daha fazla olduğunu göstermektedir. Pamukkale ve Karahayıt termal sularının trityum değerleri 2,13-2,16 TU olup bu sularda genç yağış sularının katkısı olduğu anlaşılmaktadır.

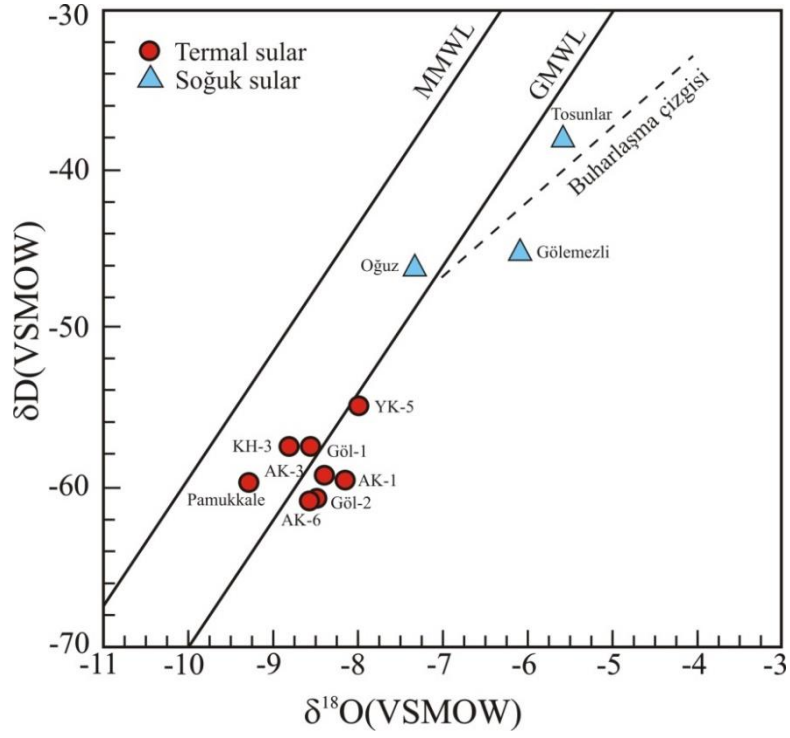
İnceleme alanı termal sularının $\delta^{13}C$ (DIC-Suda çözülmüş inorganik karbon) değerleri Tosunlar sondaj sularında ‰+2,20 ve 2,55, Pamukkale termal kaynağında ‰+5,68’dir, Karahayıt KH-3 kuyu suyunda ‰+5,45, Gölemezli sularında ‰+7,65

(Göl-1) ve ‰+3,79 (Göl-2), Yenicekent YK-5 kuyu suyunda ‰+6,32'dir. Bu değerler sulardaki karbonun başlıca kaynağının metamorfik CO₂ (karbonatlı kayaçların 350°C'nin üzerindeki sıcaklıkta metamorfizması) olduğunu göstermektedir (Şekil 5.7).

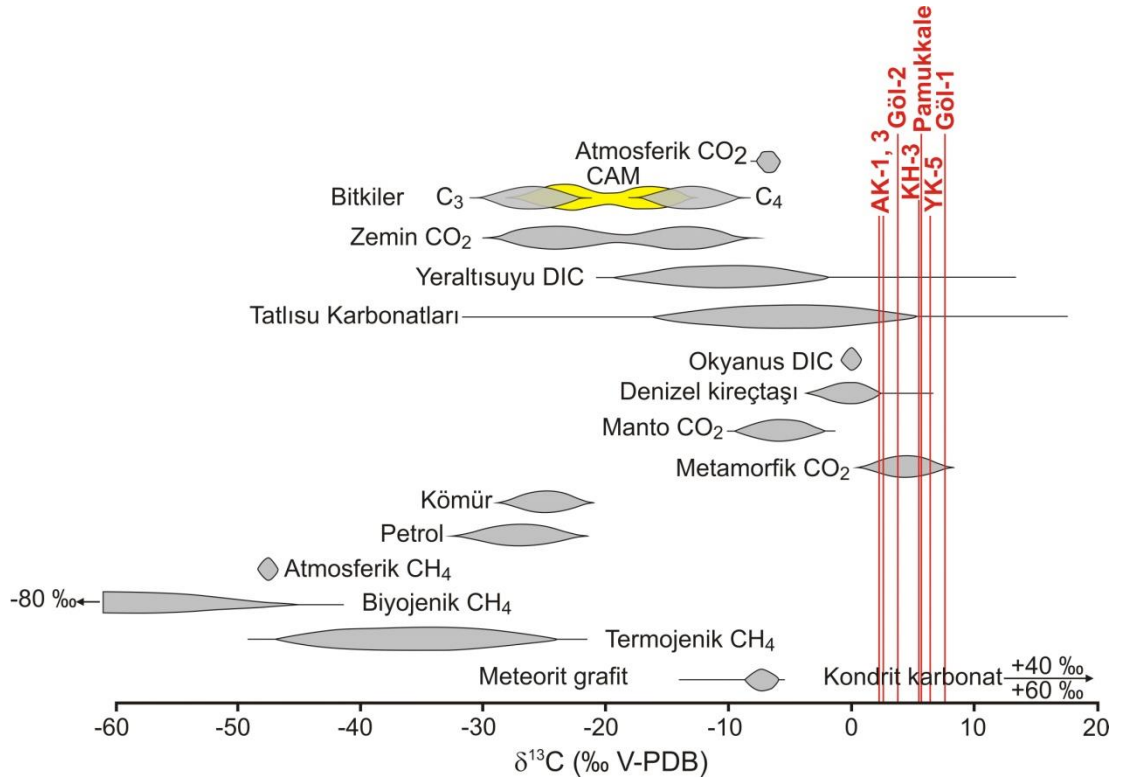
Suların δ³⁴S(SO₄) değerleri 14,10-20,04 arasındadır. Bu değerler, sulardaki kükürdün kaynağının kireçtaşları içindeki CaSO₄ ve olasılıkla volkanik sülfür olduğuna işaret etmektedir (Şekil 5.8).

Tablo 5.3: İnceleme alanı sıcak ve soğuk sularının izotop değerleri.

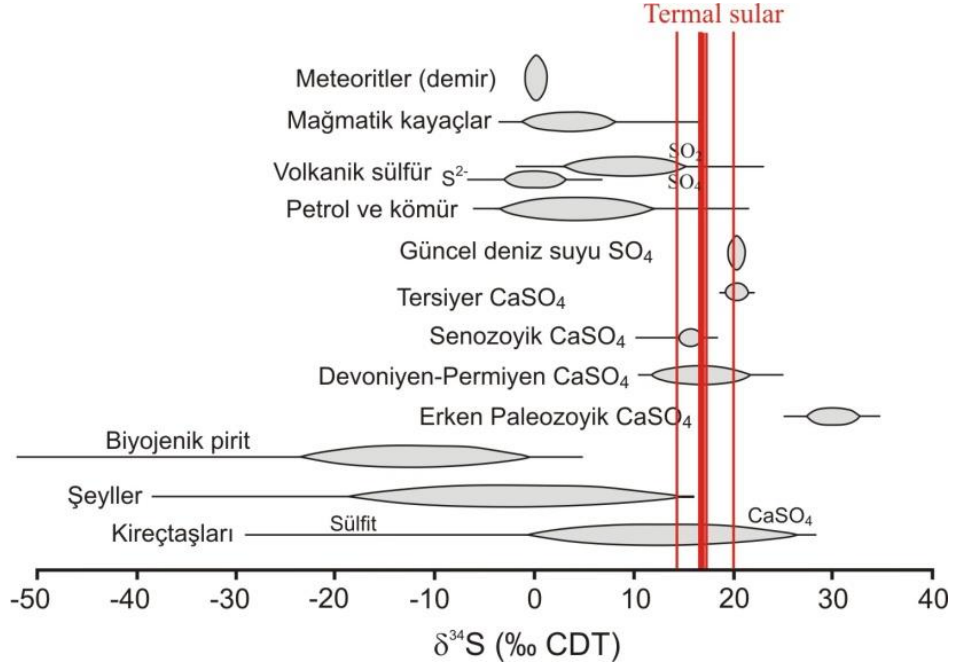
Suyun Adı	δ ¹⁸ O (VSMOW)	δD	T (TU)	δ ¹³ C (PDB)	δ ³⁴ S (SO ₄) (VCDT)	δ ¹⁸ O (SO ₄) (VSMOW)
AK-1	-8,16	-59,57	0,54	2,20	16,59	10,64
AK-3	-8,43	-59,35	0,71	2,55	16,46	11,33
AK-6	-8,58	-60,82	-	-	-	-
Pamukkale	-9,28	-59,75	2,16	5,68	16,82	13,94
KH-3	-8,81	-57,69	2,13	5,45	17,11	13,73
Göl-1	-8,54	-57,62	0,54	7,65	16,43	12,64
Göl-2	-8,50	-60,56	0,02	3,79	20,04	15,71
YK-5	-8,01	-55,17	0,05	6,32	14,10	10,65
Gölemezli	-6,07	-44,94	2,91	-	-	-
Tosunlar	-5,59	-38,04	2,39	-	-	-
Oğuz	-7,33	-46,04	2,07	-	-	-
Yağmur	-	-	5,64	-	-	-



Şekil 5.5: Suların $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı.



Şekil 5.6: Çeşitli doğal ortamlar için $\delta^{13}C$ değerleri (Clark ve Fritz 1997) ve termal suların dağılımı.



Şekil 5.7: Çeşitli doğal ortamlar için $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (Clark ve Fritz 1997) ve termal suların dağılımı.

5.4 Termal Suların Mineral Doygunlukları

Suların yeraltından sondaj yoluyla alınmasında ya da kullanım amaçlı iletim borularında kabuklaşma olup olmayacağıın bilinmesi önemlidir. Kabuklaşma sondaj ve iletim borularında zamanla tıkanmalara yol açarak debi azalmasına ve ekonomik kayba neden olur. İnceleme alanı sularında çökelmeye eğilimli mineralleri saptamak için PhreeqCi (Parkhurst ve Appelo 1999) programından yararlanılmıştır. Suların analiz sonuçları programa girilmiş ve PhreeqCi veri tabanında mineral doygunluk hesaplamaları yaptırılmıştır. Mineral doyma indisi (SI) negatif olanlar suların çözme, pozitif olanlar çöktürme eğiliminde oldukları mineralleri gösterir. Seçilen bazı minerallerin mineral doygunlukları Tablo 5.4'te verilmiştir (Tablodaki gri renk tonları suların çöktürme eğiliminde oldukları minerallere ait doyma indisi değerlerini göstermektedir). Buna göre inceleme alanı sıcak sularının tümü yüzeye çıkış koşullarında kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerine göre doygundur. Sadece Pamukkale kaynağında aragonit ve dolomit çözünme eğilimindedir. Tüm sular kalsedon ve jips çözündürme eğilimindedir. Göl-2 kaynağı jipse göre belirsiz doygunluk değerine sahiptir (-0,07). Bu sondaj suyunun zaman zaman su

kimyasındaki küçük değişimlerde jipse göre doğgun duruma gelebileceği öngörülmektedir.

Tablo 5.4: İnceleme alanı sularının çeşitli minerallere göre doyma indisleri.

Adı	Aragonit	Kalsit	Dolomit	Kalsedon	Kuvars	Jips
AK-1	1,29	1,40	2,03	-0,07	0,21	-0,98
AK-3	2,03	2,13	3,44	-0,10	0,15	-0,67
AK-6	2,18	2,28	3,93	-0,05	0,20	-0,77
Pamukkale	-0,11	0,03	-0,15	0,01	0,42	-0,50
KH-3	0,97	1,09	2,12	-0,20	0,13	-0,41
Göl-1	1,55	1,67	3,27	-0,10	0,23	-0,77
Göl-2	1,18	1,30	2,23	0,13	0,44	-0,07
YK-5	1,04	1,16	1,78	-0,17	0,16	-0,71
Göl-Ilık	0,29	0,44	0,95	0,22	0,66	-1,84
Tosunlar	0,11	0,26	0,4	-0,26	0,20	-1,42
Oğuz	0,06	0,21	0,81	0,13	0,59	-1,54

6. JEOTERMOMETRİ

Jeotermometrelerin genel amacı yeraltındaki jeotermal akışkanın sıcaklığının tahmin edilmesidir. Suların yeraltında katettikleri yol, ne denli kısa ve debisi ne denli yüksekse, sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Derinlerde rezervuarda bulunan sıcak sular yüzeye erişinceye kadar değişik ölçüde soğuyarak ve/veya soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeylerler. Bu nedenle derinlerde bulunan jeotermal akışkanın sıcaklığı yüzeydeki boşalım sıcaklığına göre daha yüksektir. Rezervuardaki jeotermal suların gerçek sıcaklığı, verimleri ve diğer gerçek bilgiler, hazne kayaya değin inen kuyuların incelenmesi ile elde edilebilir. Ancak, derin jeotermal sondajlar oldukça yüksek maliyete ve zamana gereksinim göstermektedir. Bundan dolayı, jeotermal akışkanın kullanım alanlarının (elektrik üretimi, konut ve sera ısıtması, kaplıca gibi) saptanabilmesi için, açılacak sondajlardan önce, çeşitli jeotermometre yöntemleri ile rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesi büyük önem taşır.

Rezervuar sıcaklığının saptanmasında çok değişik yöntemler (su, gaz, izotop) önerilmiştir. Bunlardan bazıları çevresel izotoplarla kalitatif değerlendirme, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak rezervuar sıcaklığının tahmini, jeotermal alanlarda izlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin incelenmesi ve kimyasal jeotermometreler gibi yöntemlerdir. Bu bölümde, inceleme alanı jeotermal sularına uygulanan jeotermometre teknikleri, elde edilen sonuçlar ve rezervuar sıcaklığına ilişkin değerlendirmeler verilmiştir.

6.1 Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır (Şahinci 1991);

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer– su arasında gerçekleşmektedir.

- Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- Akifer sıcaklığında kaya–su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.

Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımların ilk üçü SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir. Kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe, iyon değişimine ve iyon etkinliğine bağlı olmak üzere üçe ayrılır.

6.1.1 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler

Silis jeotermometreleri: Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150–225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları geliştirilmiştir.

6.1.2 İyon değişimine bağlı jeotermometreler

İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak bir çok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir (Na-K, Na-Li, Mg-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca, Na-K-Ca

jeotermometreleri gibi). Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca^{++} iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na-K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{Ca}/Na)$ değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki bir rezervuardan gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir (Şahinci 1991).

6.1.3 İyon etkinliğine bağlı jeotermometreler

Bu tür jeotermometrelerde sıcak akışkanların kimyasal analizlerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların hesaplanan iyon etkinlikleri kullanılır.

İnceleme alanı jeotermal sularına uygulanan kimyasal jeotermometrelerden bazıları Tablo 6.1'de, bağıntılardan hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Jeotermometre bağıntılarına ilişkin referanslar.

No	Jeotermometre	Bağıntı	Referans
1	SiO ₂ (Kalsedon)	$t^{\circ}C = \left(\frac{1032}{4,69 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)
2	SiO ₂ (Kalsedon) 25-180°C	$t^{\circ}C = \left(\frac{1101}{0,11 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)
3	SiO ₂ (Kuars- buhar kaybı)	$t^{\circ}C = \left(\frac{1498}{5,7 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)
4	SiO ₂ (Kuars)	$t^{\circ}C = \left(\frac{1309}{5,19 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)
5	Na-K (100-275°C)	$t^{\circ}C = \left(\frac{855,6}{0,8573 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$	Truesdell (1976)
6	Na-K (25-250°C)	$t^{\circ}C = \left(\frac{933}{0,993 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)
7	Na-K	$t^{\circ}C = \left(\frac{1178}{1,47 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$	Nieva ve Nieva (1987)
8	Na-K	$t^{\circ}C = \left(\frac{1390}{1,75 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$	Giggenbach (1988)
9	Li (mol/l)	$t^{\circ}C = \left(\frac{2258}{1,44 - \log(Li)} \right) - 273,15$	Fouillac ve Michard (1981)
10	Mg-Li	$t^{\circ}C = \left(\frac{2200}{5,47 - \log(Li/\sqrt{Mg})} \right) - 273,15$	Kharaka ve Mariner (1989)
11	K-Mg	$t^{\circ}C = \left(\frac{4410}{14 - \log(K^2/Mg)} \right) - 273,15$	Giggenbach (1988)

Silis jeotermometreleri Tosunlar termal suları için (AK-1, AK-2 ve AK-3) 115-166°C Yenice suları için (YK-5) 79-109°C, Gölemezli suları için (Göl-1, Göl-2) 91-155°C, Karahayıt suları için 72-109°C ve Pamukkale suları için 68-99°C arasında rezervuar sıcaklığı değerleri vermiştir. Li jeotermometresi ile elde edilen sonuçlar Tosunlar termal suları için 137-170°C, YK-5 için 140°C, Gölemezli suları için 118-170°C, KH-3 için 119°C ve Pamukkale kaynağı için 93°C'dir. Mg-Li jeotermometreleri yüksek, K-Mg jeotermometreleri düşük rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Na/K jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları genellikle 250°C civarındadır.

Tablo 6.2: Çeşitli jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C).

Kodu	SiO ₂				Na/K				Li	Mg-Li	K-Mg
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AK-1	118	115	138	144	223	228	231	258	170	169	125
AK-3	131	127	147	156	259	261	257	282	137	217	117
AK-6	143	138	156	166	250	253	251	276	138	221	112
Pamukkale	68	69	98	99	216	221	225	253	93	338	-
KH-3	75	75	103	104	247	250	248	274	119	285	55
Göl-1	91	90	116	119	251	254	251	277	118	278	81
Göl-2	130	126	147	155	184	192	201	230	170	204	74
YK-5	79	79	107	109	244	248	246	272	140	211	99

6.2 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları

Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır (Şekil 6.1).

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. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma

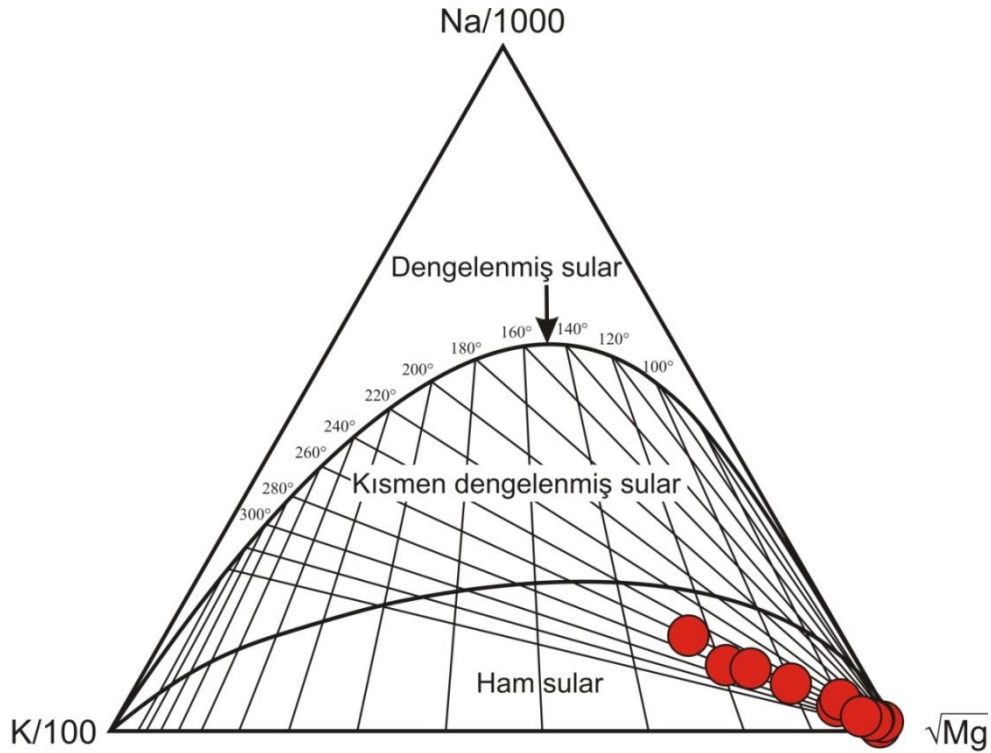
indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur.

Olgunlaşma indeksi;

$$MI= 0.315 \text{ Log } ((K^2/Mg)-\text{Log } (K/Na)) \quad (6.1)$$

6.1 bağıntısıyla tanımlanmıştır. Diyagram aynı anda hem su-kayaç ilişkisinin denge durumunu, hem de jeotermometre sonucunu gösterebilmektedir. Suların Giggenbach diyagramındaki dağılımına bakıldığında rezervuar sıcaklığı 220-260°C olarak öngörülebilir (Şekil 6.1).

Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir. İnceleme alanı termal suları Na-K-Mg diyagramında “ham sular” alanına düşmektedir. Yani bu sular rezervuar kaya ile kimyasal dengeye erişmemiştir. Bu nedenle katyon jeotermometreleri ile elde edilen rezervuar sıcaklığı değerlerini yorumlarken dikkatli olmak gerekmektedir.



Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Giggenbach (1988) diyagramında dağılımı.

6.3 Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi

Bu jeotermometre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SO₄ ve H₂O arasındaki oksijen izotop değişimini baz alır ve 100-350°C sıcaklık aralığındaki birçok su egemen jeotermal sistemde başarıyla uygulanmıştır (Mizutani ve Rafter 1969, Mizutani 1972, Cortecci 1974, Cortecci ve Dowgiallo 1975, McKenzie ve Truesdell 1977; Fouillac ve diğ. 1990). Boschetti (2013) SO₄-H₂O oksijen izotop jeotermometre uygulamasının özellikle düşük entalpili sahalarda kimyasal jeotermometre sonuçlarını onaylamak için kullanışlı olduğunu belirtmiştir.

İnceleme alanı termal sularının rezervuar sıcaklığı Lloyd (1968) tarafından önerilen aşağıdaki 6.2 bağıntısı ile hesaplanmıştır (T: Kelvin):

$$1000 \ln \alpha_{SO_4-H_2O} = 3.25 \left(\frac{10^6}{T^2} \right) - 5.6 \quad (6.2)$$

İnceleme alanında, oksijen izotop jeotermometresi uygulanan 7 termal sudan, 57 ile 93°C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 6.3).

Genel olarak değerlendirildiğinde Tosunlar sahasında 115°C'nin üzerinde ve maksimum 170°C'ye kadar rezervuar sıcaklığı beklenebilir.

Tablo 6.3: Oksijen izotop jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

Su Kodu	AK-1	AK-3	KH-3	Göl-1	Göl-2	YK-5	Pamukkale
Rezervuar sıcaklığı	92	85	67	75	57	93	63

Jeotermometre sonuçları değerlendirildiğinde Pamukkale sahası için 63-69 °C, Karahayıt sahası için 75-104 °C, Gölemezli sahası için 90- 155°C, Yenicekent sahası için 79-93 °C ve Tosunlar sahası için 115-166 °C civarında rezervuar sıcaklıkları öngörülmektedir. Bu değerler Yenicekent sahası için Alçiçek ve diğ. (2016)'da verilen 87-102 °C, Gölemezli sahası için Alçiçek ve diğ. (2018)'de verilen 130-210 °C, Karahayıt sahası için Alçiçek ve diğ. (2019)'da verilen 80-130 °C rezervuar sıcaklıkları ile benzerlik gösterir.

7. KABUK MİNERALOGİSİ VE JEOKİMYASI

Jeotermal işletme sahalarında sondaj operasyonlarının tamamlanmasının akabinde yapılan kuyu testleri ve akışkanın kimyasal analizleri ile belirlenen buharlaşma noktasından (flash point) kuyu başı vanası ve yatay üretim hattına kadar akışkanın mineral doygunluğuna göre üretim esnasında kısa süre içinde kabuklaşmalar meydana gelmektedir. Oluşan bu kabuklaşmadan alınan örneklerin elementel ve mineralojik analizlerinin yapılması kuyu işletmesinde en doğru inhibitör seçimi veya tasarımı açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle XRF (X-Işınları Floresans Spektrometresi) elementel nicel analiz, XRD (X-Işınları Difraksiyonu) da mineral çözümlemesinde kullanılan yöntemlerdir.

Tosunlar (AK-1 kuyusu), Gölemezli (Göl-1 ve Göl-2 kuyuları), Yenicekent (YK-5 kuyusu) ve Karahayıt (DG-3 kuyusu) jeotermal alanlarında gözlenen kabuklaşma ürünlerinin mineralojik ve elementel bileşimlerini ortaya koymak için jeotermal kuyulardan farklı boyutlarda (10x4 cm, 7x3 cm ve 6x4 cm) kabuk örnekleri toplanmış ve bu örnekler üzerinde AcmeLab'da (Kanada) XRF (X-Işınları Floresans Spektrometresi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) ise XRD (X-Ray Difraktometre) çalışmaları yapılmıştır.

XRD analizi için alınan örnekler kurutma işleminden sonra kırma ve öğütme işlemleriyle 250 µm tane boyutuna öğütülmüştür. Shimadzu marka XRD-6000 model (Ni filtreli, CuK α radyasyonlu) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numuneler 2°/dak.'da taranarak 2°-70° (2 θ) goniometre kırınım açısı aralığında 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir.

XRF analizlerine göre tüm örneklerde başlıca majör oksit %50 civarındaki değerlerle CaO olarak belirlenmiştir. Element analizlerinde ise Ba, Sr ve As değerlerinin yüksekliği dikkat çekicidir (Tablo 7.1).

Tablo 7.1: Kabuk örneklerinin majör oksit (%) ve element içerikleri (ppm).

No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
KH-2	1,83	0,31	2,56	0,83	52,33	0,09	0,06	0,03	0,16	0,02	0,006
DG-3	0,11	0,03	0,94	0,61	55,37	0,05	<0,01	<0,01	0,04	0,04	0,002
Göl-1	0,03	<0,01	0,62	0,43	55,17	0,08	<0,01	<0,01	0,04	0,04	<0,002
Göl-2	2,63	0,21	11,77	0,81	47,05	0,14	0,05	0,02	0,05	0,17	0,007
AK-1	0,22	0,02	5,41	0,69	50,65	0,11	<0,01	<0,01	0,08	0,07	0,003
YK-5	0,40	0,10	2,85	0,75	53,09	0,11	0,02	0,02	0,05	0,07	<0,002

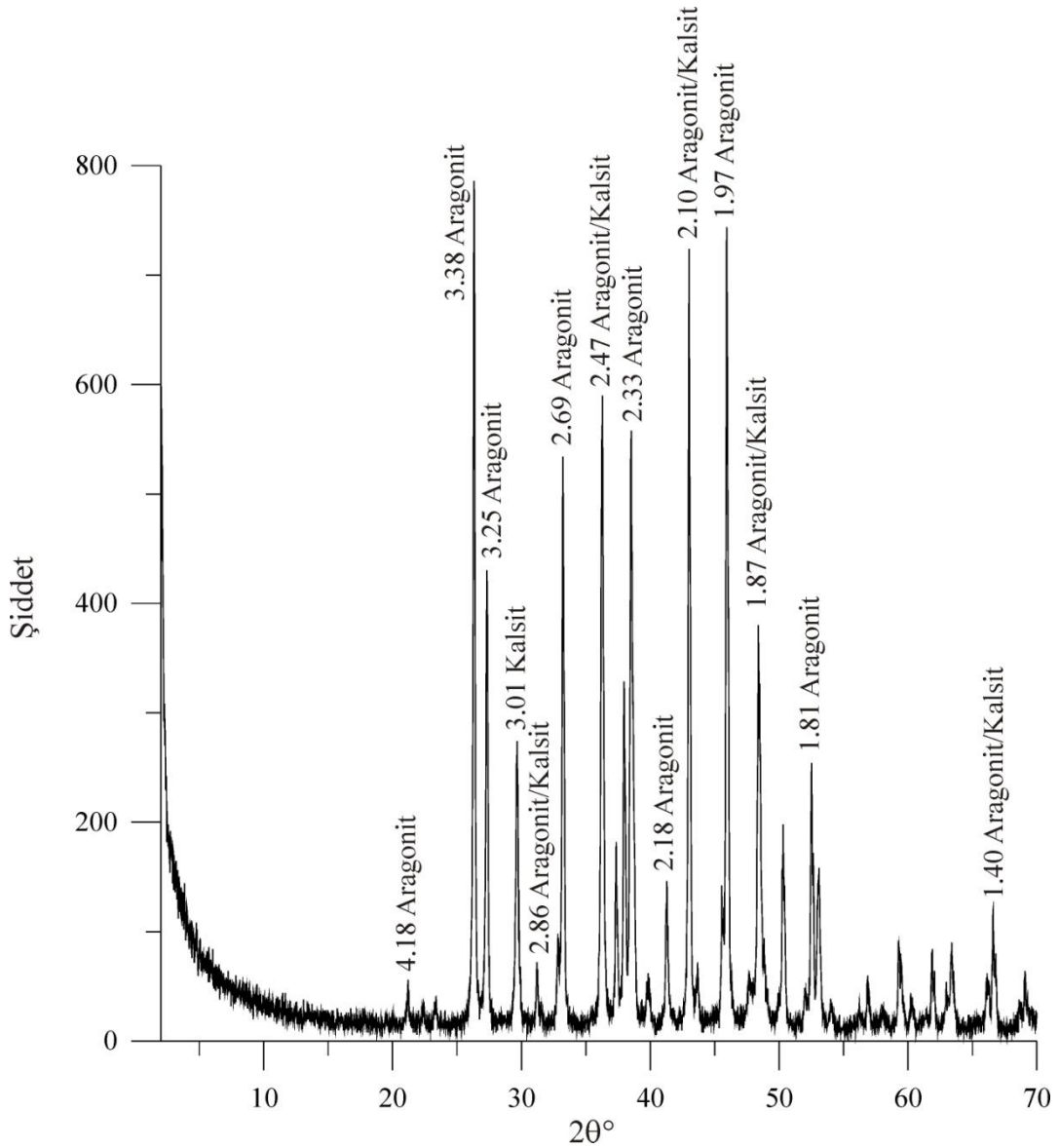
	Ba	Ni	Sc	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr
KH-2	102	<20	<1	3	0,9	2,1	<0,5	0,2	1,4	3,4	<1	3668,2
DG-3	79	<20	<1	3	0,4	0,1	<0,5	<0,1	0,2	0,6	<1	3328,8
Göl-1	82	<20	1	7	<0,2	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	4074,0
Göl-2	459	<20	<1	<1	2,8	1,6	<0,5	0,3	0,6	2,9	<1	4761,1
AK-1	186	<20	1	28	0,5	<0,1	<0,5	<0,1	0,1	0,2	<1	9163,0
YK-5	123	<20	2	20	2,3	<0,1	<0,5	0,1	0,2	0,6	<1	3676,3

	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm
KH-2	<0,1	0,4	0,1	<8	<0,5	8,6	1,8	2,0	2,8	0,42	1,2	0,17
DG-3	<0,1	<0,2	0,6	<8	<0,5	4,4	7,5	1,5	2,0	0,29	1,3	0,36
Göl-1	<0,1	<0,2	0,2	<8	<0,5	0,5	12,4	2,4	2,7	0,45	2,1	0,49
Göl-2	<0,1	0,3	<0,1	<8	<0,5	10,9	4,7	1,9	2,6	0,35	1,3	0,29
AK-1	<0,1	<0,2	0,2	9	<0,5	3,6	6,5	3,0	5,6	0,67	3,0	0,68
YK-5	<0,1	<0,2	1,0	<8	<0,5	6,1	17,3	1,8	3,7	0,60	3,2	1,05

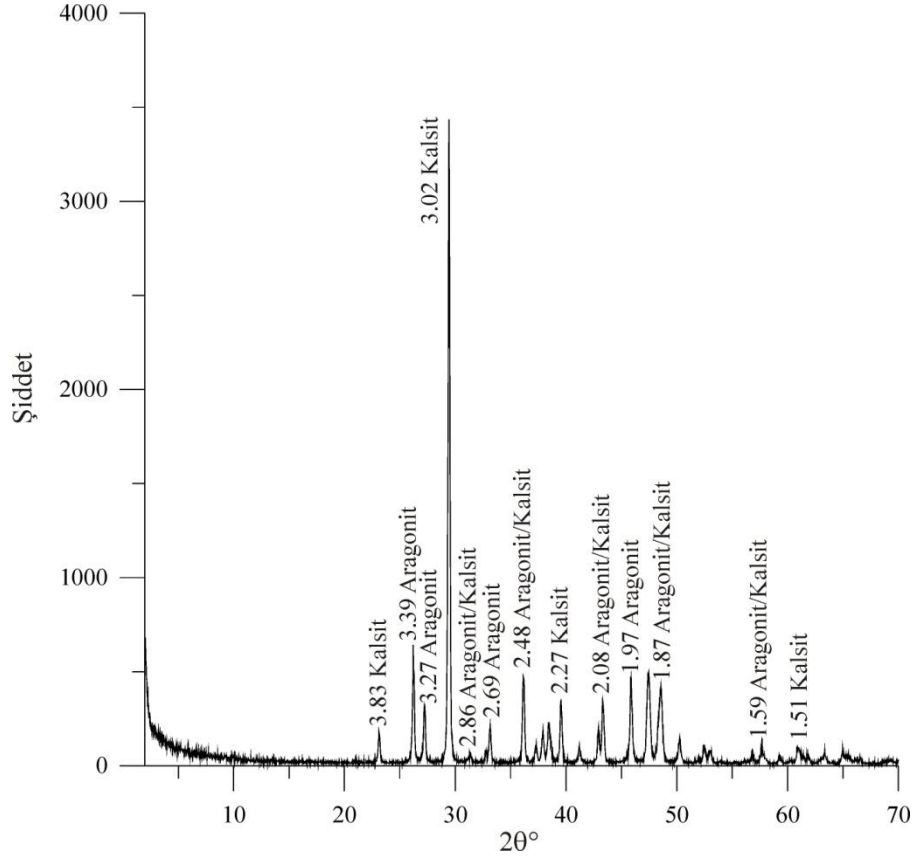
	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb
KH-2	0,07	0,30	0,05	0,19	0,05	0,16	0,03	0,13	0,02	0,2	5,1	7,9
DG-3	0,11	0,67	0,13	0,74	0,18	0,54	0,09	0,46	0,08	<0,1	1,5	4,7
Göl-1	0,18	0,96	0,17	1,27	0,33	1,00	0,14	0,90	0,14	<0,1	0,5	0,9
Göl-2	0,10	0,48	0,09	0,44	0,10	0,31	0,05	0,41	0,06	1,4	11,4	6,1
AK-1	0,18	0,87	0,15	1,04	0,16	0,49	0,06	0,43	0,06	0,1	1,2	2,3
YK-5	0,32	1,82	0,31	2,13	0,45	1,36	0,18	1,08	0,14	0,1	2,0	5,9

	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
KH-2	36	19,4	8,9	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	0,7	<0,01	<0,1	<0,05
DG-3	49	3,1	1,3	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,05
Göl-1	14	0,9	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	<0,01	<0,1	<0,05
Göl-2	29	15,0	8,7	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	1,3	<0,01	<0,1	<0,05
AK-1	24	1,6	2,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,05
YK-5	101	4,5	118,4	0,2	0,5	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,05

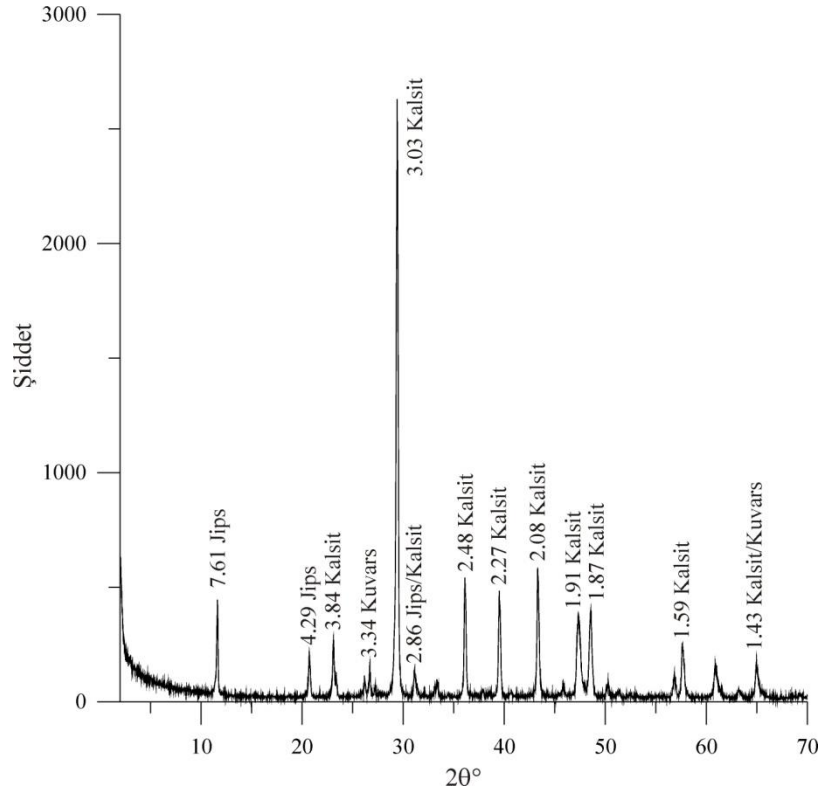
XRD analizlerinde AK-1, Göl-1 ve DG-3 kuyuları kabuk örneklerinde kalsit ve aragonit, Göl-1 (604 m derinliğinde) kuyusuna göre daha sığ derinlikte (141 m) açılan ve evaporit (jips, anhidrit vb) içeren birimlerden (kumtaşı, silttaşı ve konglomera) beslenmesi nedeni ile Göl-2 kuyusu kabuk örneğinde kuvars ve kalsit yanı sıra jips de tespit edilmiştir. YK-5 ve KH-3 kuyularında ise kabuk türleri olarak sadece kalsit ve dolomit saptanmıştır (Şekil 7.1 ve 7.6). Bu kabuk mineralleri ile termodinamik hesaplamalarla elde edilen kabuklaşma eğilimindeki mineral türleri arasında birbiriyle uyumludur.



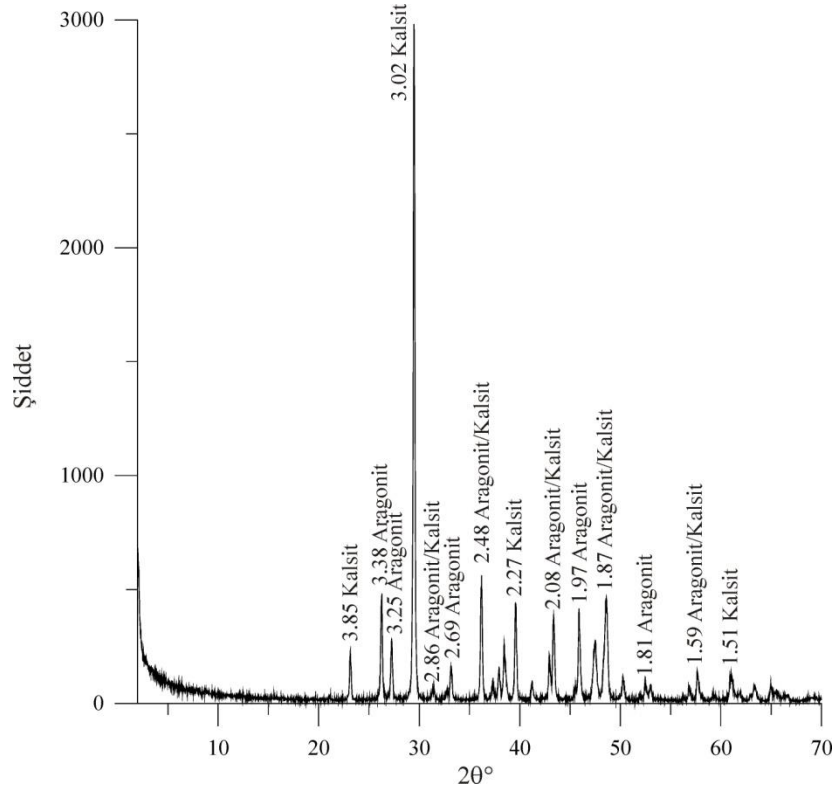
Şekil 7.1: AK-1 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.



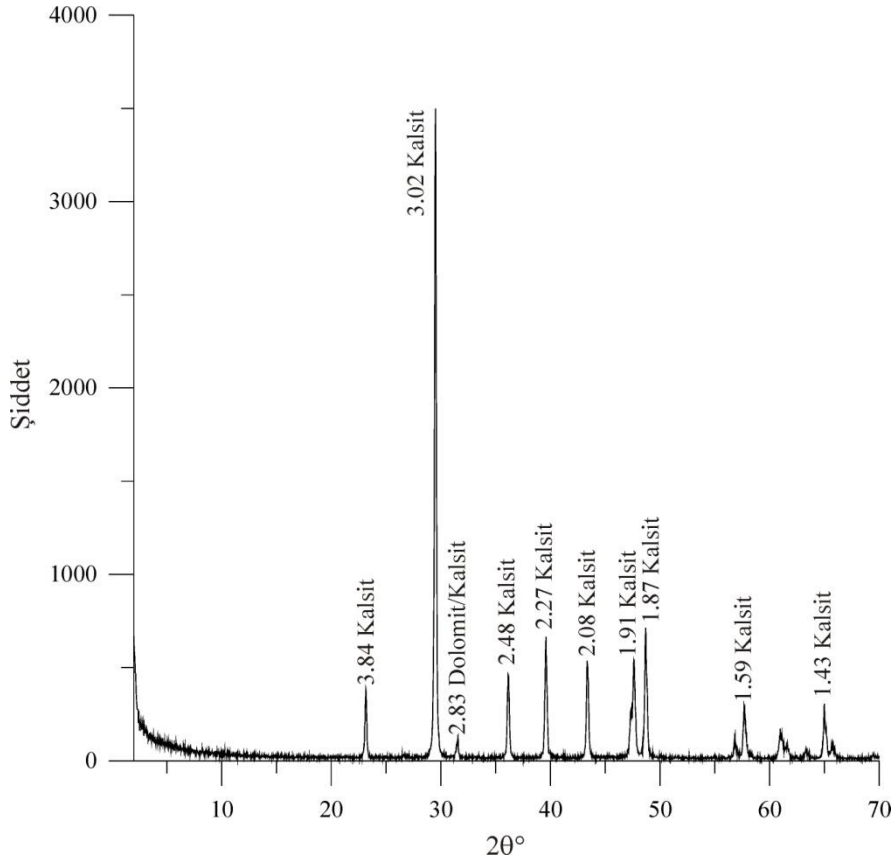
Şekil 7.2: Göl-1 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.



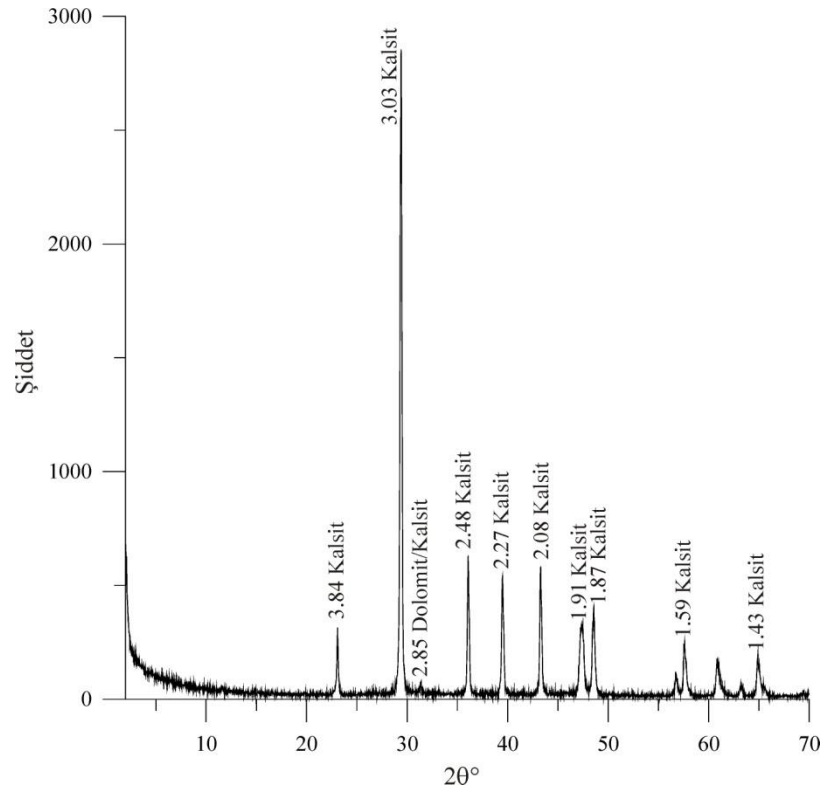
Şekil 7.3: Göl-2 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.



Şekil 7.4: DG-3 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.



Şekil 7.5: YK-5 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.



Şekil 7.6: KH-2 kuyusu kabuk örneğinin XRD grafiği.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanı jeotermal sahaları Büyük Menderes ve Gediz grabenleri ile bu grabenlerin kesiştiği bölgede bulunur. Bu jeotermal sahalarda rezervuar kayalar Paleozoyik yaşlı Menderes masifinin mermer, şist ve kuvarsitleridir. Neojen yaşlı formasyonların geçirimsiz litolojileri örtü kayayı oluşturur.

Özellikle Buldan horstunda, geçirimli birimler üzerine düşerek yeraltına süzülen ve burada genç tektonik aktiviteye bağlı gelişen jeotermal gradyanla ısınan sular, mermer, kuvarsit ve kalkışitler, yüzeye yakın kesimlerde ise Sazak formasyonunun kireçtaşları içinde depolanmaktadır. Basınç altındaki sıcak sular, faylar ve çatlaklar boyunca yüzeye çıkarak sıcak ve mineralli su kaynaklarını oluştururlar. Bu süreçte hazne kaya ile kimyasal reaksiyona giren meteorik suların iyon derişimleri artar ve CO₂, H₂S gibi bazı gazlarca zenginleşirler. Sular yüzeye yükselirken bir miktar soğuk yeraltısuları ile karışır.

İnceleme alanında örneklenen termal suların sıcaklıkları 33,9 ile 98,0°C, elektriksel iletkenlikleri 2390 ile 4820 µS/cm ve pH değerleri 6,19-7,77 arasında değişmektedir. Termal sular genellikle Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipindedir.

Termal suların δ¹⁸O değerleri ‰-8,01 ile -9,28 ve δ²H değerleri ‰-55,17 ile -60,82 arasında olup meteorik kökenlidirler. Düşük trityum değerleri termal suların yeraltındaki sirkülasyon sürelerinin 50 yıldan fazla olduğuna işaret etmektedir.

Termal suların δ³⁴S ve δ¹³C (DIC) değerleri, sulardaki kükürdün kaynağının olasılıkla kireçtaşları içindeki CaSO₄, karbonun kaynağının ise metamorfik CO₂ olduğunu göstermektedir.

Örnekleme sıcaklığı ve pH'ında, termal suların kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerince doygunudur. XRD sonuçlarına göre, sondaj borularından alınan kabuk örneklerinde belirlenen mineraller ise kalsit, aragonit, dolomit, kuvars ve jipstir.

İnceleme alanı sıcak sularına uygulanan SiO₂, Na-K, Mg-Li, Li, K-Mg ve ¹⁸O(SO₄-H₂O) jeotermometre sonuçları değerlendirildiğinde Pamukkale sahası için 63-69 °C, Karahayıt sahası için 75-104 °C, Gölemezli sahası için 90- 155°C, Yenicekent sahası için 79-93 °C ve Tosunlar sahası için 115-166 °C civarında rezervuar sıcaklıkları öngörülmektedir.

Özellikle jeotermal işletme ruhsatlarında jeotermal elektrik santrali işletmesi yapan firmalar, sürdürülebilir bir rezervuar döngüsü için sahanın işletmeye alındığı ilk yıldan itibaren her yıl planlanan santral bakım ve temizlik zamanlarında kuyu testlerinden özellikle dinamik sıcaklık ve basınç testlerini tekrarlamalıdır. İşletme sırasında, isale hatlarında kabuklaşma takibi yapmak amacı ile yerleştirilmiş kuponlarda oluşan veya oluşabilecek tortuların periyodik olarak XRD analizlerinin yapılması kuyu bazlı en doğru inhibitör tasarımı için fayda sağlayacaktır. Enjeksiyon kuyuları kullanılarak izleyici testleri yapılmalı ve sonuçları üretim kuyularından alınan akışkan örneklerinin hidrokimyasal ve trityum analiz tekrarları ile karşılaştırılarak rezervuar döngü süresi ile ilgili yaklaşım sağlanmalıdır. Bu yaklaşım, mevcut litolojik kuyu kesitlerinin referansı ve jeofizik yöntemlerden manyetotellürik ve/veya sismik ile hazırlanabilecek üç boyutlu katı bir jeolojik modelleme çerçevesinde yorumlandığında, gelecekte planlanacak üretim ve enjeksiyon kuyu lokasyonlarının doğru kurgulanmasında büyük fayda sağlayacaktır.

9. KAYNAKLAR

Alçıçek, H., Bülbül, A. and Alçıçek, M. C., “Hydrogeochemistry of the thermal waters from the Yenice Geothermal Field (Denizli Basin, Southwestern Anatolia, Turkey)”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 309, 118-138, (2016).

Alçıçek, H., Bülbül, A., Brogi, A., Liotta, D., Ruggieri, G., Capezzuoli, E., Meccheri, M., Yavuzer, İ. and Alçıçek, M. C., “Origin, evolution and geothermometry of the thermal waters in the Gölemezli Geothermal Field, Denizli Basin (SW Anatolia, Turkey)”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 349, 1-30, (2018).

Alçıçek, H., Bülbül, A., Yavuzer, İ. and Alçıçek, M. C., “Hydrogeochemical and isotopic assessment and geothermometry applications in relation to the Karahayit Geothermal Field (Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey)”, *Hydrogeology Journal*, (2019).

Alptekin, Ö., “Focal mechanisms of earthquakes in western Turkey and their implications”, PhD. Thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New Mexico, (1973).

Altunel, E. ve Hancock, P., “Pamukkale travertenleri kaç yaşında?”, *Bilim Teknik Dergisi*, Cilt:26, 308, 496-497, (1993).

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., “The chemistry of geothermal waters in Iceland, III. Chemical geothermometry in geothermal investigations”, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 3, 567–577, (1983).

Bülbül, A., “Kamara ve Çizmeli (Yenice-Buldan) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeolojisi”, PAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98 sy., (2000).

Boschetti, T., “ Oxygen isotope equilibrium in sulfate–water systems: A revision of geothermometric applications in low-enthalpy systems”, *Journal of Geochemical Exploration*, 124, 92-100, (2013).

Calmbach, L., Hydrowin-95 Computer Programme, Version 3.0 Institut de Minéralogie BFSH2 1015 Lausanne, (1995).

Clark, I. D. ve Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*: Lewis Publishers, 119-124, (1997).

Cortecchi, G., ‘‘ Oxygen isotopic ratios of sulfate ions-water pairs as a possible geothermometer’’ *Geothermics*, 3, 2, 60-64, (1974).

Cortecchi, G. and Dowgiallo J., ‘‘ Oxygen and sulfur isotopic composition of the sulfate ions from mineral and thermal groundwaters of Poland’’ *Journal of Hydrogeology*, 24, 3-4, 275-282, (1975).

Craig, H., ‘‘Isotopic variations in meteoric waters’’, *Science*, 133, 1702-B, (1961).

Çifter, C. ve Sayın, M., ‘‘İzotopların hidrojeolojide kullanılması’’, *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin kullanılması Semp.*, 22-25 Ekim, Adana, Bildiriler Kitabı, 1-15, (2002).

Dewey, J. F. ve Şengör, A. M. C., ‘‘Aegean and surrounding regions. Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone’’, *GSA Bulletin*, 90, 84-92, (1979).

Dilsiz, C., Marques, J.M. and Carreira, P.M.M., ‘‘The impact of hydrological changes on travertine deposits related to thermal springs in the Pamukkale area (SW Turkey)’’, *Environmental Geology*, 45, 808-817, (2004).

Dilsiz, C., ‘‘ Conceptual hydrodynamic model of the Pamukkale hydrothermal field, southwestern Turkey, based on hydrochemical and isotopic data’’, *Hydrogeology Journal*, 14, 562-572, (2006).

Ekingen, A., ‘‘Denizli-Dereköy gravite etüdü’’, MTA Genel Md., Rapor No. 4190, (1970).

Ercan, T., Günay, E. ve Baş, H., ‘‘Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu’’, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 153-160, (1983).

Erentöz, L., ‘‘Türkiye stratigrafisinde yeni bilgiler’’, M.T.A. Mec., 48, (1956).

Erkan, B., ‘‘Jeotermal santraller için kısa ve uzun süreli kuyu testleri’’, *Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri*, 33-57, (2007).

Eşder, T. ve Yılmaz, S., ‘‘Pamukkale jeotermal kaynakları ve travertenlerin oluşumu’’, *II. Ulusal Balneoloji ve Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Derg.*, *Kongre Özel Sayısı*, 33-51, (1991).

Eyidoğan, H. and Jackson, J. A., ‘‘A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey:’’

implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust”, *Geophy. J. R. Astr. Soc.*, 81, 569-607, (1985).

Filiz, Ş., “Investigation of the important geothermal areas by using C, H, O isotopes”, Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, UN Economic Commission for Europe, EP/SEM.9/R.3, Florence, Italy, 13pp., (1984).

Filiz, Ş., Gökgöz, A. and Tarcan, G., “Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes grabens”, XI. Congress of World Hydrothermal Organization, İstanbul, (1992).

Fouillac, C. and Michard, G., “Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs”, *Geothermics*, 10, 55–70, (1981).

Fouillac, C., Fouillac, A.M. and Criaud, A., “Sulphur and oxygen isotopes of dissolved sulphur species in formation waters from the Dogger geothermal aquifer, Paris Basin, France”, *Appl Geochem*, 5, 415–427, (1990).

Fournier, R.O., “Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems”, In: Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 199-210, (1977).

Gatt, J. R. and Carni, I., “Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea”, *J. Geophys. Res.*, 75, 3032-3048, (1970).

Gevrek, A.İ., “Aydın-Denizli jeotermal alanlarında civa, arsenik ve kurşun elementlerinin jeotermal kaynak araştırmalarına uygulanması”, MTA Genel Md. Rapor No.7948, (1985).

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

Gökalp, E., “Denizli vilayeti, Yenice-Gölemezli-Karahayıt kaplıcaları çevresi jeolojik etüdüleri ve jeotermik enerji imkanları”, MTA Genel Md. Rapor No.4571, (1971).

Gökgöz, A., “Geochemistry of the Kızıldere–Tekkehamam–Buldan–Pamukkale geothermal fields, Turkey”, (ed: L.S. Georgsson), Geothermal Training in Iceland 1998, United Nations University Geothermal Training Programme, Reykjavik, Iceland, 115–156, (1998).

Gökgöz, F., “Buldan Yöresi (Denizli) Metamorfik Kayaçlarının Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 96 sy., (2004).

Güleç, N., “He-3 distribution in western Turkey”, Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey, 108, 35–42, (1988).

Güleç, N., Hilton, D.R., Mutlu, H., “Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities”, *Chemical Geology*, 187, 129-142, (2002).

Güvendi, M., “Sarayköy-Tosunlar (Denizli) 23 numaralı işletme ruhsatına ilişkin revize kaynak koruma alanı etüt raporu”, *Akça Enerji Arşivi*, 40-50, (2014).

International Association of Hydrogeologists, *Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000*. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom, (1979).

Jackson, J.A. and McKenzie, D., “Rates of active deformation in the Aegean Sea and surrounding areas”, *Basin Res.*, 1, 121-128, (1988).

Kastelli, M., “Denizli Vilayeti güneyinin jeolojik incelemesi ve jeotermal alan olanakları”, M.T.A. Rapor No.5199, (1971).

Kharaka, Y. K. and Mariner, R. H., “Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins”, (eds: N. D. Näser and T. H. McCulloh), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, Springer Verlag, 99-117, (1989).

Kumsar, H., Çelik, S. B. and Aydan, Ö., “Some Characteristics of recent earthquakes in western Turkey: Seferihisar (Izmir) and Buldan (Denizli) Earthquakes in 2003”, An International Colloquium on the Instrumentation and Monitoring of Landslides and Earthquakes in Japan and Turkey, November, 8, 2003. Japan,109-120, (2003).

McKenzie, D.P., “Active tectonics of the Alpin Himalayan Belt: The Aegean sea and surrounding regions”, *Geophys. Jour. Roy. Astr. Sock.*, 5, 212-254, (1972).

McKenzie, W.F. and Truesdell A.H., “ Geothermal reservoir temperatures estimated from the oxygen isotope compositions of dissolved sulfate and water from hot springs and shallow drillholes”, *Geothermics*, 5, 1-4, 51-61, (1977).

Mizutani, Y., "Isotopic composition and underground temperature of the Otake geothermal water, Kyushu, Japan", *Geochemical Journal*, 6, 67-73, (1972).

Mizutani, Y. and Rafter, T.A., "Oxygen isotopic composition of sulphates. Part 4. bacterial fractionation of oxygen isotopes in the reduction of sulphate and in the oxidation of sulfur", *Institute of Nuclear Science (N. Z. J. Sci.)*, 4764537, 150-151, (1969).

Möller, P., Dulski, P., Savascin, Y. and Conrad, M., "Rare earth elements, yttrium and Pb isotope ratios in thermal spring and well waters of West Anatolia, Turkey: a hydrochemical study of their origin", *Chemical Geology*, 206, 97– 118, (2004).

Mutlu, H., Güleç, N. and Hilton, D.R., "Helium-carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey", *Chemical Geology*, 247, 305-321, (2008).

Nebert, K., "Denizli Pliyosen teressübatı ve bunların Batı Anadolu tatlı su Neojen stratigrafisi için ehemmiyeti", *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 48, 83-96, (1958).

Nieva, D. and Nieva, R., "Developments in geothermal energy in Mexico, part 12: A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources", *Heat Recovery Systems and CHP* 7, 3, 243-258, (1987).

Özgüler, M. E., Turgay, M. I. ve Şahin, H., "Denizli jeotermal alanlarında jeofizik çalışmaları", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 99/100, 129-141, (1983).

Özler, H. M., "Hydrogeology and geochemistry in the Curuksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey", *Environmental Geology*, 39 (10), 1170-1180, (2000).

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., "User's guide to PHREEQC (Version 2)—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations", U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99–4259, 312 pp., (1999).

Şamilgil, E., "Jeotermal enerji aramasının Menderes grabeninde bir uygulaması", Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler Kitabı, 257-278, (1973).

Şaroğlu, F. and Yılmaz, Y., “Geological evolution and basin models during neotectonics episode in the Eastern Anatolia”, *Bull. Min. Res. Ezp.*, 107,74-94, (1987).

Şengör, A.M.C., “Ege’nin Neotektonik evrimini yöneten etkenler”, TJK Batı Anadolu’nun genç tektoniği ve volkanizması paneli, Özel Sayı, 59-41, (1982).

Şengör A.M.C. and Yılmaz, Y., “Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach”, *Tectonophysics*, 75, 181-241, (1981).

Şengör, A. M. C., Satır, M., and Akkök, R., “Timing of tectonic events in the Menderes massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey”, *Tectonics*, 3, 693-707, (1984).

Şimşek, Ş., “Denizli, Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, (1982).

Şimşek, Ş., “Denizli-Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları”, *İ.Ü. Yer Bil. Fak. Yayın Organı*, 3, 145-162, (1984).

Şimşek, Ş., “Geothermal model of Denizli, Saraykoy-Buldan area”, *Geothermics*, 14,,393–417, (1985).

Şimşek, Ş., Günay, G., Elhatip, H. and Ekmekçi, M., “Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey”, *Geothermics*, 29, 557- 572, (2000).

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

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü”, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 82, 89-127, (1974a).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü”, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 83, 145-178, (1974b).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme”, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 54-59, (2001).

Tezcan, A.K., “Denizli-Sarayköy jeotermik enerji araştırmaları, gravite ve rezistivite etüdüleri”, MTA Rapor No:3896, (1967).

Thronthwaite, C.W., “An Approach Toward A Rational Classification Of Climate”, *Geographical Review*, 38, 55-94, (1948).

Truesdell, A. H., “Summary of section III geochemical techniques in exploration”, In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D.C., U. S. Government Printing Office, iii-ix, (1976).

Uysal, I.T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel, E., Weatherley, D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding, S.D., Lawrence, M.G. and Collerson, K.D., “ U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures”, *Earth and Planetary Science Letters*, 257, 450–462, (2007).

Ürgün, S., “Denizli-Kızıldere jeotermal alanındaki çalışmaların komplasyonu”, MTA Raporu, (1976).

Yılmaz, Y., “Ege bölgesinin aktif tektoniği”, Batı Anadolu’nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000). Bildiriler, 3-14, (2000).

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ERDEM SUBAY

Doğum Yeri ve Tarihi : 12.07.1987

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Elektronik posta : subayerdem@gmail.com

İletişim Adresi : Zümrüt Mah. Vatan Bulv. No:197/5
Pamukkale/DENİZLİ