

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERMENCİK-İNCİRLİOVA (AYDIN)
ÇEVRESİNDEKİ JEOTERMAL ALANLARIN
HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL
İNCELENMESİ

Hilal Pakay PARKIN

Ekim, 2012
İZMİR

**GERMENCİK-İNCİRLİOVA (AYDIN)
JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLJİK
VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

Hilal Pakay PARKIN

Ekim, 2012

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

HİLAL PAKAY PARKIN, tarafından PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN yönetiminde hazırlanan “GERMENCİK-İNCİRLİOVA (AYDIN) JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici



Prof. Dr. İhsan Gemici

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mahmut G. Draker

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tezin tasarlanıp hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve desteklerini benden esirgemeyen çok değerli hocalarım Prof. Dr. Gültekin TARCAN' a ve Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ' ye en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen ve benden esirgemeyen hocam Dr. Tuğbanur Özen' e tezimin hazırlanmasına katkılarından dolayı hocam Dr. Cem KINCAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm yaşantım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen ve beni her konuda destekleyen aileme ve sınıf arkadaşım Hilal AKIN' a teşekkür ederim.

Hilal Pakay PARKIN

GERMENCİK-İNCİRLİOVA (AYDIN) JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışma Türkiye' nin en önemli jeotermal alanlarından birini oluşturan Germencik- İncirliova jeotermal alanlarında yapılan hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik incelemeleri kapsamaktadır.

Aydın- Germencik-İncirliova jeotermal alanı Menderes Grabeninin batısında yer almakta olup doğu batı yönlü bir hat boyunca devam etmektedir. Bölgedeki gerilme tektoniğinin etkisiyle kuzey-güney yönlü açılma ve Menderes Masifi bloğunun sürekli yükselmesi sonucunda doğu-batı yönlü grabenleşme oluşmuş ve basamak fay sistemi gelişmiştir.

Menderes Masifine ait olan gnays, kuvarşşist gibi çatlaklı kayalar ile karstik mermerler ve bazı alanlarda Neojen yaşlı çakıltaşları jeotermal sistemlerin haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kıltaşı ve çamurtaşı gibi geçirimsiz kayalar da örtü kaya özelliğindedir.

Yapılan hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde alandaki jeotermal suların yüksek entalpili, çok az magmatik katkı içerebilen meteorik kökenli, yaşlı (hemen hemen hiç tiryum içermediklerinden en az 50 yıllık) sular olduğunu göstermiştir. İnceleme alanındaki jeotermal suların hidrojeokimyasal evrimlerini ve yeraltı suyu hidrodinamiğini aydınlatmak amacıyla 12 adet su kaynağından bir yıl süreyle periyodik olarak örneklenerek kimyasal analizleri yapılmıştır. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örnekleri üzerinde jeokimyasal deneyler yapılmış olup, suların içerdikleri anyonlar, katyonlar ve eser elementler tespit edilmiştir. Hidrokimyasal fasiyes tipine göre, sıcak suların, Na-K- Cl- HCO₃ ve Na- K- HCO₃'lü ve soğuk sular, Na-Ca-Cl- HCO₃, Mg- Na- Ca- HCO₃- Cl, Na- HCO₃-Cl' lü sular tipindedir. Yöredeki sıcak sular kaynak ve kuyulardan elde edilmekte olup yüzey sıcaklıkları 16- 239 santigrat derece arasında değişmektedir. Soğuk suların sıcaklığı ise ortalama 23 santigrat

derece'dir. Çesitli jeotermometre teknikleri ve bunların uygulanabilirlikleri incelenerek, sistemin hazne kaya sıcaklığı silis jeotermometresine göre 50-270 santigrat derece, Na/K jeotermometresine göre 150- 270 santigrat derece olarak tahmin edilmiştir.

Çalışma alanındaki sıcak sular yüksek bor konsantrasyonları içermektedirler. Sıcak sulardaki yüksek bor değerleri Büyük Menderes Havzasında bor kirliliği tehlikesine neden olabilir. Bu sebeple havzada ki sıcak sular enerji üretimi, ısıtma, sera, kaplıca ve diğer kullanım amaçları için çıkarılarak kullanıldıktan sonra hazneye geri basılmaları (reenjeksiyon) gerekmektedir.

Anahtar sözcükler: Germencik, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya

HYDROGEOCHEMICAL AND HYDROGEOLOGIC INVESTIGATION OF THE GERMENCİK- İNCİRLİOVA(AYDIN) GEOTHERMAL FIELDS

ABSTRACT

This study contains hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic investigations in the Germencik- İncirliova geothermal fields which are one of the most important geothermal fields of Turkey.

Aydın-Germencik-Incirliova geothermal region continues along east-west direction line and locates in the west side of Menderes rocks. There is an expansion in north-south direction because of the tectonic stress, and there is a graben in east-west direction at the result of the continues rise in Menderes Massif rocks, it also developed a step fault system.

First reservoirs of the geothermal system is made up of the fractured gneiss with quartz schists, karstic marbles and in some areas Neogene conglomerates of the Menderes Massif rocks. Neogene aged claystone and mudstone, also have cap rock characteristic. Hydrogeologic, hydrochemical and isotopic studies shows that geothermal waters in region have high enthalpy, may also be meteoric origin with a little magmatic ingredient, and old water (which hardly have any tritium isotopes so they are at least 50 years old). Meteoric waters recharge the reservoir rock and are heated at depth and move up to the surface through the tectonic lines by convection currents. Twelve water points were sampled periodically during the one year to determine the hydrogeochemical evaluation of geothermal waters and hydrodynamics of groundwaters for the study area. The geochemical experiments have been done with the hot-cold water which collected from study area, anion, cation and trace elements of the water have been identified. According to doing hydrogeochemical estimates, hot waters are the origin of Na-K-Cl-HCO₃ and Na-K-HCO₃, most of cold groundwaters are Na-Ca-Cl-HCO₃, Mg-Na-Ca-HCO₃-Cl, Na-HCO₃-Cl. Hot-waters in the region acquired by well and draw well, their surface temperature are between 16-239 centigrade degree. Average temperature of cold-

waters are 23 centigrade degree. Different geothermal techniques and their applicabilities have been examined, reservoir rock temperature of the system has been estimated 50-270 centigrade degree according to silica geothermometer and 150-270 centigrade degree according to NA/K geothermometer. The thermal waters in the study area show high borate concentration. The thermal waters should cause borate pollution in the Büyük Menderes basin. For this reason thermal water in the area must be re-injected after the uses of the energy producing heating, greenhouses.

Keywords: Germencik, geothermal, hydrogeology, hydrogeochemistry

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	i
TESEKKÜR	ii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ

1

1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri	1
1.3 Çalışma Uygulanan Yöntemler	1
1.3.1 Örneklem	3
1.4 Morfoloji	3
1.5 İklim ve Bitki Örtüsü	4

BÖLÜM İKİ – JEOLJİ.....

5

2.1 Jeolojik Tarihçe.....	5
2.2 Bölgesel Jeoloji.....	5
2.3 Stratiğrafi.....	9
2.3.1 Menderes Masifi Metamorfitleri.....	10
2.3.2 Tersiyer Tortulları.....	10
2.3.2.1 Miyosen.....	10
2.3.2.2 Pliyosen.....	10
2.3.3 Kuvaterner.....	11
2.3.3.1.Pleyistosen	11
2.3.3.2.Holosen	11
2.4 Yapısal Jeoloji	12

BÖLÜM ÜÇ– JEOTERMAL.....	14
3.1 Jeotermal Enerji	14
3.2 Jeotermal Sistem	19
BÖLÜM DÖRT– HİDROJEOLOJİ.....	23
4.1 İnceleme Alanındaki Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	23
4.2 Meteorolojik Su Bütçesi.....	23
4.3 Jeotermal Alanın Yeri ve Oluşum Özellikleri.....	27
BÖLÜM BEŞ– HİDROJEOKİMYA.....	30
5.1 Temel Hidrojeokimyasal Hesaplamalar.....	30
5.2 İnceleme Alanındaki Sulardaki Çözülmüş Başlıca İyonlar.....	32
5.2.1 Kalsiyum (Ca^{++}).....	32
5.2.2 Magnezyum (Mg^{++}).....	33
5.2.3 Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}).....	33
5.2.4 Klorür(Cl^{-}).....	34
5.2.5 Bikarbonat (HCO_3^{-}).....	35
5.2.6 Sülfat (SO_4^{-})	35
5.2.7 Silisyum (Si)	35
5.3 İnceleme Alanındaki Sulardaki Çözülmüş İkincil İyonlar	35
5.3.1 Demir (Fe)	41
5.3.2 Bor (B)	41
5.3.3 Alüminyum (Al)	42
5.3.4 Lityum (Li).....	42
5.3.5 Mangan (Mn^{+2})	42
5.3.6 Brom (Br^{-})	43
5.3.7 Bakır (Cu)	43
5.3.8 Çinko (Zn).....	44
5.3.9 Kadmiyum (Cd)	44

5.3.10 Kurşun (Pb).....	44
5.3.11 Antimon (Sb).....	45
5.4 Suların Fiziksel Özellikleri.....	45
5.4.1 Suların Sıcaklık (°C) Değerleri.....	45
5.4.2 Suların Sertliği.....	46
5.4.3 Suların pH Değerleri.....	47
5.4.4 Suların Elektriksel İletkenlik (EC) Değerleri.....	47
5.4.5 Eh (Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli) (mV).....	50
5.4.6 Radyoaktivite (Becquerel, Bq).....	50
5.4.7 Tuzluluk.....	50
5.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri....	51
5.5.1 Sulama Sularının Wilcox'a Göre Sınıflaması.....	53
5.6 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması.....	54
5.7 Suların Kalsit, Dolomit ve Jips Doyma İndeksleri ve CO ₂ Kısmı Basıncı.....	59
5.8 Jeotermometre Uygulamaları.....	68
5.8.1 Silis Jeotermometreleri.....	71
5.8.2 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler.....	73
5.8.2.1 Na/K Jeotermometreleri.....	73
5.8.2.2 Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li jeotermometreleri.....	76
5.8.3 Karışım Modeli.....	76
5.8.3.1 Entalpi-Klorür Karışım Modeli.....	77
5.8.3.2 Entalpi Silis Karışım Modeli.....	78
BÖLÜM ALTI–SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	90

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

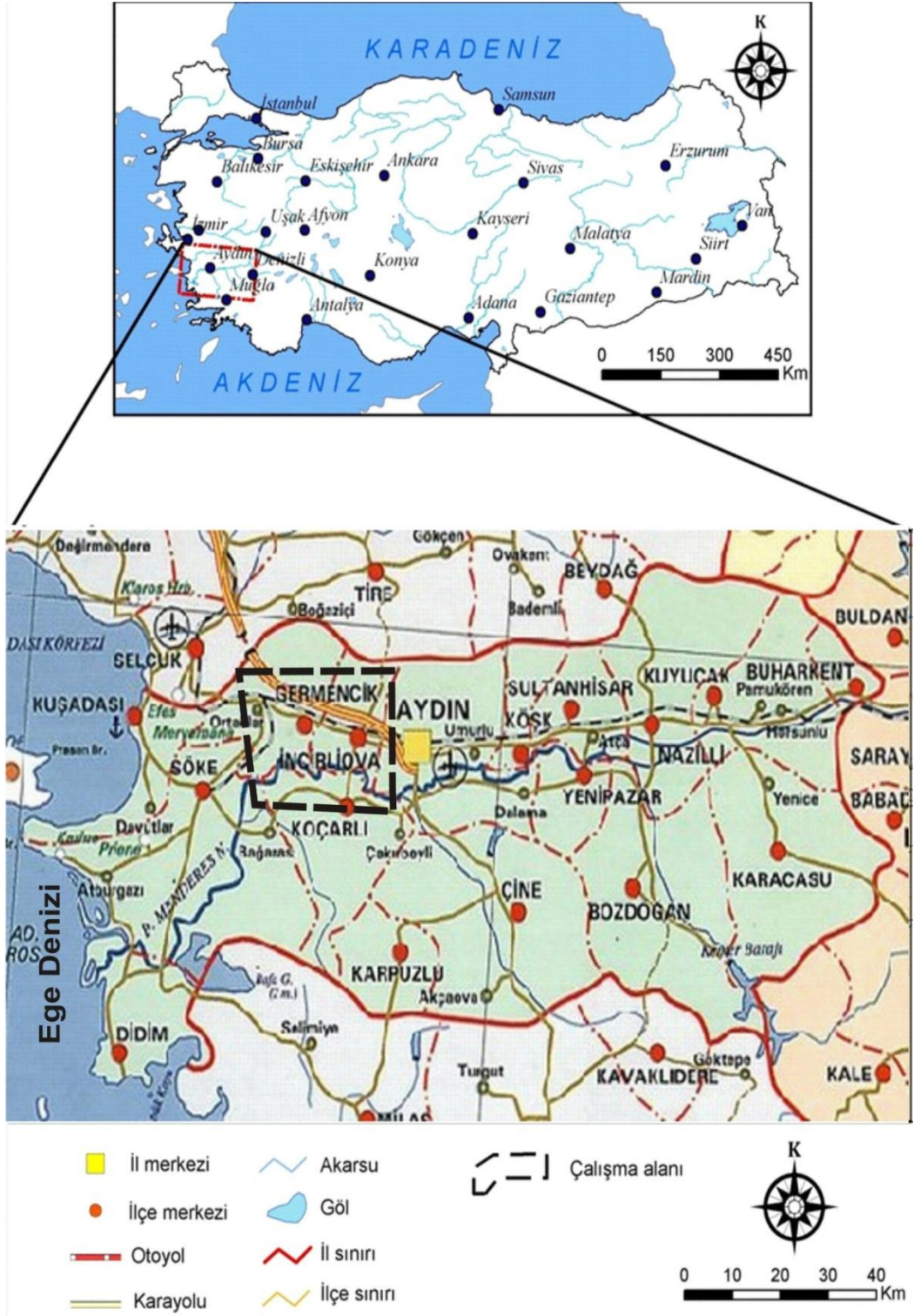
Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında, Germencik-İncirliova Jeotermal Alanının (Aydın) Hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların kökeni, yeraltı suları ile ilişkileri, karışım oranları, hidrojeokimyasal özellikleri, kullanılabilirlikleri, akifer sıcaklıkları ve potansiyellerinin tespiti bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.2 Çalışma Alanın Yeri

Bu çalışma Türkiye' nin en önemli jeotermal alanlarından birini oluşturan Germencik ve İncirliova jeotermal alanlarında yapılan hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik incelemeleri kapsamaktadır. İncirliova –Germencik jeotermal alanı büyük menderes grabeninin batı bölümündedir. Çalışma sahası İzmir –Aydın karayolu üzerinde bulunmaktadır. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Aydın M19-a1, M19-a2, M19-a3, M19-a4 paftalarının üzerinde olup üzerinde olup 27-28 doğu boylamı, 37-38 kuzey enleminde bulunmaktadır. İnceleme alanında Ömerbeyli, Bozköy, Dereköy, Çamköy ve Kızılcagedik küçük yerleşim alanlarıdır. İnceleme alanı genellikle engebeli bir topoğrafya sunar. Alana İzmir- Aydın otobanından, Germencik ve İncirliova'ya asfalt yolla, dağlık kesimlere stabilize, ham yol ve patika yollarla ulaşılmıştır. Çalışma alanının yer bulduru haritası şekil 1.1'de sunulmuştur.

1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler

Arazi çalışması kapsamında araziye çıkılarak kaynak ve kuyulardan, sıcak ve soğuk su örnekleri alınmıştır. Ofis çalışmaları kapsamında ise saha ve bulunan kaynaklar hakkında bilgi toplanmış örnek alma noktaları belirlenmiştir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası

Arazi çalışması, toplanan verilerin yazılımları ve programlar aracılığıyla verilerin yorumlanması tamamlanmıştır. Eh, sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. Kimyasal bileşenler için (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, alkalinite, CO₃, SiO₂, Al, Fe) 2'şer adet örnekleterek su örneklerinin kimyasal analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) gönderilmiş ve gelen sonuçlara göre de gerekli diyagramlar ve çizelgeler hazırlanmıştır. Analizi yapılan su örnekleri, hidrojeokimyasal programlar (Aquachem-Calmbach, 1997; AqQa, Watch, ve Phreeqci (Parkhurst & Appela,1999)) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu programlar yardımıyla çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Excel, Word ve Corel paket programları da raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

1.3.1 Örnekleme

Sıcak ve soğuk suların örneklenmesinde polietilen 50 ml hacimli örnekleme kapları kullanılmıştır. Yeni kaplar kullanılmış ve bu kaplar kullanım sırasında alınacak örnek su ile en az üç kez çalkalanmıştır. Katyonlar ve anyonlar için ayrı ayrı örnek alımı yapılmıştır. Katyon örneği alınırken 50 ml'lik polietilen şişe içerisine hava kabarcığı olmayacak şekilde örnek süzülerek koyulmuştur ve içine pH 2'nin altına düşecek şekilde birkaç damla saf asit ilave edilmiştir. Asit iyonların bağlanmasını ve değerlerin kaymasını önlemek amacıyla koyulmaktadır. Anyon örneği alırken aynı şekilde 50 ml'lik polietilen şişe içerisine hava kabarcığı olmayacak şekilde örnek koyulmuştur. Anyon örneklerinin içine asit koyulmamıştır. HCO₃ analizi özellikle örneğin alındığı yerde yapılmalıdır. Bunun nedeni özellikle sıcak sularda çözülmüş gaz miktarı oldukça fazladır, bu gazlar kaçtığı zaman su bazikleşmeye başlamaktadır. SO₄ ve Cl zamana karşı daha dayanıklıdır. Örnekler alındıktan sonra +4⁰C sıcaklığa konulmalıdır (Şekil 1.2).

1.4 Morfoloji

Paleozoyik kayaçları içerisinde, kuvarsit şistler ve mermerler mostra oluştururlar. Gnays ve şistler ise daha yumuşak bir morfoloji sergilerler. Ancak mermerler karstik



Şekil 1.2 Örneklemeye Çalışması.

karakterdedir. Pliyosen kayaları gevsek tutturulmuş konglomeratik olduklarından çok dalgalı morfoloji oluştururlar. Çalışma alanının ortasında ise D – B uzanımlı Menderes nehrinin oluşturduğu alüvyonlar bulunur. Yağışlara bağlı olarak kış aylarında debi de artma olurken, yazın azalma görülür (Yılmazer, 1980).

1.5 İklim ve Bitki Örtüsü

Aydın ilinde Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Ege kıyılarının yükselti dizilerinin doğu batı yönünde uzanışı deniz etkisinin bölgenin iç kesimlerine kadar girmesini sağlamaktadır. Aydındaki dağ sıralarının yükselti ve uzanışı ile düzlük araziler arasındaki ısı ve yağış farklılıkları da görülmektedir.

BÖLÜM İKİ JEOLOJİ

2.1 Jeolojik Tarihçe

Menderes Masifinin ilksel kumlu, kalkerli sedimanları muhtemel alt Paleozoik'te çökelmişlerdir. Bu sedimentler daha sonra Hersinyen orojenezile metamorfize olmuşlardır (Yılmaz, 1980). Menderes Masifinin muhtemelen Alt Paleozoik'te çökelen birimlerinden sonra masifte yükselme, alçalma, kıvrımlanma, kırılma hareketleri olmuştur. Ayrıca erozyonda meydana gelmiştir. Çalışma alanında bu aşamadan sonra Neojen çökelleri dolmaya başlamıştır. Dolan bu çökeller sonucu yer yer çökmeler hatta faylanmalar bile oluşmaya başlamıştır ki bu aşamalarda Alpin hareketleri etkin olmuştur. Bölgede, (masifte ve Neojende) birçok faylar görülmektedir. Bunlardan bir kısmı Neojen tabakalarını kesen büyük faylardır. Bu faylar Neojen esnasında ve Neojenden sonra görülen Alpin hareketlerle ilgili olarak oluşmuşlardır. Neojen formasyonların da ve küçük vadi alüvyonlarında görülen hareketler, taraçaların var oluşu, Alpin hareketlerinin halen devam etmekte olduklarını gösterir. Genel olarak bölge Hersinyen ve Alpin orojenezinden etkilenmiştir. Epirojenik hareketlerle graben teşekkül etmeye, eski masiflerde yükselmeye başlamıştır. Aydın'dan doğu ve batı yönüne gidildiğinde çökellerde incelmeye olur (Yılmaz,1980). Yer kabuğundaki alçalma yükselme hareketleri halen devam etmektedir. Masif bir taraftan yükselmekte, buna bağımlı olarak da graben çökmektedir. Taraçaların ve alüvyon yelpazelerinin oluşumu bu hareketlerin sonucudur (Yılmaz, 1980).

2.2 Bölgesel Jeoloji

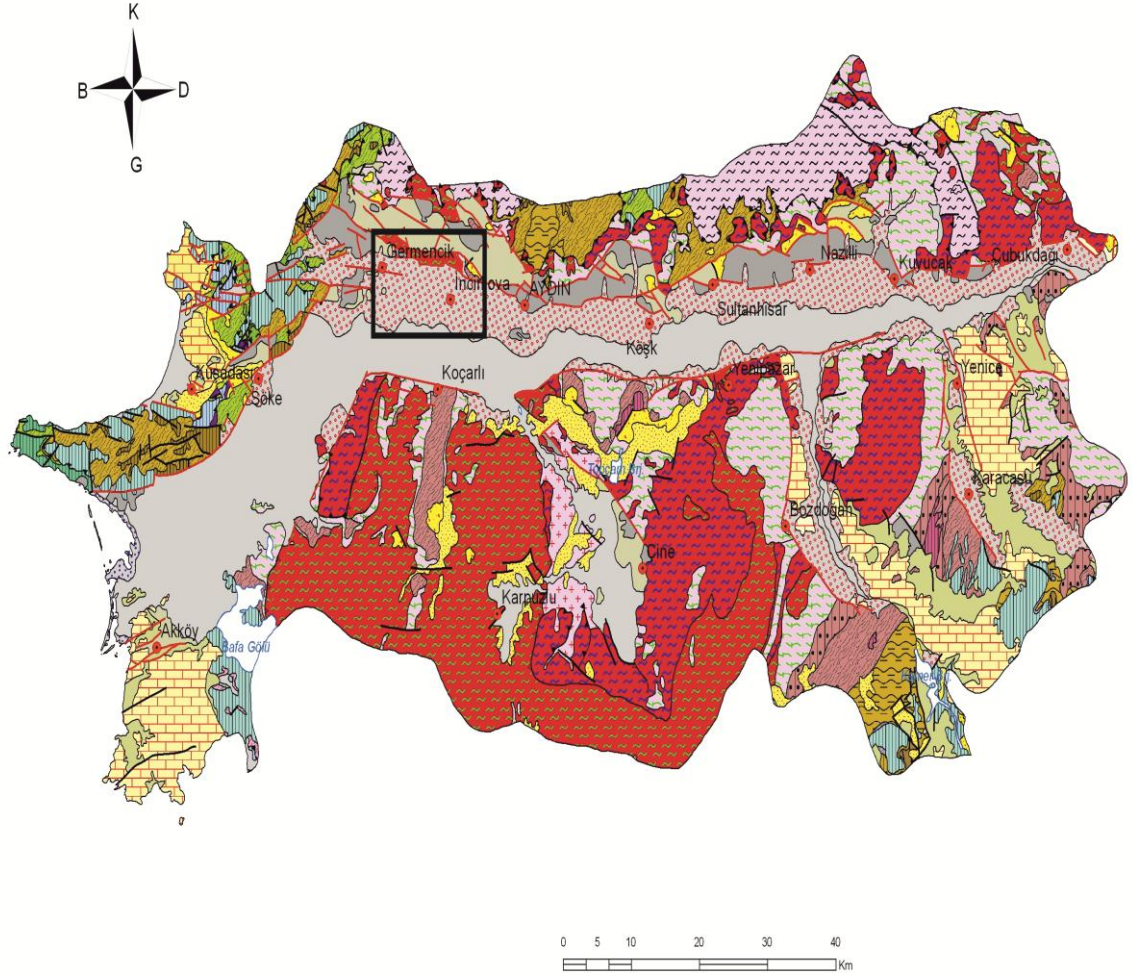
Batı Anadolu'da binlerce ton² alan kaplayan "Menderes Masifi", KD-GB uzanımlı, yumurta biçimli bir görünüm sunar. Yaklaşık D-B uzanımlı Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz ve Simav grabenleri Masifi dört asmasife bölerler (Dora, 19). Masifin KB kenarı İzmir-Ankara Zonu'nun (Brinkmann, 1966) ofiyolitik kaya topluluğuyla, G kenarı ise Toros kuşağı ile sınırlanır.

AYDIN İLİ JEOLJİ HARİTASI / GEOLOGICAL MAP OF AYDIN



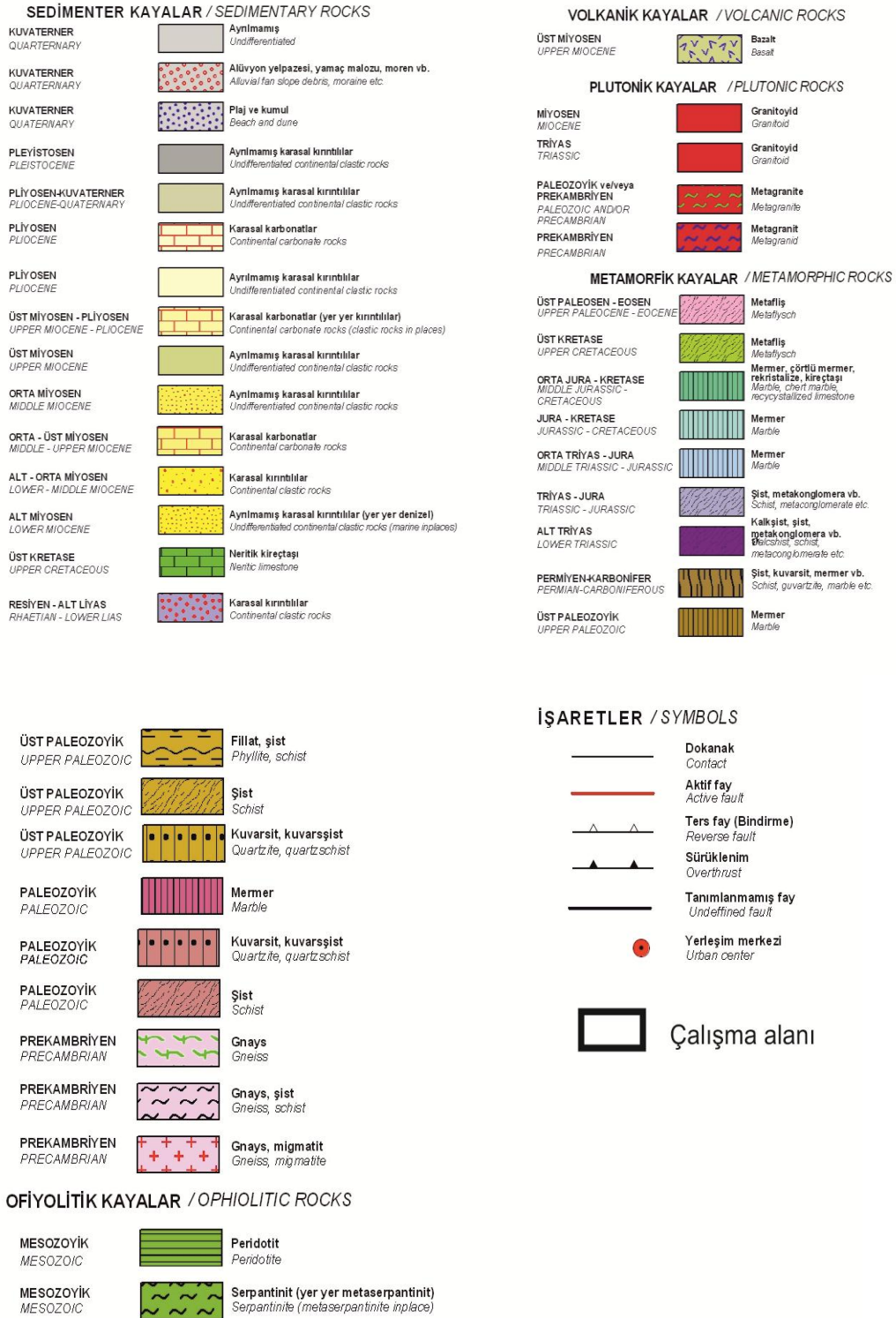
MADEN TETKİK ve ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
GENERAL DIRECTORATE OF MINERAL RESEARCH and EXPLORATION
ANKARA / TURKEY

Genel Müdür / General Director : Mehmet ÜZER
Basım Hazırlayan / Preparation for printing: Pemra KUMTEPE



Şekil 2.1 Aydın İli'nin genişletilmiş jeolojik haritası (MTA, 2009)

AÇIKLAMALAR / EXPLANATIONS



Şekil 2.1 in devamı

		SENOZOYİK							Ölçeksiz								
ÜST SİSTEM	SİSTEM	ALT SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR									
PALEOZOYİK	TERSİYER	NEOJEN	Menderes Masifi	Hasköy	OM	200		Marn-Kumtaşı									
								Üst Miyosen	Konaklı	ÜM	400		Kırmızı bordo renkli Çakıltaşı-Kumtaşı Kilitaşı				
								Pliyosen	Arzular	PI	450		Kumtaşı-Silttaşı Kilitaşı				
								Pleyistosen	Umurlu	Pİt	300		Gevşek tutturulmuş Çakıltaşı yer yer killi Örtü Kayaçlar				
								Holosen	Aydın	Trç	150		Taraça				
										Qaly	150		Alüvyon-Alüvyon Yelpazesi, Traverten				
								KUVATERNER								Allokton Gnays, Altere Kuvarşit bantlı Allokton Topluluk	
																Mermer-Şist-fillit ardanması Kuvarşit bantlı Çekirdek seri	
																Çeşitli şist(Mikaşist-kuvarşit-kloritşist) Gnays Örtü seri	

Şekil 2.2 Aydın civarı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Karahan, 2009 dan değiştirilerek alınmıştır.)

Batı uzantısı Ege Denizi'ndeki Kiklad adalarında gözlenirken, doğuda parçalanarak kalın Neojen örtünün altında kaybolur. Menderes Masifi' nin temelini gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapılmış gnays birimi oluşturur. Hiçbir yerde gnaysın tabanını görmek olası değildir. Görünür kalınlığı 2-3 km' yi bulmaktadır. Gnays birimini uyumlu olarak metavolkanitler (dar anlamda leptitler) üstler. Son yıllarda gnays birimi ile metavolkanit birimi arasında yer alan, 5-300 m kalınlığında bir "mavi gözlü gnays" düzeyi bulunmuştur (Kun ve diğ., 1988 a). Bu düzey içinde bol miktarda, gnayslaşmamış leptit kalıntılarının gözlenmesi, bunların ilksel kayaçın leptitler gibi volkanik kökenli olduğunu göstermektedir (Kun ve Candan 1987 a). Gri açık pembe renkli olan metavolkanitler, kötü yapraklanmış, boynuztaşı benzeri kayalardan yapılmıştır ve kısmen porfirik doku sunarlar. Bu nedenle kayaların ilksel volkanik karakterleri hala tanınabilmektedir. Andezitten riolite kadar değişen bir kimyasal bileşim sunarlar. Öte yandan, metavolkanitler içinde çok sık rastlanan bazik dayklar zengin anortit ve piroksen kapsarlar ve bu dinlenmiş yapılar sunarlar (Kun ve Candan 1987 b). Radyometrik yaş saptamalarına göre, gnays birimi ve metavolkanitler için Prekambriyen-Kambriyen arası bir yaş kabul edilmektedir.

Menderes Grabeninin ortasında yer alan çalışma alanındaki en yaşlı kayaçlar, Menderes Masifi adı altında toplanan şist, gnays, mermer ve kalkşistlerdir. Paleozoyik yaşlı bu kayaçların üzerine Neojen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kil, silt birimleri gelir. Neojen birimlerinin üstünde kuvaterner yaşlı gevşek tutturulmuş çakıltaşlarından oluşan (yer yer killi) Umurlu formasyonu ile taraça, traverten, alüvyon yelpazesi ve alüvyonlar yer alır. Bölgedeki Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisiyle graben yapısını oluşturan doğu-batı yönlü tektonik hareketler hakim olmuştur (Karahan, 2009).

2.3 Stratigrafi

Çalışma alanı olan Germencik-İncirliova ve civarında en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfileri bulunur. Bunun üzerinde Neojen yaşlı çökeller

Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerde oluşur. En üstte ise menderes grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer alır (Karahan, 2009).

2.3.1 Menderes Masifi Metamorfitleri

Bölgede temeli Menderes Masifinin Paleozoyik yaşlı birimi oluşturur. Menderes masifi metamorfikleri gnays, mikaşist, mermer ve kuvarşistlerden oluşmuştur. Mikaşistler kıvrımlı yapıda olup sahada oldukça geniş yayılım göstermektedir. Genelde muskovitşistlerin hakim olduğu birim yer yer ince kuvars damarlarıyla kesilmiştir. Mikaşitler içinde bazı seviyelerde mercek şeklinde kalınlığı ve devamlılığı fazla olmayan mermer bantları bulunur (Karahan ve diğ 2000). Menderes masifinin örtü şistleri üzerinde bulunan mermerler çalışma sahasında fillit birimleriyle ardalanmalı olarak görülür. Genel görünüşleri masif, kalın tabakalı gri beyazımsı renkte olup yer yer dolomitize iri kristalli ve şeker dokuludur (Karahan, 2009).

2.3.2 Tersiyer Tortulları

Çalışma alanının Menderes Masifi metamorfikleri üzerine bulunan Neojen yaşlı birimleri Miyosen ve Pliyosen yaşlı kayaç topluluklarından oluşmaktadır (Karahan, 2009).

2.3.2.1 Miyosen

Bölgenin paleocografik yapısında, Paleozoyik' ten sonra uzun bir boşluk olmuş daha sonra diskordansla, Orta Miyosen yaşlı birimler çökelmiştir. Konglomera kumtaşı seviyelerinden başlayan kömürlü kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, marn ile devam eden birim linyitli kısımdan alınan fosillere göre Orta Miyosen yaşı verilmiştir. Orta miyosen yaşlı kömürlü birimlerin üstünde Üst Miyosen yaşlı kırmızımsı renkli çakıltaşı kumtaşlarından oluşan çökeller (Konaklı Formasyonu) yer alır(Sözbilir ve Emre,1991). Konaklı formasyonu kırmızımsı bordo, kahverenkli, gri renkli çakıltaşı, kumtaşı kıltaşı birimleri gelmiştir. Birim yer yer gevşek olmakla birlikte genelde sıkı

tutturulmuştur. Birim içindeki çakıllar kuvars, şist, ve gnays tanelerinden ibaret olup genelde iyi yer yer kötü boylanmalıdır. Kumtaşı ve kıltaşı seviyeleri gri yeşilimsi renkli olup ince şist ve kuvars tanelidir (Karahana,2009).

2.3.2.2 Pliyosen

Üst miyosen yaşlı serilerin üzerine kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kil, silten oluşan Pliyosen yaşlı birimler (Arzular formasyonu) gelir. Gri, yeşilimsi, kırmızımsı renkli olan birimde üst seviyelerde kıltaşı, silttaşı, yer yer çakıllı ve killi seviyeler görülürken alt kısımlarda doğru kahverengimsi renkli kumtaşları hakim olmaktadır (Karahana, 2009).

2.3.3 Kuvaterner

Bölgede Pliyosen yaşlı birimlerin üzerinde Pleyistosen yaşlı çökeller (Umurlu formasyonu) ile Holosen yaşlı, taraça, traverten, alüvyon yelpazesi birimleri bulunmaktadır (Karahana, 2009).

2.3.3.1.Pleyistosen

Gevşek tutturulmuş kumtaşı, çakıltaşı, kumlu çakıllı yer yer killi birimlerden oluşmuştur. Karasal olup kuvars, şist ve daha az miktarda gnays ve mermer çakılları içermektedir. Kahverengimsi, sarımsı, renkli olup kötü boylanmalıdır. Alt kısımlara doğru killi birimlere geçiş gösterirler. Birim genelde yatay ve yataya yakın tabakalıdır (Karahana,2009).

2.3.3.2.Holosen

En genç birim olup alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu traverten ve taraçalardan meydana gelir. Taraçalar Aydın şehrinde net olarak görüldüğünden Aydın formasyonu olarak adlandırılmıştır (Karahana, 2009).

2.4 Yapısal Jeoloji

Büyük Menderes grabeni Denizli ile Ege Denizi arasında yer alır. Yaklaşık 200 km uzunluğundadır. Grabenin doğu ucu Pamukkale civarında Gediz grabeni ile kesişmektedir. Batı ucu ise Germencik civarında iki kola ayrılmaktadır. Kuzey kolu Kuşadası'na devam etmekte olup güney kolu GB'ya dönerek Ege Denizi'ne girmektedir. Bu grabenin ana fayı grabenin kuzey kenarı boyunca uzanır ve güneye doğru eğimlidir (Tekin ve diğ.,2000).

Büyük Menderes Grabeni'nin kuzeyinde gözlenen sürüklenim ve bindirmeler K-G yönlü sıkışmanın egemen olduğu paleotektonik dönemin izlerini taşır. Salavatlı ve Germencik jeotermal sahalarında yapılan sondaj çalışmalarında, tipik olarak Bozköy (Germencik ilçesi kuzeyi) civarında klipler şeklinde gözlenen allokton gnaysların altında kalın şist ve mermer birimleri kesilmiştir. "Bozköy Sürüklenimi" olarak adlandırılan, Menderes Masifi çekirdek serileri oluşturan yüksek dereceli metamorfiklerin Germencik ilçesi çevresinde kendilerinden daha genç şist serilerini tektonik olarak üstledikleri ve Bozdağ- Salihli yörelerine kadar uzanım katetikleri bildirilmiştir (Şimşek ve diğ., 1983; Candan ve diğ., 1992). Bölgedeki kliplerin sürekli güncel topografyadaki en yüksek tepe noktalarında bulunmaları ve dokanakların çoğu yerde eş yükselti eğrilerine hemen hemen koşut uzanmaları bindirmelerin örtü fayı niteliğinde olduğunu göstermektedir (Candan ve diğ., 1992).

Bölgede Neojen öncesi sıkışma tektoniği etkin olmuş, bunun sonucunda sürüklenimler gelişmiştir. Bozköy sürüklenimi ile gnayslar, metamorfik şist ve mermerlerin üzerinde yer almışlardır. Hersiniyen ve Alpin orojenezi'nin etkisiyle metamorfik şistler, mermerler ve kireçtaşları kıvrımlı, kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Daha sonra genç tektoniğin etkisiyle açılmalar olmuş, Menderes Grabenini oluşturan doğu-batı uzanımlı tektonik hatlar gelişmiştir.

Bozköy-Çamur jeotermal alanı tektonik yönden oldukça hareketli olup, sıcak suların yüzeye çıkması genç faylarla olmuştur. Bozköy sıcak sularının çıkışını sağlayan fayların doğrultuları yaklaşık doğu-batı yönlü olup, bu fay düzlemi

üzerinden sirkülasyon ürünü olan travertenler görülmektedir. Bölgede genç tektoniğin etkisiyle hızlı bir yükselme ve bunun neticesinde Neojen çökellerde çok hızlı bir aşınma görülmektedir. Neojen tabakalarının eğimleri genelde yataya yakın olup, tektonizmanın etkin olduğu yerlerde eğim artmaktadır (Karahan ve diğ., 2000). Kuvaterner içi tektonik gelişmenin sonucu, çalışma alanında oluşmuş özgün vadiler ve sekiler, aşamalı bir yükselme ve çökmeyi yansıtmaktadır. Doğu-batı doğrultulu faylanmalar, kuzey-güney yönlü ana vadilerin oluşumunu hazırlamıştır. Vadilerin boyuna profillerinin yukarı kesimlerinin yaşlı, aşağı kesimlerinin genç oluşu, yöreye özgü bir biçimleniştir. Vadilerin bu özelliği, genç tektonik gelişmenin doğal bir sonucudur. Büyük Menderes nehrine kuzeyden dik olarak katılan, yan kolların oluşturduğu, kuzey-güney uzanımlı vadiler konsekan, fakat ikinci ve üçüncü dereceden, doğu-batı yönlü vadiler, graben faylarının empoze ettiği, sübsekan vadilerdir. Tektonik gençleşme ile asılı vadiler, horstların varıldığı kesimlerde ise, epijenik (sürempoze) yarma vadiler gelişmiştir. Çalışma alanını kuzeyden-güneye kateden Uzgür vadisi, Küçük Menderes grabeni yönünde ters, asılı vadi özelliğindedir. Vadinin yukarı kesimi, Küçük Menderes grabeninin çökmesi sonucu bugün alüvyonlar altında bulunmaktadır dolayısıyla vadi, doğal olarak orta kesiminden başlamaktadır. Pliyokuvaterner yaşlı alüvyon yelpazelerine ve pliyokuvaterner sonu aşınım dolgu yüzeylerine gömülen akarsular, bir basamak altta, akarsu sekilerini oluşturmuşlardır. Seki yüzeyleri, Holosen vadi tabanına göre 15-35 metre görelî yüksekliktedir (Yıldırım, 1983). Germencik kuzeyinden batıya doğru, Düztepe ve Kızılpınar köylerinin bulunduğu düzlükler, Pleyistosen yaşlı akarsu sekileridir. Arzular grabeni içinde, vadi tabanından bir basamak üstte, sağ ve sol yamaçlarda izlenen seki seviyeleri, Kuvaterner içi tektonik gençleşme sonucu oluşmuş olmalıdır. Seki dolguları, hem Pleyistosen, hem de Pliyokuvaterner akarsu çakılı içerir. Ömerbeyli jeotermal alanının kuzeyinde, Kızılcagedik yükseliminde, yükselme hızına koşut, hızlı bir aşınım ve düzleşme söz konusudur. Horstlar üzerinde aşınım düzlüğü karakterinde olan bu sistem, Arzular graben alanında genellikle aşınımından korunmuş, kuzey-güney uzanımlı, birbirlerine paralel, dolgu düzlüğü niteliğindedir (Özgür,1984).

BÖLÜM ÜÇ

JEOTERMAL

3.1 Jeotermal Enerji

Yeryüzünde bütün volkanik bölgelerde ve hatta volkanik faaliyeti binlerce yıl önce sona ermiş bulunan yerlerde bile, sayısız sıcak su kaynaklarının bulunması, o yörede yüzeye yakın kayaların altında ve daha derin yerlerde yüksek sıcaklığın var olduğunu gösteren delillerdir. Yerkabuğundaki ısı kaynağı magmadır. Magma içinde serbest kalan gazların basıncının zayıfladığı ve dolayısıyla volkanik faaliyet sona erdiği zaman, magma yavaş yavaş soğumaya devam eder. Bu soğuma sırasında, büyük ölçüde su buharı olmak üzere, hidroklorik asit, CO₂, hidrojen, amonyum klorür vb. gazlar ortaya çıkar. Bütün bu gazlar yeraltı suyu zonu içindeki yarıklardan geçerek yeryüzüne ulaşır. İşte bu volkanik faaliyetler sırasında ortaya çıkan gazlar tarafından ısıtılan yer altı suyu ve diğer karışımlar, yeryüzüne sıcak kaynaklar olarak ulaşırlar. Yeryuvarlığının derinliklerindeki yüksek sıcaklık ile ilgili olan ve bu güçle ısınarak oluşan enerjiye jeotermal enerji adı verilmektedir (Baba, 2006).

Bilindiği gibi jeotermal enerji yer kabuğunun ulaşılabilir derinliklerinde olağan dışı olarak birikmiş ısı potansiyelinin ekonomik olarak yararlanılabilen şeklidir. Türkiye de jeotermal enerji açısından 31.100 MW ısı ve 4.500 MW elektrik üretimi potansiyeli belirlenmiştir. Ekonomik önemdeki jeotermal enerji birikimi sıcaklığı 40-80 derece arasında olup 3000 m'den daha az derinliklerde geçirimsiz kayalar altında yer alan geçirimli kayalar içinde bulunmaktadır. Türkiye'de jeotermal sahaların % 90'nı ısıtmada kullanılabilir özelliktedir (Kadıoğlu ve diğ., 1996).

Jeotermal enerjinin kullanılabilmesi bazı koşulların oluşmasına bağlıdır. Temel gereklilik enerjinin ulaşılabilir olmasıdır. Ulaşılabilirlik, gözenekli veya çatlaklı yer içi oluşumlarında ısının taşınımı ya da kayacın kendi ısı iletimi gibi doğal süreçlerle sağlanmaktadır. Yer içinde depolanmış ısının miktarı ve fiziksel büyüklüğü yeterliyse ve depo alanı yeryüzüne yakınsa, yüzeye bir ısı sistemi kurularak sıcak su ve buhardan enerji elde edilebilir. Jeotermal enerjinin doğrudan olmayan kullanımı

elektrik enerjisine çevrilmesiyle gerçekleştirilir. Jeotermal alana bir kuyu açılır ve kuyudan alınan buharın bir jeneratörü çalıştırması sağlanır. Hidroelektrik santrallerde yüksekten hızla düşen suyun enerjisinden yararlanıldığı gibi jeotermal tesislerde de buharın enerjisinden yararlanır. Buhar bir türbine yollanır ve türbinin dönmesi sağlanır. Hareket eden türbin elektrik üreten bir jeneratörü çalıştırır. Bunun sonucunda da elektrik üretilir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı ise konut ısıtması, seracılık ve endüstri için söz konusudur. Yüksek entalpili kaynaklar elektrik üretiminde kullanılmaya, düşük entalpili kaynaklar ise doğrudan kullanıma uygundur. Türkiye'deki jeotermal kaynakların önemli bir çoğunluğu düşük entalpili olduğu için doğrudan kullanıma daha çok öncelik verilmelidir. Doğrudan kullanımda verim daha yüksektir. Bu kullanım yollarından biri olan konut ısıtmacılığının tekniği ise; jeotermal suyun sıcaklığı ve bileşimi ile değişmektedir.

Örneğin 60–100 °C arasındaki bir jeotermal su ile ısıtma doğrudan yapılırken, suyun aşındırıcı (korrozif) maddeler içermesi ya da çökeltme eğilimi taşıması durumunda ısı değiştirici gerekmektedir. Sıcak su ve buhar bu gibi amaçlarla kullanıldıktan sonra, atık suyun yok edilmesiyle süreç tamamlanır. Dünyada mevcut jeotermal santraller 6.275 MW Kurulu gücünde olup, bu santrallerden elektrik elde edilmesinde yararlanılmakta, ısıtma amaçlı kullanım ise 13.044 MW olmaktadır. Jeotermal enerjiden en fazla yararlanan ülkelerin başında İtalya, İzlanda, Yeni Zelanda ve A.B.D. gelmektedir. İzlanda da gereksinim duyulan enerjinin yaklaşık %20'si jeotermal enerjiden karşılanmakta ve ülke nüfusunun yaklaşık yarısı jeotermal enerji ile ısıtılan konutlarda oturmaktadır (Baba, 2006).

Ülkemizde 1200 sıcak su kaynağı mevcut olup, bunlardan 40 °C'nin üstünde jeotermal akışkan içeren, 140 jeotermal alan bulunmaktadır. Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında 7. sırada yer almaktadır. Henüz bu potansiyelin %2,97'sinden yararlanılmaktadır. Özellikle Ege ve İç Anadolu bölgeleri jeotermal enerji yataklarının bulunabileceği alanların başında gelmektedir (Baba, 2006). Yapılan son araştırmalar Doğu Anadolu bölgesinin de jeotermal enerji yatakları bakımından oldukça zengin olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu potansiyelden henüz yeterince yararlanılamamaktadır.



Şekil 3.1 Aydın-Germencik Gürmat enerji santralinden bir görüntü

Dünya standartlarına göre jeotermal kaynaklar; 150 °C'nin üstünde yüksek sıcaklık, 150–170 °C arasında orta sıcaklık ve 70 °C'nin altında düşük sıcaklık kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır.

Türkiye' de elektrik enerjisi elde edilebilecek yüksek entalpili iki jeotermal saha Kızıldere ve Germencik'tir. Kızıldere – Denizli jeotermal alanı 1968 yılında keşfedilmiştir. Türkiye'de ilk ticari jeotermal santral 1984 yılında burada kurulmuştur. İlk yıllarda bazı problemler doğurduysa da alınan tedbirlerle bu problemler aşılmıştır. Çanakkale – Tuzla sahasında 15 MW, Aydın – Germencik sahasında 100 MW gücünde jeotermal santraller kurulması için çalışmalar devam etmektedir. Geri kalan tüm jeotermal kaynaklar düşük entalpilidir, ama rezerv olarak oldukça büyüktür. Son yıllarda Kütahya-Simav, Kırşehir, İzmir-Balçova ve Bursa-Gönen gibi birçok yerleşim alanında merkezi sistemle ısıtma projelerinde jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. Türkiye'deki jeotermal kaynakların büyük bir bölümü düşük entalpili olduğundan konut ısıtmacılığı açısından uygun kaynaklar olduğunu daha önce belirtmiştim. Fakat bu tip uygulamalar ülkemizde pek yaygın değildir (Baba, 2006).

Aydın-Germencik jeotermal sahası Büyük Menderes grabenin batı bölümünde Ömerbeyli-Alangüllü yerleşim yerleri sınırları içinde yer alan yüksek sıcaklıklı bir sahadır. En yüksek 232 °C sıcaklığa sahip Ömerbeyli jeotermal rezervuarı su baskın bir rezervuardır. Fay kontrollü hidrotermal tip Ömerbeyli jeotermal sahası arama ve üretim sondaj çalışmaları ile 1988 yılında MTA tarafından belirlenmiş ve sahada Mta tarafından yapılan jeolojik, jeofizik, sondaj, test ve jeokimya çalışmaları sonucunda rezervuar sıcaklığının 200-215 °C'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sahada, 9 adet arama ve üretim kuyusu açılmıştır. Gürmat Elektrik Üretim A.Ş. ise Germencik Jeotermal Sanrali'nin jeotermal akışkan üretimi ve atık jeotermal su rejeneksiyonu için 9 adet yeni kuyuyu daha 2007-2008 yıllarında yeni sondaj teknolojileri uygulayarak açılmıştır. Germencik jeotermal anomalisi yaklaşık 50 km²'lik bir alana yayılmıştır. Sahadan sürdürülebilir enerji üretiminin sağlanabilmesi ve rezervuarda oluşacak basınç düşümünün en aza indirilmesi ve çevre kirliliği oluşturmamak için, atık jeotermal su, sahanın batısında açılan kuyulara geri basılmaktadır. Santral için toplam 8 üretim kuyusundan 2530 ton/saat jeotermal akışkan üretimi yapılmaktadır. Santralden yaklaşık yılda 8200 saat elektrik üretimi öngörülmesi halinde, jeotermal rezervuardan yılda yaklaşık 20.8 milyon m³ jeotermal akışkan üretimi yapılacaktır. Bu miktarın yaklaşık 16.4 milyon m³'ü, yani yüzde 79' u rejeneksiyon yoluyla yeniden sahanın batı bölümünde yer alan rejeneksiyon kuyularına basılmaktadır. Ayrıca kondenserde yaklaşık 100 ton/saat kondense su da rezervuara geri gönderilmekte. geri kalan kısım buharlaştırılmaktadır. Dolayısıyla elde edilen akışkanın tamamı çevreye uyumlu olarak kullanılabilir. Ruhsat alanının batısında yer alan yaklaşık dörtte birlik bölüm enjeksiyon alanı olarak ayrılmış. Bu alan üzerinde beş enjeksiyon kuyusu vardır. Kuyuların rezervuar sıcaklıkları 191-205 °C arasında değişmektedir. Rezervuar sıcaklığının ortalama 220 °C'nin üzerinde olması ve su baskın bir rezervuar olması, saha üzerine kurulacak jeotermal enerji santralinin ekonomik ve güvenilir özellikleriyle öne çıkan Double Flash (Çift Kademeli Besleme) sistem olması gerekliliğini getirmektedir. Bu sistem Single Flash (Tek Kademeli Besleme) sistemlere göre aynı miktar buhar kullanarak yüzde 10-15 daha çok enerji üretimi sağlanmaktadır. Santralde başlıca "Buhar Toplama ve Rejeneksiyon Sistemi" ile "Enerji Üretim Sistemi" olmak üzere iki ana sistem bulunmaktadır.

1) Buhar Toplama ve Reenjeksiyon Sistemi

- a) Üretim kuyuları
- b) Separatörler
- c) Enjeksiyon kuyuları

2) Enerji Üretim Sistemi (Santral)

- a) Türbin ve jeneratör
- b) Kondenser
- c) Gaz uzaklaştırma sistemi
- d) Soğutma kulesi
- e) Devir daim pompaları

Buhar Toplama ve Reenjeksiyon Sistemi: Bu sistemde üretim kuyularından elde edilen çift faz (buhar-kızgın su) ve/veya buhar ve kızgın su halindeki jeotermal akışkan, boru hatları üzerinden separatöre gönderilmektedir. Separatörlere gelen akışkan, buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra elde edilen buhar, elektrik üretimini sağlamak için türbine gönderiliyor ve elde edilen su da reenjeksiyon pompaları vasıtasıyla enjeksiyon kuyuları kullanılarak rezervuara aktarılmaktadır.

Türbin ve Jeneratörler: Elektrik enerjisi üretimi bu sistemde gerçekleştirilmekte. Gelen yüksek ve düşük basınçlı buhar, buhar türbinine farklı kademelerden girerek türbin kanatlarının dönmesini sağlamakta, bu şekilde üretilen kinetik enerji de jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. (<http://www.yenienerji.info/?pid=20064>)

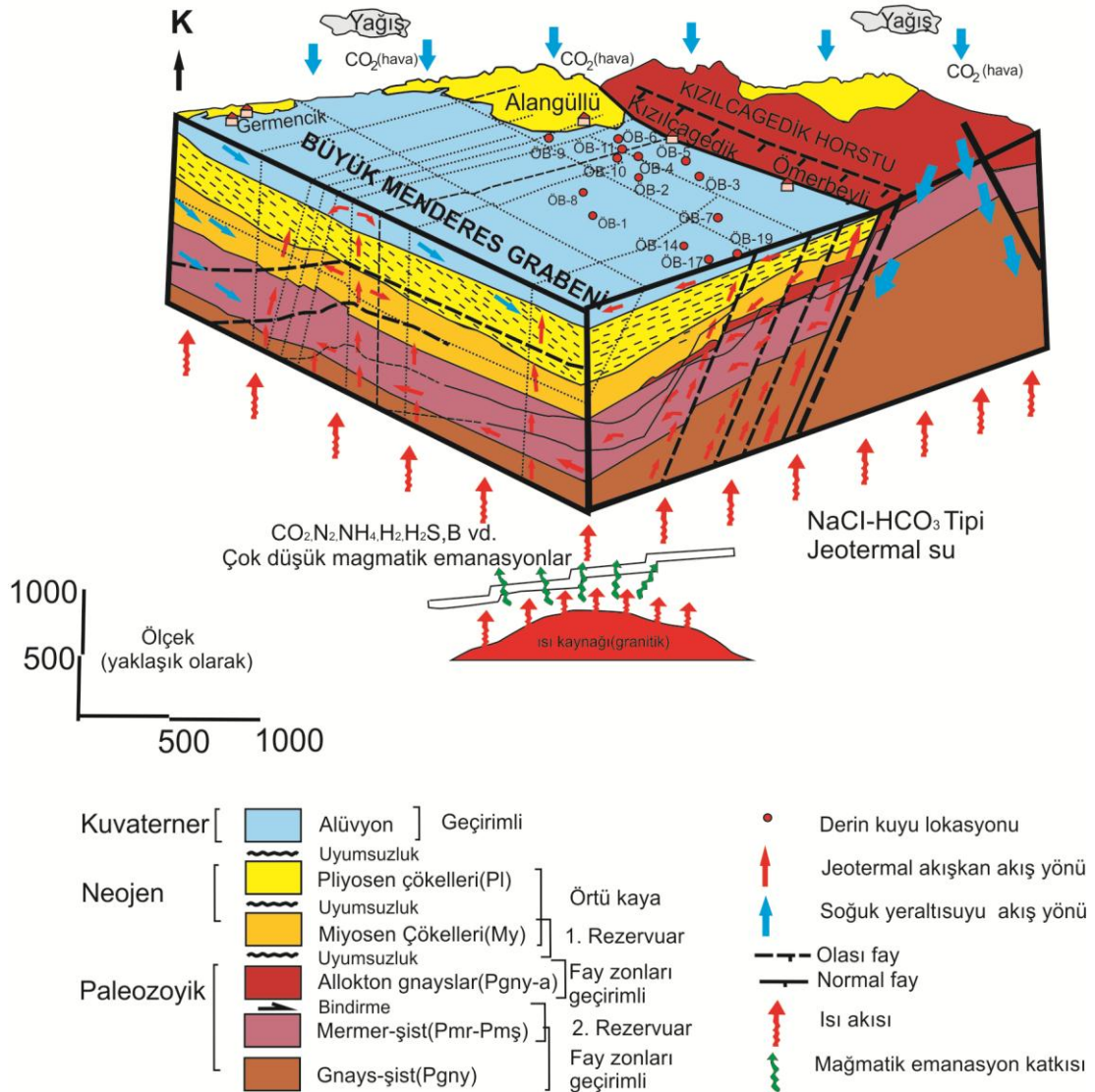
Son yıllarda kullanım alanları giderek çeşitlenen jeotermal enerjinin önemi daha da artmaktadır. Nitekim günümüzde seraların, konutların, havaalanı pistlerinin, yüzme havuzlarının ve hayvan çiftliklerinin ısıtılması, balık başta olmak üzere çeşitli yiyeceklerin kurutulması, deniz suyundan tuz elde edilmesi, sıvı CO₂, kuru buz, sodyum klorür, kalsiyum karbonat, çinko, bor gibi kimyasal maddelerin üretilmesi ve elektrik enerjisi üretilmesi gibi çeşitli faaliyet alanlarında yararlanılmaktadır.

3.2 Jeotermal Sistem

Aydın ili jeotermal enerji kaynakları bakımından önemli potansiyele sahiptir. Kaplıca, kaplıca tesisi ısıtılması, sera ısıtması, elektrik üretimi, şehir ısıtmacılığı gibi çok yönlü kullanım özelliğine sahip olan bu jeotermal sahalar, il turizmi ve sanayisinin gelişiminde çok etkilidir. İl dahilinde ki önemli bazı jeotermal alanlar Ilıcabaşı-İmamköy, Germencik-Ömerbeyli, Bozköy-Çamur, Germencik-Gümüş, Sultanhisar-Salavatlı, Kuşadası-Ilıca, Buharkent-Ortakçı ve Nazilli-Gedik sahalarıdır. Bunlardan çalışma alanımıza giren Bozköy-Çamur sahasında 59-142°C sıcaklık ve 280 lt/sn debi, Ömerbeyli sahasında ise 203-232°C ve 725 lt/sn debiye sahip akışkanlar 107 MWt ve 594.83 MWt termal güce sahiptir (Mta, 2009). Aydın-Germencik-İncirliova jeotermal alanı Menderes Grabeninin batısında yer almakta olup doğu batı yönlü bir hat boyunca devam etmektedir. Bölgedeki gerilme tektoniğinin etkisiyle kuzey-güney yönlü açılma ve Menderes Masifi bloğunun sürekli yükselmesi sonucunda doğu-batı yönlü grabenleşme oluşmuş ve basamak fay sistemi gelişmiştir. Menderes grabeninde kıtasal kabukta incelmeye bağlı olarak yüzeye yaklaşan ve zayıflık zonları boyunca yükselen magma faaliyetleri sistemin ısı kaynağını oluşturur. Graben faylarından çok derine inenler, litosferin üst kısımlarından ısı transferi yaparak hazne kayayı ısıtırlar. Menderes masifi içindeki gabro stokları granit pegmatit dayklarının bulunması derinde yüzeye yakın yerlerde ısını kaybetmemiş asit magmatik kayaçların bulunduğunu göstermektedir (Karahana, 2009). Menderes Masifi metamorfik kayaçlarından olan gnays ve kuvars şist gibi kırıklı kayalar ile karstik mermerler ile bazı alanlarda Neojen yaşlı çakıltaşları jeotermal sistemlerin haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kıltaşı ve çamurtaşı gibi geçirimsiz kayalar da örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşmış magma ısı kaynağını oluşturur.

Batı Anadolu'da açılma tektoniğine bağlı olarak gelişen ve derinlere kadar etkili olan kırık zonları ile sınırlandırılmış bulunan grabenler içinde tektonik yer yer volkanik faaliyetlere bağlı jeotermal sistemler oluşmuştur. Derinlere kadar inen kırık zonlarının bulunduğu graben sistemlerinde yüksek entalpili alanlar gelişmiştir.

AYDIN - GERMENCİK - ÖMERBEYLİ ALANININ TASLAK JEOTERMAL MODELİ



Şekil 3.2 Aydın- Germencik-Ömerbeyli alanının taslak jeotermal modeli(Şimsek, 2006 değiştirilerek alınmıştır.)

Büyük Menderes Grabeni'ndeki jeotermal alanlar devirli jeotermal sistem özelliğindedir (şekil 3.2). Bu Jeotermal sistemlerde meteorik sular fay hatları ve tektonik kırıklar boyunca yeraltına süzülürler. Süzülen bu sular, graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşan magma tarafından ısıtılır. Sıvılarda yoğunluk farkından dolayı ortaya çıkan konveksiyon ısı akımları ile ısınan sular tektonik hatlar boyunca tekrar yükselerek, yeryüzüne ulaşırlar (Yurttaş, 2008). Bölgedeki jeotermal

aktivitelerin en fazla olduğu alanlar doğu-batı uzanımlı graben faylarıyla kuzey-güney yönlü doğrultu atımlı fayların kesiştiği zayıflık zonlarıdır. Sıcak su kaynakları genelde bu kesişim zonlarından çıkmaktadır. Kuzey güney yönlü faylar jeotermal sistemin oluşmasında etkili olup doğu- batı doğrultulu graben faylarına bağlı olarak uzanan jeotermal sahaların, kısmen jeoloji sınırların oluşturmaktadır (Karahan, 2009).

Tablo 3.1 Çalışma alanındaki jeotermal alanlar

JEOTERMAL ALAN ADI	SICAK SU KAYNAK ADI	KAYNAK			SONDAJ			KULLANIM ALANI	KURULU TESİS	DEĞ. BEL.
		Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn.)	Potansiyel (MWt)	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn.)	Potansiyel (MWt)			
GERMENCİK-ORTAKLAR-GÜMÜS SÖKE-SAZLIKÖY	Gümüş	35	6	-	-	-	-	Kaplıcada, kaplıca tesisi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca	***
GERMENCİK-ÖMERBEYLİ-BOZKÖY-ÇAMUR	Ömerbeyli Sahası				203-232	725	594.83	Elektrik üretimi, şehir ısıtması-soğutması, sera ısıtması, kurutmacılık (incir-üzüm) Tekstil endüstrisi (İplik), soğuk hava depoları, kaplıca ve kaplıca tesisi ısıtılmasında	-	***
	Bozköy-Çamur	36-92	4		59-142	280	107	Kaplıcada, kaplıca tesisi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca	***

* Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri - 2005

* Türkiye Jeotermal Envanteri-1996

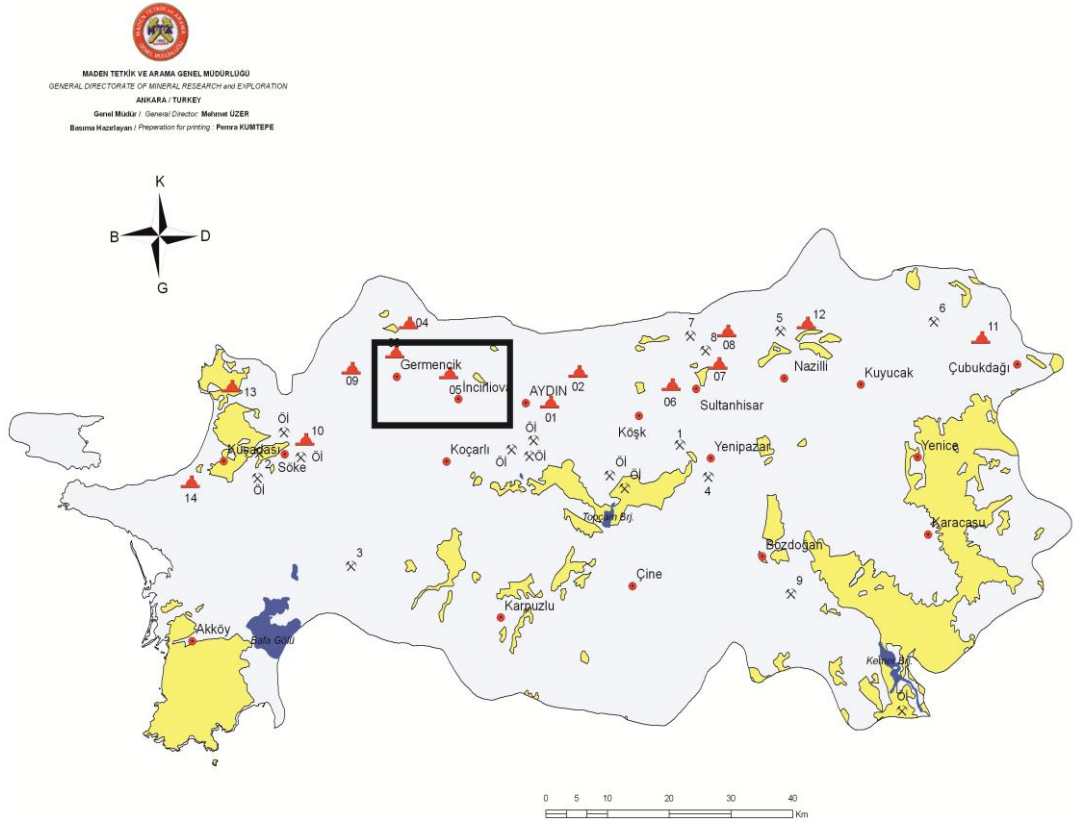
** 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı (1995-1999) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu

Not:Potansiyel değerleri;

1- Sondajlarda, kuyuların ilk üretim debilerinin toplamına göre

2- Yüksek sıcaklıklı sahalarda (sıcaklığı 100°C nin üstünde) rezervuar sıcaklığına göre hesaplanmıştır.

AYDIN İLİNDE BİLİNER JEOTERMAL ALANLAR



AÇIKLAMALAR

▲ **Jeotermal Alan** / Geothermal Fields

- | | |
|------------------------------------------------|-----------------------------|
| 01 ▲ Ilıcabaş-İmamköy | 09 ▲ Gümüş ve Söke-Sazlıköy |
| 02 ▲ Ilıcabaş-İmamköy | 10 ▲ Gümüş ve Söke-Sazlıköy |
| 03 ▲ Germencik-Ömerbeyli-Bozköy-Çamur | 11 ▲ Buharkent-Ortakçı |
| 04 ▲ Germencik-Ömerbeyli-Bozköy-Çamur | 12 ▲ Nazilli Gedik |
| 05 ▲ Germencik-Ömerbeyli-Bozköy-Çamur | 13 ▲ Kuşadası |
| 06 ▲ Sultanhisar-Salavatlı-Malgaçemir-Güvendik | 14 ▲ Davutlar |
| 07 ▲ Sultanhisar-Salavatlı-Malgaçemir-Güvendik | ⊗ Linyit / Lignite |
| 08 ▲ Sultanhisar-Salavatlı-Malgaçemir-Güvendik | |

■ **Genç Çökel Birimler (Miyosen - Pliyosen)**
Young Deposits (Miocene-Pliocene)

● **Yerleşim merkezi**
Urban center



Çalışma alanı

Şekil 3.3 Aydın İli'nde bilinen jeotermal alanları (MTA, 2009)

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOLOJİ

4.1 İnceleme Alanındaki Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanı ve çevresinde temelde Menderes Masifi nin metamorfik kayaçları yer alır. Masif içerisinde bulunan mermerler, ana hazne kayayı oluştururlar. Mermerler yer yer erime boşluklu olup, tektonik etkilerle çatlaklı kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu özelliklerinden dolayı yüksek porozite ve permeabilite gösterirler. Mermerler altında ve üstünde yer alan mikaşistler düşük porozite ve permeabiliteye sahiptirler. Şistler bu özellikleri ile örtü kaya konumundadırlar (Karahan ve diğ., 2000). Gnayslar çalışma alanında gerek faylanma, gerekse mermerlerle yakın ilişkide bulunmaları nedeni ile yüksek porozite ve permeabilite gösterebilmektedirler (Karamanderesi, 1989). Temel birimler üzerine gelen Neojen tortullarının gevşek tutturulmuş kumlu, çakıllı bölümleri yüksek porozite ve permeabiliteye sahip olup hazne özelliği gösterirler. Bu birimlerin sıkı tutturulmuş bölümleri ile killi seviyeleri ise örtü kaya konumundadır (Karahan ve diğ., 2000).

4.2. Meteorolojik Su Bütçesi

Aydın ilinde 1970-2011 yılları arasında meteorolojik verilere göre yıllık ortalama toplam yağış 619,8 mm'dir. En az yağış Ağustos (2,4 mm), en fazla yağış ise Aralık (111,1 mm) aylarında olmaktadır. 1970–2011 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 17,63°C' dir. Temmuz ayları en sıcak (28,4°C), Ocak ayları en soğuk (8,2°C) aylardır.

Aydın ili'ne ait 1970–2011 yılları arası 41 yıllık uzun dönem “Yağış - Sıcaklık” verileri Thornthwaite Yöntemi'ne göre değerlendirilmiştir. Bu yöntemle potansiyel ve gerçek buharlaşma – terleme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.1).

Buna göre Thornthwait bağlantıları şöyledir:

$$E_{tp} = 16 (10 t / I)^a$$

Bağıntıda t aylık ortalama sıcaklık (°C), I ve a sıcaklığın fonksiyonudur. I sıcaklık indeksi olup 12 ayın sıcaklık indisleri (i) toplamına eşittir.

Aylık indeks;

$i = (t/5) 1.514$ bağıntısıyla bulunur.

a değeri ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + 49.29 \times 10^{-2}$$

Hesaplanan Etp, Aydın İli için 38. kuzey enlemine göre bir düzeltme katsayısı ile çarpılır. Daha sonra sırasıyla gerçek buharlaşma-terleme (Etr), zemin rezerv değişimi, tarım su açığı vb. değerler hesaplanır. Gerçek buharlaşma-terleme (Etr) aylık yağış ve zemin yedeği ile ilgilidir. Zemin yedeği kuramsal olarak 100 mm alınır. Aylık yağış miktarı Etp' den fazla ise Etp = Etr olur. Aylık yağış miktarı Etp' den az ise yağış Etp' yi karşılayamadığından zemin yedeği bu açığı kapatır (Tarcan, 1989). Tablo 4.1 de görüldüğü üzere; Aydın ili'nde yıllık düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 956,67 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 363,36 mm olarak elde edilmiştir. Mart ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr' ye eşit olur. Çalışma alanındaki iklim ilişkilerini yağışlı devre ve yağışsız devre olarak iki kısımda incelemek mümkündür.

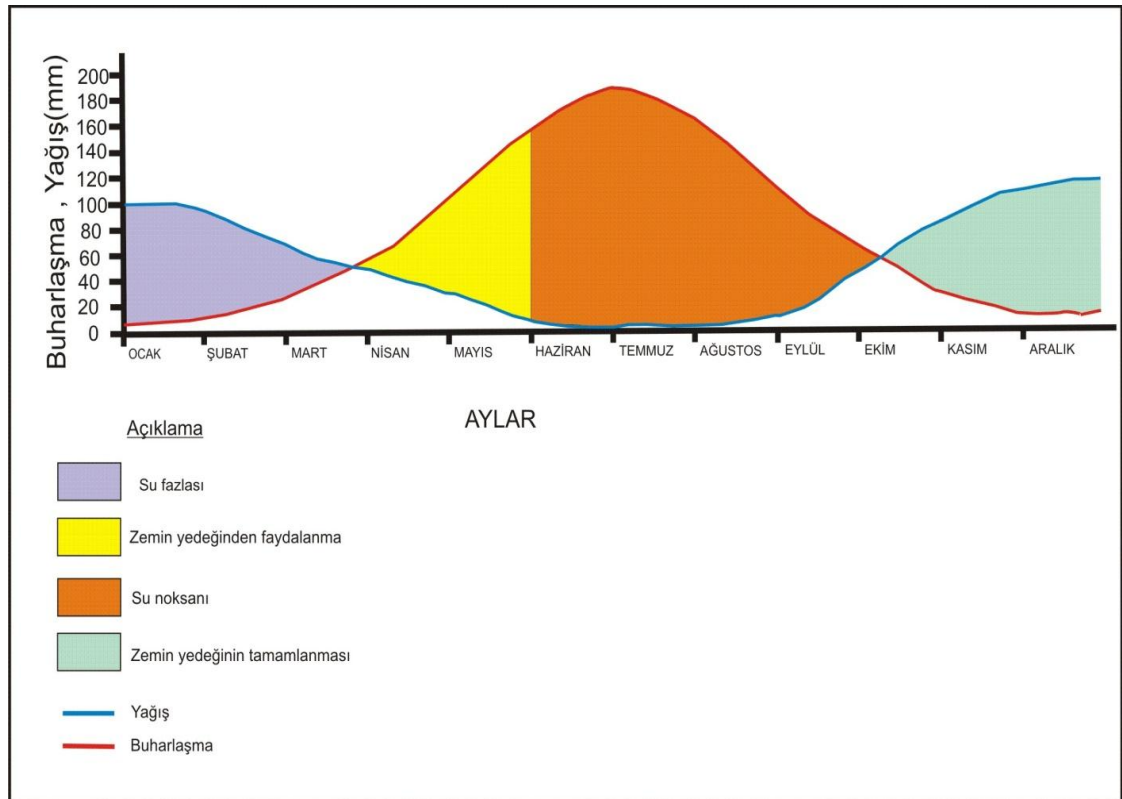
Yağışlı Devre, Ocak ayından Mart ayı sonuna kadar yağış (P), potansiyel buharlaşma-terlemeden (Etp) daha fazladır. Bu sürede toplam yağış miktarı 261,3 mm, Etp ise 57,71 mm' dir. Aradaki 203.59 mm' lik fazlalık yüzey ve yeraltı sularını besler. Bu arada zemin rezervinin Nisan ve Mayıs ayında da kullanılması devam eder. Haziran ayında rezervi sıfırlanır. Kasım - Aralık ayları yağış toplamı (P) 197,1 mm, Etp ise 44,1 mm' dir. Yine aradaki 153 mm' lik fazlalık yüzey ve yeraltı sularını besler.

Yağışsız Devre, Mayıs ayının sonunda tüm zemin yedeğinin harcanması sonucu tarım su açığı ortaya çıkar. Bu devrede tarım su açığı 593,28 mm' dir .

Nisan ayı başından Kasım ayına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır. Mart ayı sonuna kadar yeraltı suyu rezervi doludur. Nisan'dan Mayıs sonuna kadar yedekten kullanılmakta, Haziran başından Ekim sonuna kadar yeraltı su rezervi olmamakta ve tarımsal su açığı gözlenmektedir. Aralık başına kadar ise yeraltı suyu rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre Haziran – Ekim ayları arası “Kurak Dönem”(yağışsız), Kasım – Mayıs ayları arası

“Yağışlı Dönem” olarak adlandırılmıştır. Ortalama yağış ve düzeltilmiş Etp’ nin aylık değışimleri Şekil 4.1’ de verilmiştir.

1970-2011 yılları arasındaki Aydın Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak yapılan su bütçesi hesaplamalarına göre yıllık 256,43 mm’lik suyun yeraltına süzöldüğü hesaplanmıştır. Buna göre Aydın istasyonu için yıllık yağış miktarı 619,8 mm üzerinden hesaplanırsa, $256,43 / 619,8 = 0,41$ değeri bulunur. Kabaca bir değeriendirme yapılacak olursa, Aydın Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağışın % 41’i yeraltına süzölmektedir.



Şekil 4.1 Aydın İl’de 1970–2011 yılları arasındaki yağış ve düzeltilmiş Etp’nin aylık değışim grafiği (Aydın Devlet Meteoroloji İstasyonu 1970-2011 verilerine dayanılarak hazırlanmıştır).

Tablo 4.1 Aydın ili 1970-2011 yılları arasında karşılaştırmalı meteorolojik su bütçesi (Thorntwaite, 1948'e göre Aydın Devlet Meteoroloji İstasyonu verilere dayanılarak hazırlanmıştır.)

Enlem 38° /AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK TOPLAM
AYLIK SICAKLIK	8,2	9,1	11,9	15,8	20,9	26	28,4	27,4	23,4	18,3	12,9	9,3	-
YAĞIŞ(P)	97	93,5	70,8	53,8	33	12,8	4	2,4	10,9	44,5	86	111,1	619,8
ETP (Düzeltilmiş)	12,39	14,92	30,39	55,51	105,40	160,64	191,39	167,39	110,37	63,97	28,88	15,36	-
P-ETP	84,60	78,57	40,40	-1,71	-72,40	-147,84	-187,4	-164,99	-99,47	-19,47	57,11	95,73	-
REZERV SU	100	100	100	98,28	25,87	0	0	0	0	0	57,11	100	-
ETr(gerçek buharlaşma)	12,39	14,92	30,39	55,51	105,4	38,6	4	2,4	10,9	44,5	28,88	15,36	363,36
SU NOKSANI	0	0	0	0	0	121,96	187,39	164,99	99,47	19,47	0	0	-
SU FAZLASI	84,6	78,5	40,4	0	0	0	0	0	0	0	0	52,85	-
YAS'na sızan su(I)	55,56	67,074	53,73	26,86	13,43	6,71	3,35	1,67	0,839	0,419	0,209	26,53	256,43
P-I	41,432	26,42	17,06	26,93	19,56	6,083	0,641	0,72	10,06	44,08	85,79	84,56	

4.3. Jeotermal Alanın Yeri ve Oluşum Özellikleri

İnceleme alanındaki jeotermal sistemler Bozköy-Çamur jeotermal alanı ve Ömerbeyli jeotermal alanı olmak üzere iki grupta toplanabilir. Bozköy-Çamur alanında Germencik İlçesi'nin hemen hemen kuzeyinde yer alan ılıca ve kaplıcalar bulunur. Bunlar Bozköy (Alangüllü) Kaplıcası, Çamurlu ılıcası, Ballı ılıcası, ılıca kaynak, ve Ali ılıcası olarak ele alınmıştır (Filiz ve diğ.,1999). Ömerbeyli jeotermal alanı ise batı anadoluda Kızıldere'nin 100 km batısında yer almaktadır. Bölgede jeolojik jeokimyasal ve jeofiziksel çalışmalar MTA tarafından yapılmış. Yapılan çalışmaların sonucuna göre 1982-1987 yılları arasında 285-2398 m derinliğin de 9 adet arama kuyusu açılmıştır. Açılan kuyularda 200-232°C, buhar oranı %10-12 jeotermal akışkan elde edilmiştir (Şimşek, 2003), (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Germencik Ömerbeyli alanında açılan jeotermal kuyular(Maden tetkik ve Arama (MTA),1996) A: Artezyen

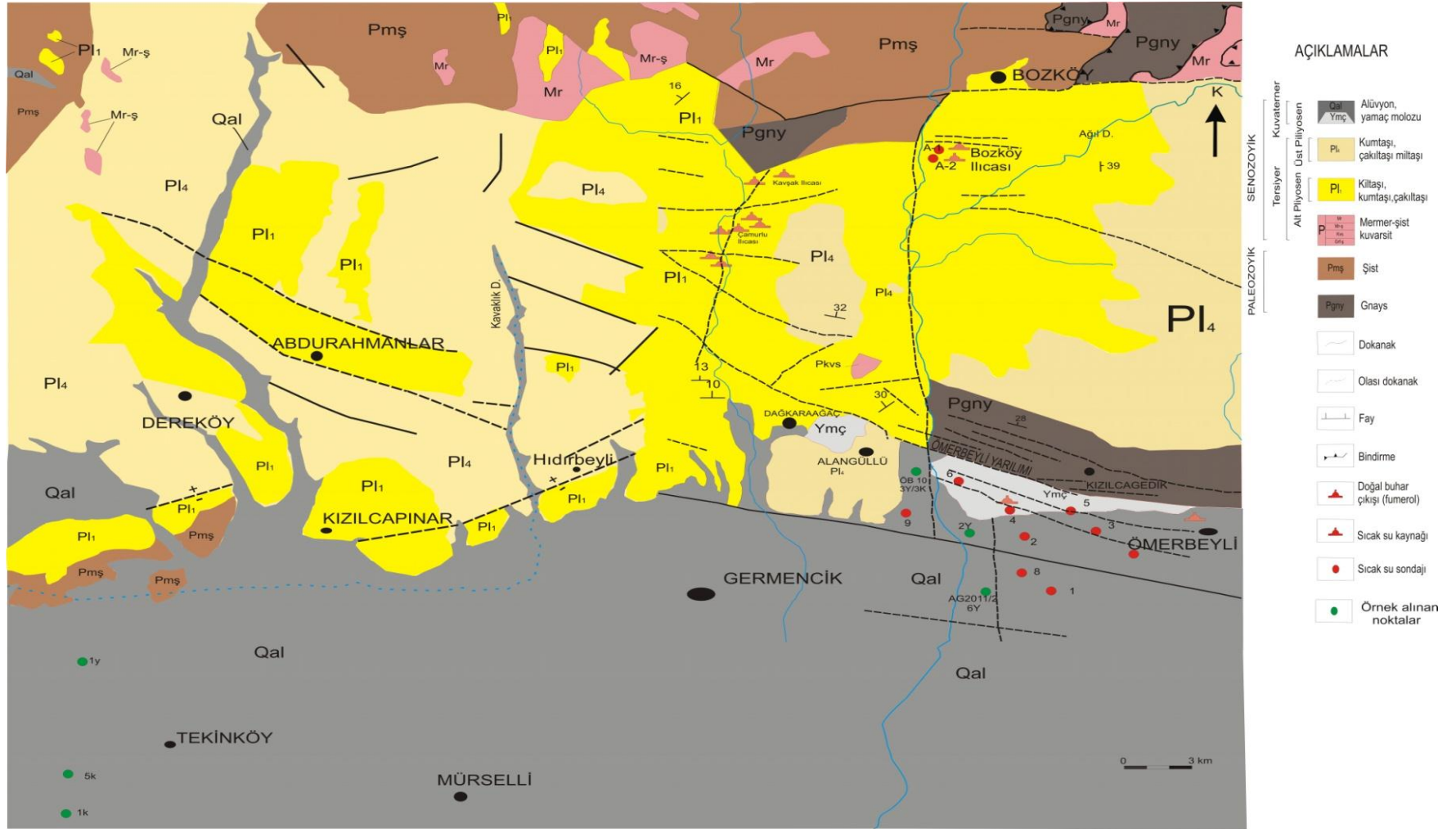
Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi(l/s)	Üretim Şekli
ÖB-1	1982	1000	203	Gayzer tipi	Gayzer tipi
ÖB-2	1982	975,5	231	25	A(4,5-7 kg/cm ²)
ÖB-3	1983	1196,7	230	65	A(13-15 kg/cm ²)
ÖB-4	1984	285	213	180-100	A(15 kg/cm ²)
ÖB-5	1984	1302	221	65	A(6 bar)
ÖB-6	1984	1100	221	140	A(15bar)
ÖB-7	1985	2398	203	65	A(2,8 kg/cm ²)
ÖB-8	1986	200	219,8	120	A(5,5 kg/cm ²)
ÖB-9	1986	1464,7	223,8	145	A(7 kg/cm ²)

İnceleme alanındaki sıcak sular jeotermal alanların çoğunda olduğu gibi meteorik suların derinlere süzülerek, ısınması ve genç faylara bağlı olarak yüzeylenmesi şeklinde açıklanabilen devirli sistemdedir. Yüzeyden itibaren Neojen yaşlı çakıl taşları sistemin birinci haznesini, gnays ve kuvars-şist gibi kırıklı kayalar ile karstik mermerler ise ikinci haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kiltası ve çamurtaşı gibi geçirimsiz kayalar da örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşmış mağma sistemin ısı kaynağını oluşturur. İnceleme alanındaki sıcak sularda yapılan izotop analiz sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde kısaca yüksek entalpili, meteorik kökenli (çok az miktarda mağmatik bileşen içerebilen)

yaşlı sular (trityum içermediğinden en az 50 yıllık) olarak yorumlanabilir (Filiz ve diğ.,1999), (Tablo 4.3).

Tablo 4.3 İnceleme alanındaki bazı sıcak suların ^{18}O , $^2\text{H}=\text{D}$ ve $^3\text{H}=\text{T}$ izotop analizleri (Filiz ve diğ.,1999 çalışması kullanılmıştır.)

Örnek Adı	Trityum(TU)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}=\text{D}(\text{‰})$	Örnekleme Tarihi	Kaynak
Bozköy Ilıcası	< 4	-5,95		1980	Filiz,1982
Bozköy Ilıcası		-3,03	-39	1982	Union Oil,1983
ÖB-1 Kuyusu		-1,01	-48	1982	Union Oil,1983
ÖB-6 Kuyusu	<1	-1,3	-33	?	Correia vd,1990
ÖB-9 Kuyusu	<1	-2	-38,4	?	Correia vd,1990
ÖB-9 Kuyusu	-	-2,6	-41,4	?	Correia vd,1990



Şekil 4.2 İnceleme alanın jeolojisi haritası ve su noktalarının yeri (Şimşek, 1984 ten değiştirilerek alınmıştır.)

BÖLÜM BEŞ

HİDROJEOKİMYA

5.1 Temel Hidrojeokimyasal Hesaplamalar

Yeraltının çeşitli derinliklerinde bulunan sular, buradaki değişik bileşimli kütlelerle temas halindedir. Bu kütleler suda eriyebilme derecelerine göre az ya da çok oranda erimiş maddeyi yeraltı sularına karıştırır. Erimiş maddelerin miktarı, yeraltı sularının kütlelere değme süresine, suyun hızına, sıcaklığına, kütlelerin cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir. Diğer taraftan atmosferden aşağı inerken içerisine erimiş halde kimyasal maddeleri alan yağmur suları, yeraltına süzülme sırasında bunların önemli kısmını, beraberlerinde yeraltı sularına taşırlar. Böylelikle yeraltı sularında çeşitli kaynaklardan gelen kimyasal maddeler bulunur. Bu yüzden yeraltı sularındaki erimiş madde miktarı genellikle yüzey sularındakilerden fazladır. Bu maddelerin belirli sınırları aşması halinde, yeraltı sularının kullanılma alanları da kısıtlanır. Ayrıca bu suların pH, sertlik ve elektriksel geçirgenliği gibi diğer kimyasal özellikleri incelenerek yeraltı sularının kimyasal yönden sınıflandırılması yapılır (Erguvanlı ve diğ., 1973).

İnceleme alanında belirlenen sıcak ve soğuk suların kimyasal analizleri hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir (Ek 1). Yapılan genel hidrojeokimyasal değerlendirmelerde birden fazla su noktaları için mevsimsel değerler diğer su noktaları için de örnekleme tarihindeki değerler kullanılmıştır. Bu şekilde suların kimyasal özellikleri her bir su noktası ayrı ayrı tablolarda sunulmuştur (Ek 1). Tabloların oluşturulması için gerekli parametreler ve termodinamik denge sabitleri (Helgeson vd., 1981, Ford and Williams 1989, Şahinci 1991, Fetter 1994) den derlenerek alınmış ve aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bu tablolardaki hidrojeokimyasal hesaplamalar karşılaştırılabilirliği açısından 25°C ve 1 atm basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içinde 12 adet kuyudan yaz ve kış dönemi olmak üzere örnekleme yapılmış analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Aydın –Germencik- AG-2011/2 ve Aydın-Çiftlik Ac-1 kuyularının analiz sonuçları Mta’ dan temin edilmiştir. İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk yeraltı sularının

iyon derişimleri suyun kökeni, akifer sistemleri, karışım oranları hakkında bilgi verebilmektedir. Bu nedenle, su örneklerinin başlıca iyonlarının en yüksek ve en düşük değerleri ile ortalama ve standart sapma değerleri verilerek irdelenmiştir. Hesaplamalar yapılarak elde edilen değerler tablo 5.1 ve 5.2' de sunulmuştur. Tüm kuyu ve kaynakların yerleri şekil 4.2' deki jeoloji haritası üzerine işlenmiş ve kimyasal özellikleri EK 1' deki tablolarda verilmiştir. Bu tablolarda yapılmış olan kimyasal hesaplamalar ve özellikleri ile ilgili bazı simge ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Na^+ = Sodyum, K^+ = Potasyum, Ca^{2+} = Kalsiyum, Mg^{2+} = Magnezyum, Cl^- = Klorür, CO_3^{2-} = Karbonat, HCO_3^- = Bikarbonat, SO_4^{2-} = Sülfat,

mg/l = miligram/litre, meq/l = miliekiyalan/litre,

C = Molarite olarak derişim, $.5CZ^2$ = İyonların iyonlaşma gücü,

F = İyon etkinlik katsayıları, AC = İyon etkinlikleri, EC = Elektriksel iletkenlik ($\mu mho/cm$).

$Fo = 62 rNa^+ + 78 rK^+$ (r = meq/l) suların kaynarken köpürme katsayısı (Şahinci, 1991)

$Fo < 60$ ise kaynarken köpürmeyen su, $60 < Fo < 200$ ise kaynarken köpüren su ve $Fo > 200$ ise kaynarken çok köpüren su özelliği göstermektedir.

$e = [(\sum \text{Katyon} - \sum \text{Anyon}) / \sum \text{iyon}] \times 100$ (meq/l) Hata yüzdesi

Hata yüzdesinin genellikle % 5' den düşük olması istenir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki %5' den yüksek hata suda tahlil edilmemiş iyon türlerinden bazılarının yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmalıdır (Ford and Williams, 1989).

$SAR = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2)^{0.5}$ Sulama amaçlı sudaki sodyum tehlikesi

Sertlik (Fr) = $5 \times (rCa^{2+} + rMg^{2+})$ Toplam Fransız Sertliği

En çok gözlenen çökel ürünleri olması nedeniyle yapılan kalsit, dolomit ve jips doygunluk indeksi hesaplamalarının yorumunda SI (Doygunluk İndeksi) 0' dan küçükse mineral çözünür, büyükse çökelir ve bu değer 0 ise su ilgili minerale doygundur. Suları birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve diyagramlara işlenmesindeki hesaplamaları kolaylaştırmak için hesaplanan iyonik oranlar, anyonlarla katyonların ayrı ayrı % meq/l ve % mg/l değerleri ile AIH

(Uluslar Arası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasına göre belirlenen hidrokimyasal fasiyes tipi diğer hidrokimyasal değerlendirmeler arasındadır. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlarındaki iz düşüm yerlerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre su da çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/l cinsinden % 50' den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirlemektedir. Eğer iyonlarda hiçbirisi % 50 yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. AIH sınıflamasında ise suda çözünmüş başlıca iyonların anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine meq/l olarak % 20 den fazla çözünmüş bulunan iyonlar su tipini belirtmektedir (Başkan ve diğer.,1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına göre uyarlanarak hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki her bir su noktasına ait hidrokimyasal fasiyes tipleri tabloda 5.8 de belirtilmiştir.

5.2 İnceleme Alanındaki Sulardaki Çözünmüş Başlıca İyonlar

5.2.1 Kalsiyum (Ca ⁺⁺)

Kalsiyum yeraltı sularına kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, flüorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun çözünmesi ile karışabilir (Erguvanlı ve diğer., 1973). Hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarlarda bulunur. Suyun pH değeri suyun içerisindeki kalsiyum iyonlarının miktarlarını ve çökelimini doğrudan etkiler. pH değeri artarsa CO₃ / HCO₃ oranı büyür, ve kalsit çökelimi gözlenir. Soğuk yeraltı sularında kalsiyum değeri 10-100 mg/L arasındadır. Kalsiyum, sodyum değeri yüzdesini azalttığından sulama sularında önemli olan sodyum yüzdesi değerini düşürür. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması kalsit çökelimine neden olur. Bu nedenle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde kalsiyum içeriği genelde düşük değerlerdedir (Yurttaş, 2008). Çalışma alanındaki yaz ve kış dönemi olarak 2 dönemde örnekleme yapılmıştır. Yaz dönemi alınan örneklerdeki kalsiyum miktarı oranı, 28,50 mg/L'dir. Kış dönemi örneklerde alınan kalsiyum miktarı 25,69 mg/l dir.

5.2.2 *Magnezyum (Mg⁺⁺)*

Yeraltı sularına magnezyum iyonu dolomit, evaporit, magmatik kaya minerallerinden (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın çözünmesi ile karışır. Yeraltı sularında magnezyum değeri 1-40 mg/L arasında değişmektedir ve genelde kalsiyum miktarından daha azdır. Ultrabazik kayalardan gelen sularda ise magnezyum iyonu değeri kalsiyum iyonu değerinden daha fazla olabilmektedir. Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğurulması nedeniyle magnezyum miktarı çok düşük değerlere inebilmektedir (0,1 mg/L gibi). Sıcak sulardaki daha yüksek magnezyum içerikleri ise sıcak suların soğuk sularla karışımından veya yan kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır (Yurttaş, 2008). Yaz dönemi alınan su örneklerdeki magnezyum miktarı oranı, 6,88 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan magnezyum miktarı 28,52 mg/l dir. İnceleme alanındaki sıcak sularda Mg miktarı Ca miktarına göre daha azdır.

Bu durum iyon değişiminden kaynaklanmaktadır. Kil mineralleri Ca⁺⁺ iyonlarını soğururken, suya Na⁺ iyonlarını bırakırlar ve her bir Ca⁺⁺ iyonu yerine iki Na⁺ iyonu suya geçer ve sudaki çözünmüş Na miktarı artar (Şahinci, 1991a). Buna bağlı olarak sıcak sularda Na⁺ miktarlarında bir artış olurken, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ değerleri düşmektedir.

5.2.3 *Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺)*

Sodyum yeraltı sularına plajiyoklasların, evaporitik minerallerin (halit vb.) ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Ayrıca kıyı akiferlerin de yeraltı sularına deniz suyundan sodyum ve potasyum karışmaktadır. Sıcak sularda Na ve K içerikleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen mineral su dengesine bağlıdır. Bu oran Na/K jeotermometrelerinin geliştirilmesinde temel olmaktadır. Jeotermal sistemlerde başlıca katyonlardan biridir ve miktarı 200-2000 mg/L arasında değişir. Düşük Na/K oranı yüzeye hızlı bir şekilde ulaşan sıcak sularda gözlenir. Yüksek Na/K oranı ise

yatay bir hareketin yüzeye yakın kesimlerindeki reaksiyonların ve kondaktif soğumanın etkisindedir(Yurttaş, 2008). Yaz dönemi alınan su örneklerdeki sodyum miktarı oranı, 1581,8 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan sodyum miktarı 1557,5 mg/l dir. Yaz dönemi alınan su örneklerdeki potasyum miktarı oranı, 172,11 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan potasyum miktarı 99,7 mg/l dir.

5.2.4 Klorür (Cl^-)

Yeraltı sularındaki klorür deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyu ile atmosferden gelmektedir. Genel olarak magmatik kayalardan doğan sulara taşınan klorür önemsizdir. Klorür tuzlarının büyük kaynağı evaporitlerdir. Deniz suları da yeraltı sularına klorür veren en büyük kaynaklardan biridir. Yağmur sularında klorür miktarı 1-25 mg/L olup bu değer deniz sularında 20000 mg/L ye ulaşır. Deniz suyu karışımılı sıcak ve mineralli sular dışındaki sulardaki yüksek klorür içeriği sıcak akışkanın derinden geldiğini göstermektedir. Düşük klorür oranı ise bu sulara soğuk yeraltı suları karışmasından ileri gelmektedir(Yurttaş, 2008). Çalışma alanındaki Yaz dönemi alınan su örneklerdeki klorür miktarı oranı, 1581,8 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan klorür miktarı 1429,8 mg/l dir.

5.2.5 Bikarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaların erimesinden oluşmaktadır (Ergüvanlı ve diğ., 1973). Doğal sulardaki bikarbonat miktarı suyun pH ve CO_2 değerine bağlıdır. pH'ın 6-10 arasında olması durumunda bikarbonat baskın iyon olup daha düşük pH değerlerinde karbonik asit (H_2CO_3) egemen iyondur. Daha yüksek pH değerlerinde ise karbonat baskın olarak gözlenir. Çalışma alanındaki Yaz dönemi alınan su örneklerdeki bikarbonat miktarı oranı, 1142,5 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan bikarbonat miktarı 2478 mg/l dir.

5.2.6 Sülfat (SO_4^{2-})

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritlerden ileri gelmektedir. İçme sularındaki sülfat miktarı 25-250 mg/L arasındadır. Derin kökenli jeotermal sularda sülfat içerikleri genelde düşük olup 50 mg/L'den azdır. Hidrojen Sülfürün oksidasyonu sonucunda artış gözlemlenmektedir(Yurttaş, 2008). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerdeki sülfat miktarı oranı, 31,7 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan sülfat miktarı 51,1 mg/l dir.

5.2.7 Silisyum (Si)

Silis anlamı SiO_2 'dir ve doğal sularda silisyumun (Si) yerine kullanılır ancak SiO_2 hidratlaşmış halde H_4SiO_4 veya $Si(OH)_4$ şeklindedir. Doğal sularda çözülmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan gelmektedir. Doğal sularda silis miktarı, genellikle 1–30 mg/l arasındadır. Yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yeraltı sularında ise 17 mg/l 'dir. Silisin çözünürlüğünü etkileyen bir diğer neden pH'dır. Silis asit ortamda çok az çözünür. pH'ın yükselmesi ile silisin çözünürlüğü artar, pH 9'un üzerinde ise silis önemli miktarda çözünür. Si konsantrasyonu, deniz suyunda 0.0017 mg/l, nehir suyunda 0.002 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında <0.001–0.05 mg/l ve jeotermal sularda ise >12 mg/l'dir (Nicholson, 1993) Çalışma alanındaki Yaz dönemi alınan su örneklerdeki Si miktarı oranı, 162,1 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan Si miktarı 124,2 mg/l dir.

5.3 İnceleme Alanındaki Sulardaki Çözülmüş İkincil İyonlar

Eser element tayinine yönelik kimyasal analizlerde suların Al, Fe, Li, B, Zn, Cd, Cr, Sb, Mn ve Pb içerikleri saptanmıştır. Tablo 5.3 ve tablo 5.4 'de İnceleme alanında yer alan yeraltı sularına ait eser element değerleri verilmiştir. Başlıca iyonlarda olduğu gibi yeraltı sularının ikincil iyonları da suların kökeni, hidrojeokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektedir. TS 266 (1997) standartları, World Health Organisation (WHO)Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma suyu standartları ve kaplıca yönetmeliği tablo 5.5' sunulmuştur.

Tablo 5.1 İnceleme alanında (26.06.2010) yaz döneminde örneklenen sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerleri (mg/L)

	Minumun	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
K⁺	42,2	358	172,1	102,73
Mg⁺⁺	0,4	38,80	6,88	15,63
Ca⁺⁺	1,82	152,60	28,50	60,8
Na⁺	444,3	2082	1581,8	576,7
Cl⁻	572	2255	1581,4	556,2
SO₄⁻	29,7	41,7	31,7	4,89
HCO₃⁻	628,8	1658,4	1142,5	450,5
Si	20,6	269,7	191,6	88,4
pH	6,84	8,95	7,97	0,83

Tablo 5.2 İnceleme alanında (05.01.2011) kış döneminde örneklenen sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerleri (mg/L)

	Minumun	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
K⁺	15,84	162	99,7	63,6
Mg⁺⁺	0,9	132,8	28,52	52,10
Ca⁺⁺	1,9	107,8	25,69	41,2
Na⁺	199,3	3200,7	1557,3	1025,3
Cl⁻	54,30	3250	1429,8	1168,9
SO₄⁻	14,7	183	51,1	64,87
HCO₃⁻	793	6538	2478	2039,2
Si	14,65	310,3	124,3	129,3
pH	6,97	9,05	7,93	0,8

Tablo 5.3 İnceleme alanındaki yaz döneminde alınan örneklerdeki sulara bulunan ikincil (eser) element miktarları (mg/l).

Ör no:	Tarih	B	Li	Al	Sb	Zn	Br	Cr	Cd	Fe	Mn	Pb	Cu
1Y	24.06.2010	4,7	1,3	0,2	0,019	0,013	2,1	0,004	0,0005	0,099	0,1	0,001	0,003
2Y	24.06.2010	86,1	11,4	0,4	0,69	0,01	6,2	0,004	0,0005	0,099	0,0015	0,0009	0,002
3Y	24.06.2010	86,2	9,4	0,3	0,94	0,014	6,5	0,008	0,0005	0,099	0,0053	0,001	0,001
4Y	24.06.2010	83,8	10,8	0,4	0,79	0,027	6,1	0,004	0,0005	0,099	0,0018	0,004	0,002
5y	24.06.2010	77	10,1	0,3	0,06	0,078	5,6	0,004	0,0005	0,099	0,002	0,001	0,001
6Y	22.05.2011	66	11	-	-	-	8,5	-	-	0,89	0,04	-	-

Tablo5.4 İnceleme alanındaki kış döneminde alınan örneklerdeki sulara bulunan ikincil(eser) element miktarları (mg/l)

Ör no:	Tarih	B	Li	Al	Sb	Zn	Br	Cr	Cd	Fe	Mn	Pb	Cu
1K	05.01.2011	3,3	0,12	0,5	0,009	0,04	1	0,002	0,00004	0,45	0,16	0,0019	0,007
2K	05.01.2011	70	0,99	0,59	1,9	0,29	-	0,29	0,69	25,7	0,15	3,9	0,079
3K	05.01.2011	69	9,1	0,66	1,9	0,29	1,5	0,29	0,69	9,9	0,0049	3,9	0,079
4K	05.01.2011	73	9,2	0,84	1,9	0,29	1,8	0,29	0,69	9,9	0,0049	3,9	0,079
5K	05.01.2011	46,3	7,04	0,67	1,9	0,29	-	0,29	0,69	9,9	0,0049	3,9	0,079
6K	03.09.2008	2,8	1,3	-	-	-	0,17	-	-	-	-	-	-

Tablo 5.5 TS 266 (1997) standartları, World Health Organisation (WHO) Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma suyu standartları ve kaplıca yönetmeliği

TS 266		En düşük değer	En yüksek değer
Zehirli Maddeler	Kurşun	-	0.05 mg/l
	Selenyum	-	0.01 mg/l
	Arsenik	-	0.05 mg/l
	Krom	-	0.05 mg/l
	Siyanür	-	0.2 mg/l
	Kadmiyum	-	0.01 mg/l
Sağlığa etki eden maddeler	Florür (F)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
	Nitrat (NO ₃)	-	45 mg/l
İçilebilme özelliğine göre maddeler	Renk	5 birim	50 birim
	Bulanıklık	5 birim	25 birim
	Koku ve tat	Kokusuz normal	Kokusuz normal
	Buharlaştırma kalıntısı	500 mg/l	2500 mg/l
	Demir(Fe)	0.3 mg/l	1 mg/l
	Mangan(Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/
	Bakır(Cu)	1 mg/l	1.5 mg/l
	Çinko(Zn)	5 mg/l	15 mg/l
	Kalsiyum(Ca)	75 mg/l	200 mg/l
	Magnezyum(Mg)	50 mg/l	150 mg/
	Sülfat(SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
	Klorür(Cl)	200 mg/l	600 mg/l
	pH	7-8,5	6.5 - 9.2
	Fenolik Maddeler	-	0.002 mg/l
	Kirlenmeyi Belirten Maddeler	Alkali Benzin Sülfonat	0.5 mg/l
Toplam Organik Madde		3.5 mg/l	-

Tablo 5.5 (devamı) World Health Organisation (WHO) Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma Suyu Standartları

WHO		Uluslararası		Avrupa
Fiziksel ve Kimyasal Parametreler		Standart	Hedef	Standart
Bulanıklık	FTU	25	5	-
Renk		50	5	-
Koku ve Tat		Hissedilmeyecek		-
Hidrojen Sülfür	mg/l	-	-	0.05
Çinko	mg/l	15	5	5
Bakır	mg/l	1.5	0.05	0.05
Demir	mg/l	1	0.1	0.1
Mangan	mg/l	0.5	0.05	0.05
Amonyum	mg/l	-	-	600
Klorür	mg/l	600	200	-
Kalsiyum	mg/l	200	75	250
Sülfat	mg/l	400	200	0.001
Fenol Bileşikleri	mg/l	0.002	0.001	-
pH	mg/l	6.5-9.2	7-8,5	
Toksit Maddeler				
Arsenik	mg/l	0.05	-	0.05
Baryum	mg/l	-	-	-
Kadmiyum	mg/l	0.01	-	0.01
Krom	mg/l	-	-	0.05
Kurşun	mg/l	0.1	-	0.1
Siyanür	mg/l	0.05	-	0.05
Magnezyum	mg/l	125	-	125
Civa	mg/l	0.001	-	-
Nitrat	mg/l	45	-	100
Selenyum	mg/l	0.01	-	0.01
Gümüş	mg/l	-	-	-

Tablo 5.5 (devamı) Kaplıca yönetmeliği

Kaplıca Yönetmeliği	
Kimyasal Özellikleri	
Katyonlar	
Sodyum	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Potasyum	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Amonyum	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu***
Magnezyum	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Kalsiyum	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Mangan	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Demir	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Anyonlar	
Fluorür	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu*
Klorür	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Bromür	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
İyodür	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Nitrit	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu(0.05 mg/L)***
Nitrat	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu(45 mg/L)***
Sülfat	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Hidrojenfosfat	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Bikarbonat	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Hidrojen Sülfür	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Fosfat	mg/L ve mEq /L konsantrasyonu
Eser Elementler	
Arsenik	mg/L
Kadmiyum	mg/L (0,003 mg/L)**
Krom	mg/L (0,05 mg/L)**
Civa	mg/L (0,001 mg/L)**
Nikel	mg/L (0,05 mg/L)**
Kurşun	mg/L (0,01 mg/L)**
Antimon	mg/L (0,01mg/L)**
Selenyum	mg/L (0,005 mg/L)**
Baryum	mg/L
Bakır	mg/L
Çinko	mg/L
Kobalt	mg/L****
Molibden	mg/L****
Vanadyum	mg/L****
Kalay	mg/L****
Gümüş	mg/L****
Alüminyum	0.2 mh/L
Kirlilik Belirten Zehirli Maddeler	
Siyanid	mg/L (0.01 mg/L)**

*Florür konsantrasyonunun 1 mg/L'nin üzerinde olması halinde kullanıcılar tarafından görülecek yerlerde suyun florür içerdiği ilan edilmeli, 2 mg/L'nin üzerinde olması halinde 0 -7 yaş grubu çocuklar için içilerek kullanılmasının uygun olmadığı ilan edilmelidir.

**Belirtilen değerlerin aşılması halinde bu suların içme ve inhalasyon kürlerinde kullanılması engellenmelidir.

***Uyarı değeridir. Kirlilik belirten zehirli maddeler ile mikrobiyolojik ölçüm sonuçları da göz önüne alınarak tıbbi değerlendirmesi yapılır.

**** Kaynağın endüstriyel bölgelerde bulunması halinde analizi yapılacaktır.

5.3.1 Demir (Fe)

Demir özellikle, piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit ve granat gibi demirli minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Karbonlu kayalardan gelen sularla fazla miktarlarda demir iyonları izlenebilir. Kireçtaşı ve dolomitten gelen sular pH'ı 7'den fazla olduğundan çok fazla demir iyonları içerir. Sudaki tuzluluk ve asitlik arttıkça demir iyonlarının miktarı da artar. Çalışma alanında örneklenen soğuk suların demir miktarlarının oranı, 3,4 mg/L'dir. İçme ve kullanma suları (TS 266) standartlarına göre suda bulunan demir iyonu değerinin 0,05-0,2 arasında olması önerilir. Tablo 5.5 'de içme ve kullanma sularına ait TS 266 standartları sunulmuştur (Yurttaş, 2008).

5.3.2 Bor (B)

Bor suyun pH'ına bağlı olarak, borun bulunuş şekli değişir. Asitli sularla (pH 6'dan az) ortoborik asit egemendir. Nötr ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sularla tetrapenta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar fazla, geri kalan boratlar suda çok az çözünürler. Süperjenlerde (tuz göllerinde), boratların çökmesi kalsiyum ve magnezyum etkisindedir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor, hidrotermal ortamlarda hızlı, süperjenlerde (tuz göllerinde) yavaş göç eder. Borik asit, sıcak sularla çok, soğuk sularla az çözünür. Derin yeraltı sularında yüzlerce mg/L, bazı durumlarda 1 mg/L den fazla bor bulunabilir. Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığılır, özellikle, sodalı

(alkali) ortamlarda göçü hızlıdır. Çünkü, borun çökmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyum, sodalı sularda çok az bulunur. Kurak iklimlerdeki akarsularda bor miktarı, nemli iklimlere oranla daha fazladır. Yağsız yörelerdeki sularda bor 1E-5-9E-5 g/L arasındadır (Yurttaş, 2008). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerdeki bor miktarı oranı, 67,2 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan bor miktarı 44,1mg/l dir. Bor miktarının sıcak sularda fazla olmasının nedeni de sıcak sularda borik asit çözünümünün hızlı olmasıdır.

5.3.3 Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yer kabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (%8,6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. Alüminyum pH=5-9 arasında sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0,005-0,3 ppm arasında alüminyum izlenir, asit sularda, bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökenine ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerdeki alüminyum miktarı oranı, 0,26 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan alüminyum miktarı 0,54mg/l dir.

5.3.4 Lityum (Li)

Lityum maden ve kaplıca sularında genelde az bulunur. Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerdeki lityum miktarı oranı 9 mg/L'dir. Kış dönemi su örneklerinde alınan lityum miktarı 4,6 mg/l dir. Lityum'un yerin derinliklerinden yüzeye doğru derişim miktarının yükseliş beliren değildir ve fazla bulunması zehirleyici etki yaptığından fazla bulunması istenmez.

5.3.5 Mangan (Mn ²⁺)

Mangan (Mn²⁺) kimyasal davranışları demire benzer ve minerallerin yapısında çoğunlukla demir ile beraber bulunur. Yer kabuğunda 1000 ppm kadar bulunan

manganezin 171 minerali bulunmakla beraber en önemli mineralleri hausmanit, braunit, pyrolusit, manganit, vernadit, pisilomelan, rodokrozit, manganokalsit ve laurittir. Manganezin çözünürlüğünü geniş ölçüde Eh-pH etkiler. Asidik ve hafif alkali sulara Mn^{+2} , alkali ortamlarda Mn^{+4} iyonu şeklinde bulunur. Yeraltı sularında 200 mg/l'den az bulunur (Şahinci, 1991). Yüksek mangan içeren yeraltı sularının çoğu termal kaynaklıdır (Hem, 1985). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki mangan miktarı 0,0053-0,1 mg/L' arasında, kış dönemi su örneklerinde alınan mangan miktarı 0,049-0,15 mg/l arasında değişmektedir. TS266 ve who içme suyu standartlarına mangan miktarı uygundur.

5.3.6 Brom (Br^-)

Deniz suları 67 mg/l ve doğal tuzlu sular 100–1000 mg/l Br^- içerir. Jeotermal sulara Br^- genel olarak düşüktür. Ancak jeotermal sulara deniz suyu karışımı olduğunda Br^- oranı yükselir. Br/Cl ve Br/I oranı sulara deniz suyu karışımı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan iyi bir göstergedir (Nicholson, 1993). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki brom miktarı 2,1 - 8,5 mg/L' arasında, kış dönemi su örneklerinde alınan brom miktarı 0,17-1,8 mg/l arasında değişmektedir.

5.3.7 Bakır (Cu)

Yerkabuğundaki kayalarda nabit bakır, bakır sülfürler (kalkopirit, kalkozin) ve karbonat mineralleri (malahit, azurit) halinde bulunur. Bununla birlikte bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan sulardaki bakır miktarının çok az kısmı doğal kökenlidir. (Hem, 1985). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerinde ki bakır miktarı 0,001-0,003 mg/L' arasında, Kış dönemi su örneklerinde alınan bakır miktarı 0,007-0,0079 mg/l arasında değişmektedir. Tablo 5.5' deki sınırlara göre Cu iyonlarının içme suları için 1 – 1.5 mg/l arasında olması tavsiye edilir. İçme suyu standartlarına uygundur.

5.3.8 Çinko (Zn)

Kıtasal kabukta ortalama 80 ppm kadar çinko bulunur. En önemli minerali çinkoblend ve simitsonit'tir. İlksel silikat ve oksitlerin yapısında izlenen çinko, bu minerallerin kimyasal bozunumu ile suda iyonlaşır. Çinko sülfidlerin kimyasal bozunumu oksitlenme tarafından kontrol edilir. Sülfidlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları demir çelik sanayi ve diğer endüstriyel artıkların, kömür ve kül tozlarının yüzey sularına karışması sonucu yüzey ve yeraltı sularında çinko konsantrasyonunun artmasına sebep olur (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki çinko miktarı 0,01-0,078 mg/L' arasında, kış dönemi su örneklerinde alınan çinko miktarı 0,29-0,04 mg/l arasında değişmektedir. İçme sularında Zn değerinin 5- 15 mg/l dolayında olması istenir. İnceleme alanında bu değerler yeraltı sularında 0.29 mg/l'dan küçüktür.

5.3.9 Kadmiyum (Cd)

Doğada kadmiyum yalnızca bileşikler halinde bulunur ve bazı durumlarda diğer bir kısım elementlerin yerini alır. Kadmiyum mineralleri genellikle çinko yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyonları tarafından oluşturulur. Kadmiyumun kimyası çinkoya benzer bu nedenle çoğu kez sfalerit kadmiyum içerir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki kadmiyum miktarı 0,0005 mg/L, kış dönemi su örneklerinde alınan kadmiyum miktarı 0,00004 mg/l dır. İnceleme alanında kadmiyum yok denecek kadar az miktarda bulunur.

5.3.10 Kurşun (Pb)

Pb^{+2} ve Pb^{+4} değerlikli olup en sık rastlanan ve duyarlı olan Pb^{+2} 'dir. Başlıca minerali galen olup doğada metal olarak bulunabilir. Magmatik ve metamorfik kayalarda özellikle potasyumlu feldspat ve mikalarda daha fazla bulunur. Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki kurşun miktarı 0,0009-0,001 mg/L arasında, kış dönemi su örneklerinde alınan kurşun miktarı 0,0019-3,9 mg/l arasında

değişmektedir. Tablo 5.5 'deki standartlara göre içme ve kullanma sularında Pb için tavsiye edilen değer 0, maksimum kullanılabilir değer ise 0,05 mg/l'dir.

5.3.11 Antimon (Sb)

Birçok minerali hidrotermal damarlarda ve bunların oksitleşme zonlarında bulunur. Arsenikle her ortamda karışarak arsenik-antimon alaşımlarını oluştururlar. Toksik bir element olup içme sularında istenmeyen elementlerdendir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki yaz dönemi alınan su örneklerindeki antimon miktarı 0,019-0,94 mg/L arasında, kış dönemi su örneklerinde alınan antimon miktarı 0,009-1,1 mg/l arasında değişmektedir.

5.4 Suların Fiziksel Özellikleri

Bölgede, aynı jeotermal sahada veya aynı jeotermal akifer de açılmış kuyuların tümünden değil, örnekleme işleminin mümkün olduğu bir veya bir kaç kuyudan örnekleme gerçekleştirilmiştir. 2010 ve 2011 yılları arasında dönemsel yapılan arazi çalışmaları ile derlenen su noktalarına ait UTM koordinatları tablo 5.6 da sunulmuştur. Örnekleme çalışmalarında pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) gibi fiziksel parametre ölçümleri su noktaları başında yapılmıştır.

5.4.1 Suların Sıcaklık (°C) Değerleri

Su sıcaklığı birçok parametreye bağlı olarak değişebilir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonunca, sıcaklığı 20 °C'den fazla olan suları "sıcak su" olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanındaki suların sıcaklıkları 16 °C ile 239,5 °C arasında değişmektedir. Örneklerden Naipli Çayı(1Y), Shell petrol firması(1K) ve Bm şirketi(5K)' dan alınan örnek dışındaki tüm sular sıcak su grubuna girmektedir(Tablo 5.8).

Tablo 5.6 Çalışma alanında yer alan sıcak ve mineralli su noktalarının UTM koordinatları (UTM ED1950, 35. Dilim).

Jeotermal Saha/Alan	Örnek Noktası	Örnek Türü	Boylam(D)	Enlem(K)	Kot(m)
Naipli Çayı	1Y	Kaynak	544635	4190884	38
Ömerbeyli/AG22	2Y	Kuyu	555285	4192540	59
Ömerbeyli/ÖB-10	3Y	Kuyu	555639	4193634	73
Ömerbeyli/düşük P çıkışı	4Y	Kuyu	-	-	-
Ömerbeyli/düşük P girişi	5Y	Kuyu	-	-	-
Ömerbeyli/AG-2011	6Y	Kuyu	557190	4191375	46
Shell petrol firması	1K	Kaynak	544894	4187521	25
Ömerbeyli/AG22 enjksyon	2K	Kuyu	555285	4192540	59
Ömerbeyli/ÖB-10	3K	Kuyu	555639	4193634	73
Ömerbeyli/düşük P çıkışı	4K	Kuyu	-	-	-
BM şirketi	5K	Kaynak	545036	4188477	59
Ac-1	6K	Kuyu	570835	4191927	133

5.4.2 Suların Sertliği

Suların sertliği su içinde çözünmüş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum bileşiklerinden meydana gelmektedir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatların neden olduğu sertlik geçici sertliktir ve kaynatılarak giderilebilmektedir. Kalsiyum ve magnezyumun sülfat, klorür ve nitrat gibi diğer tuzlarından ileri gelen sertlik ise kaynatılarak giderilmez ve kalıcı sertlik adını alır. Suların sertliğinin belirlenmesi için Alman, İngiliz, Fransız sertliği gibi çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada yöredeki suların sertlikleri Fransız sertliği sınıflamasına göre belirlenmiştir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 \times (rCa^{++} + rMg^{++}) \quad (r = \text{mek/L})$$

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların sertlik değerleri, Naipli Çayı(1Y) ve Shell Petrol firmasından(1K) sular çok sert diğer sular çok yumuşak sular sınıfına girmektedir(Tablo 5.8).

Tablo 5.7 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması

Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı
0,0-7,2	Çok Yumuşak
7,2-14,5	Yumuşak
14,4-21,5	Az Sert
21,5-32,5	Oldukça Sert
32,5-54	Sert
54<	Çok Sert

5.4.3 Suların pH Değerleri

Su içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu 10 tabanına göre negatif logaritması pH olarak tanımlanmaktadır. pH değeri 7'nin altında olan sular asit özellik kazanırken pH değeri 7'nin üstündeki sular ise bazik karakter kazanırlar (Erguvanlı ve diğ., 1973). Soğuk yeraltı sularının pH değerleri 4-9 arasındadır. Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak değişiklik sunar. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olur. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993). Yöredeki suların pH değerleri genelde 6,84 ile 9,05 arasında değişmektedir (Tablo 5.8).

5.4.4 Suların Elektriksel İletkenlik (EC) Değerleri

Elektriksel iletkenlik cisimlerin elektriği iletme özelliği olup 1 cm³ suyun elektriksel iletkenliğine özgül elektriksel iletkenlik denir. Özgül elektriksel iletkenlik mikromho/cm olarak ifade edilir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. İnceleme alanındaki sulardan Naipli Çayı ve Shell petrol firmasından alınan suların EC değeri 2400 civarında olup şüpheli su sınıfına diğer suların EC değeri ise 3000 den fazla olup kullanılmaz su sınıfına girmektedir(Tablo 5.8).

Tablo 5.8 İnceleme alanında yer alan sıcak suların su analizleri (EC=elektriksel iletkenlik; SAR=sodyum adsorbsiyon oranı) (26.06.2010 tarihinde alınan örneklerle analiz sonuçlarıdır.)

Örnek No	Örnek Yeri	T	EC	pH	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃ ⁻	SO ₄	SAR	Tuzluluk	Fasiyes Tipi
		°C	µS/cm		mV	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%		
1Y	Naipli Çayı	26	2400	6,84	-	444	42,2	152,6	38,8	572	731	29,7	8,28	1,3	Na-Ca-Cl-HCO ₃ ⁻
2Y	AG22 /ÖB	23,7	6830	8,95	-112	1789	169,7	4,4	0,4	1681	628,8	29,7	218,6	4,2	Na-K-Cl
3Y	ÖB/10	16	6910	7,62	-34	1755,1	159,2	2,8	0,4	1807	1573	29,7	259,4	3,8	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
4Y	ÖB düşük P girişi	22,1	6850	8,61	-93	1791	164,9	4,8	0,4	1670	876,9	29,7	210,7	4,2	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
5Y	ÖB düşük P çıkışı	22,9	6230	7,34	-18	1629	138,7	4,6	0,4	1506	1658,4	29,7	195,2	3,8	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
6Y	AG2011/2 /ÖB	239,5	8790	8,5	-	2082	358	1,82	<1	2255	1387	41,7	426,6		Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻

Tablo 5.8' in devamı. İnceleme alanında yer alan sıcak suların su analizleri (EC=elektriksel iletkenlik; SAR=sodyum adsorbsiyon oranı) (05.01.2011 tarihinde alınan örnekleme analiz sonuçlarıdır.)

Örnek No	Örnek Yeri	T	EC	pH	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃ ⁻	SO ₄	SAR	Tuzluluk	Fasiyes Tipi
		°C	µS/cm		mV	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%		
1K	Shell petrol	23	2020	7.09	-7	199.3	15.8	107.8	132.8	240	793	183	3.01		Na-Ca-Mg-Cl
2K	ÖB	19.2	7330	8.5	-88	1737.2	159	4.3	1	1580	1806	30	197.2	6,4	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
3K	ÖB/10	16.5	7130	7.98	-57	1667.1	147	1.9	0.9	1805	1723	30	256.2	4	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
4K	ÖB/düşük P çıkışı	19.5	7439	9.05	-123	1772.1	162	3.6	0.9	1650	1976	27	217.9	4,2	Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻
5K	BM Şirketi	20	11230	6.97	-1	3200.7	59	26.1	27	3250	6538	14.7	105.1	3,9	Na-Mg-HCO ₃ ⁻
6K	AC-1 Çiftlik mevki	57.5	3210	8		769	55.8	10.4	8.4	54.3	2036	21.9	42.6		Na-K-HCO ₃ ⁻

Tablo 5.9 Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve diğ., 1973).

EC (mikromho/cm)	Sınıf
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılmaz

5.4.5 Eh (Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli) (mV)

Okside olmuş veya indirgenmiş şekilde bulunan herhangi bir maddenin, standart şartlar da hidrojene göre elektron çekimini ölçen bir elektrokimyasal ölçümdür. Negatif redoks potansiyeli kuvvetli bir indirgeyici ortamı, pozitif redoks potansiyeli kuvvetli bir oksitleyici ortamı belirtir (Tarcan, 2004). Alandaki örneklerin Eh değerleri -123mV ile 8,95 mV arasında değişmektedir (Tablo 5.8).

5.4.6 Radyoaktivite (Becquerel, Bq)

Atom çekirdeğinin, tanecikler veya elektromanyetik ışınlar yayarak kendiliğinden parçalanmasıdır, bir enerji türüdür. Arazide kayaçların radyoaktivite değerlerini belirlemek amacıyla taşınabilir bir radyoaktivite ölçüm cihaz kullanılır. En yüksek radyoaktiviteye sahip olan derinlik kayalarıdır (Tarcan, 2004).

5.4.7 Tuzluluk

Su içinde bulunan tuz miktarı suyun elektriği elektrik iletmesi ile doğrudan ilgilidir. Tuz miktarı arttıkça elektrik iletkenliği artar (Tarcan, 2004) (Tablo 5.8). Örneklerin tuzlulukları 1,3 ile 6,4 arasında değişmektedir.

5.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilirlik Özellikleri

Yöredeki yeraltı sularının içme ve kullanıma uygunluğu suların EC, SAR, Sodyum yüzdesi, Çözünmüş madde miktarı, köpürme katsayıları (Fo) ve bazı diyagramlar yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

$$\% rNa = [(rNa + rK) \times 100 / (rNa + rK + rCa + rMg)]$$

SAR = $rNa / [(rCa^{++} + rMg^{++}) / 2]^{0.5}$ bağıntısı ile bulunur. $r = \text{mek} / L$ ' dir. Tablo 5.10'daki gibi sınıflanır.

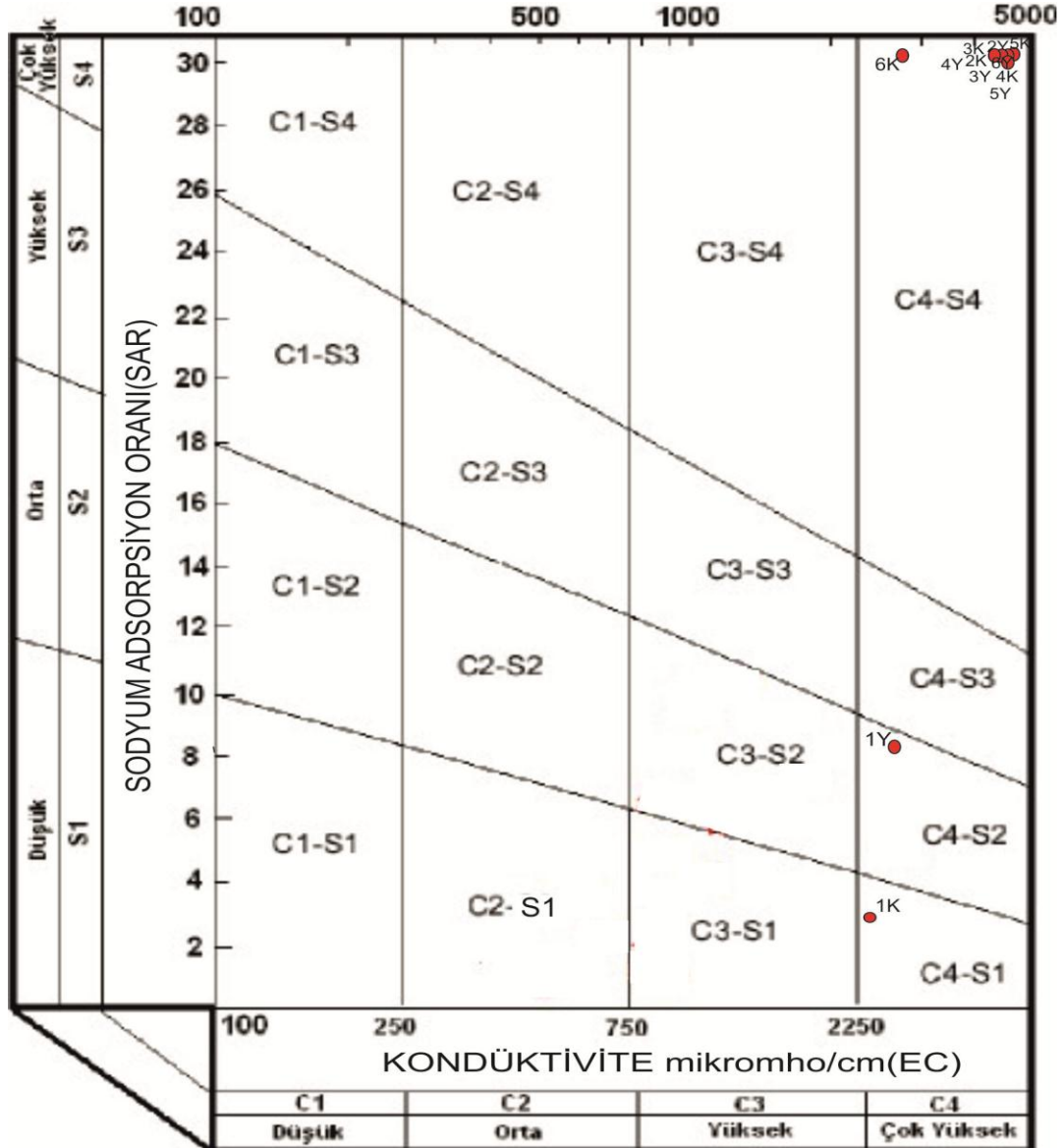
Tablo 5.10 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı'na (SAR) göre Sınıflaması (Sahinci, 1991a)

SAR	SINIF
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10-18	İyi özellikte sulama suları
18-26	Kullanılabilir özellikte sulama suları
>26	Kullanılmaz özellikte sulama suları

Tablo 5.8'e göre inceleme alanındaki sular Naipli Çayı ve Shell petrol firmasından alınan örneklerde SAR değeri 10 dan küçük olduğu için çok iyi özellikte sulama suları diğer sularda SAR değeri çok yüksek olduğundan kullanılmaz özellikte sulama suları sınıfına girer. Suların kaynarken köpürme katsayısı (Fo) = $62 rNa^+ + 78 rK^+ (r = \text{mek}/L)$ bağıntısıyla bulunur ve sular köpürme katsayısı değerine göre tablo 5.11'deki gibi sınıflanır. Tablo 5.11'e göre inceleme alanındaki sular, kaynarken çok köpüren sular sınıfına girmektedir.

Tablo 5.11 Suların Köpürme Katsayısı Değerine (Fo) göre Sınıflaması (Sahinci, 1991a).

Fo	Sınıf
<60	Kaynarken köpürmeyen su
60-200	Kaynarken köpüren su
>200	Kaynarken çok köpüren su



1. Naipli Çayı (1Y)
2. AG22 reenjeksiyon kuyusu (2Y)
3. ÖB-10 (3Y)
4. Reenjeksiyon hattı düşük P seperatör çıkışı (4Y)
5. Reenjeksiyon hattı düşük seperatör Girişi (5Y)
6. Ag-2011/2 MTA kuyusu (6Y)
7. Shell petrol firması (1K)
8. Ömerbeyli enjeksiyon kuyusu (2K)
9. ÖB-10(3K)
10. Reenjeksiyon hattı düşük P seperatör çıkışı (4K)
11. BM şirketi (5K)
12. Ac1 MTA kuyusu (6K)

Şekil 5.1 İnceleme alanındaki suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre diyagram üzerindeki gösterimi (ABD Tuzluluk Diyagramı)

Tablo 5.12 Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması

Tuzluluğa Göre Alt Sınıflar	C1	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.
	C2	Orta tuzlulukta su. Orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılmaz
	C3	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
	C4	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenajı yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetiştirilebilir.
Sodyum Miktarına Göre Alt Sınıflar	S1	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.
	S2	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun
	S3	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
	S4	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz.

Sodyum iyonu yüzdesi (% Na) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) sulama suları sınıflamasında kullanılan önemli bir özelliktir. Sulama suları sınıflandırılmasında en çok ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılır. Bu Diyagram için suyun 25°C deki kondüktivitesi ve sodyum adsorbsiyon oranının bilinmesine gerek vardır. Tablo 5.12’ de suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması verilmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre, inceleme alanındaki sular genel olarak C4-S4 (Çok tuzlulukta ve çok fazla sodyumlu su) grubunda, Naipli Çayında yaz döneminde alınan su örneği C4-S2 (Çok tuzlu ve orta sodyumlu su) grubunda, shell petrol firmasından kış döneminde alınan su örneği C4-S1(Çok tuzlulukta ve az sodyumlu su) grubuna girmektedir.

5.5.1 Sulama Sularının Wilcox’a Göre Sınıflaması

Wilcox sulama sularının % Na, klorür, sülfat, bor ve elektriksel iletkenliğe karşı duyarlılıklarına göre sınıflar (Tablo 5.13 ve Tablo 5.14).

Tablo 5.13. Sulama sularının Wilcox 'a göre sınıflaması (Şahinci, 1991)

Suyun Sınıfı	%Na	rCl	rSO4	EC(µmho/cm)
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
iyi	20-40	4-7	4-7	250-750
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000
Kullanılmaz	>80	>20	>20	>3000

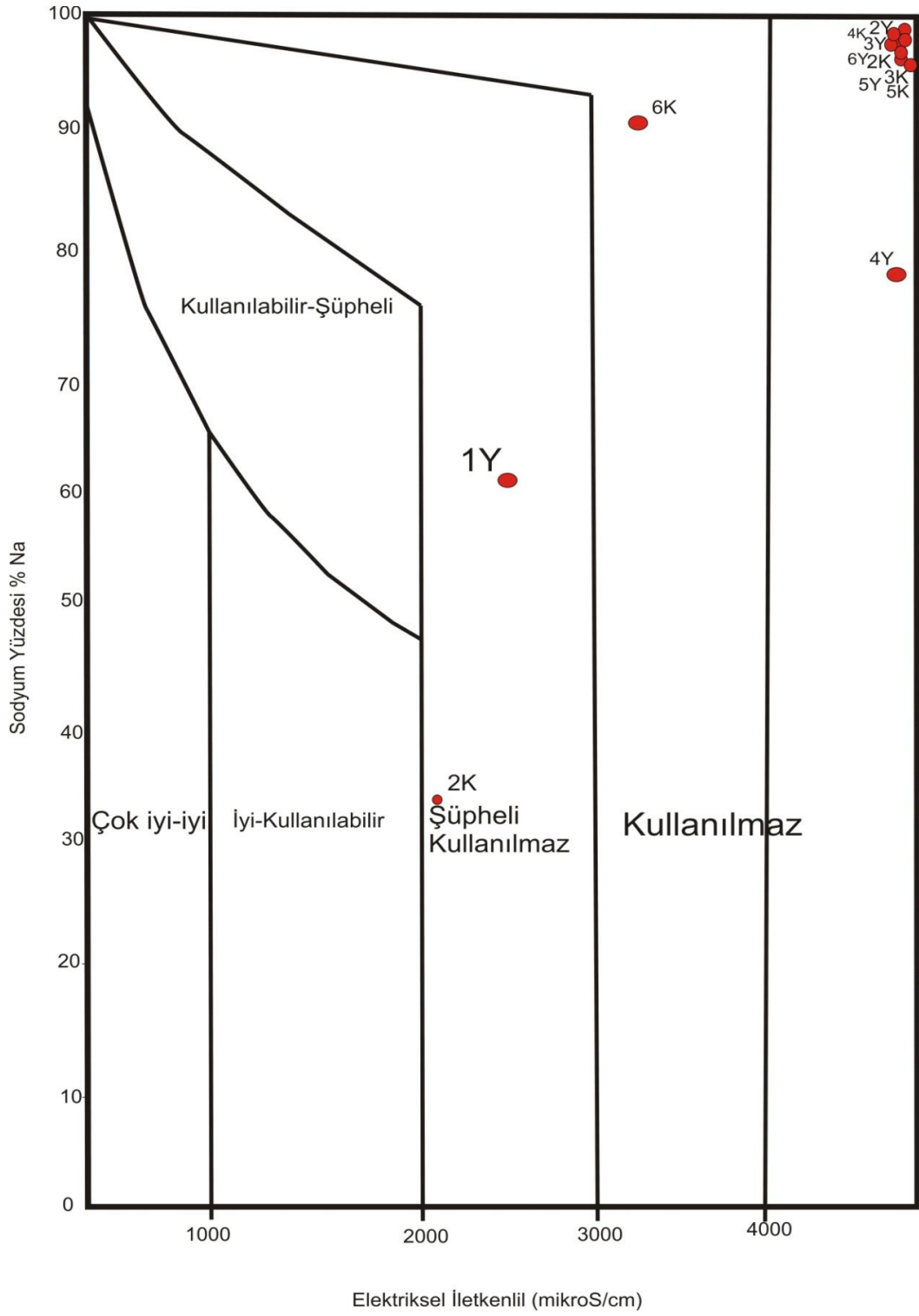
Tablo 5.14. Sulama sularının Wilcox sınıflamasında bor miktarına göre sınıflaması (Şahinci, 1991).

Suyun Sınıfı	Suda bulunan Bor (mg/L)		
	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Az dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<0,33	<0,36	<1
İyi	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
Kullanılabilir	0,67-1,00	1,33-2	2,00-3,00
Şüpheli	1,00-1,25	2-2,5	3,00-3,75
Kullanılmaz	>1,25	>2,5	>3,75

Wilcox ayrıca düşey ekseninde % Na miktarı ve yatay ekseninde EC miktarını belirten suların sulama amacıyla kullanılmasına ilişkin diyagram geliştirmiştir (Şekil 5.2). Verilen EC yatay ekseninde bulunarak, bu noktadan yatay eksene bir dik çıkarılır ve % Na'dan çizilen paraleli kestiği nokta suyun özelliğini verir. Suların Wilcox diyagramındaki yerleri Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Ek 1 de verilen tablolarda bor miktarı değerleri verilmiştir. İnceleme alanındaki bor miktarı değerleri çok yüksek olduğundan kullanılmaz ve şüpheli su sınıfına girmektedir. Sulama suyu olarak kullanılmamalıdır.

5.6 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

Yöredeki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki kaynaklardan ve MTA'nın açmış olduğu sondajlardan su örnekleri alınmıştır. Örneklenen yeraltı sularının kimyasal analiz değerleri kullanılarak sıcak suların sınıflaması, fasiyes tipleri, doygunluk değerleri ve kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

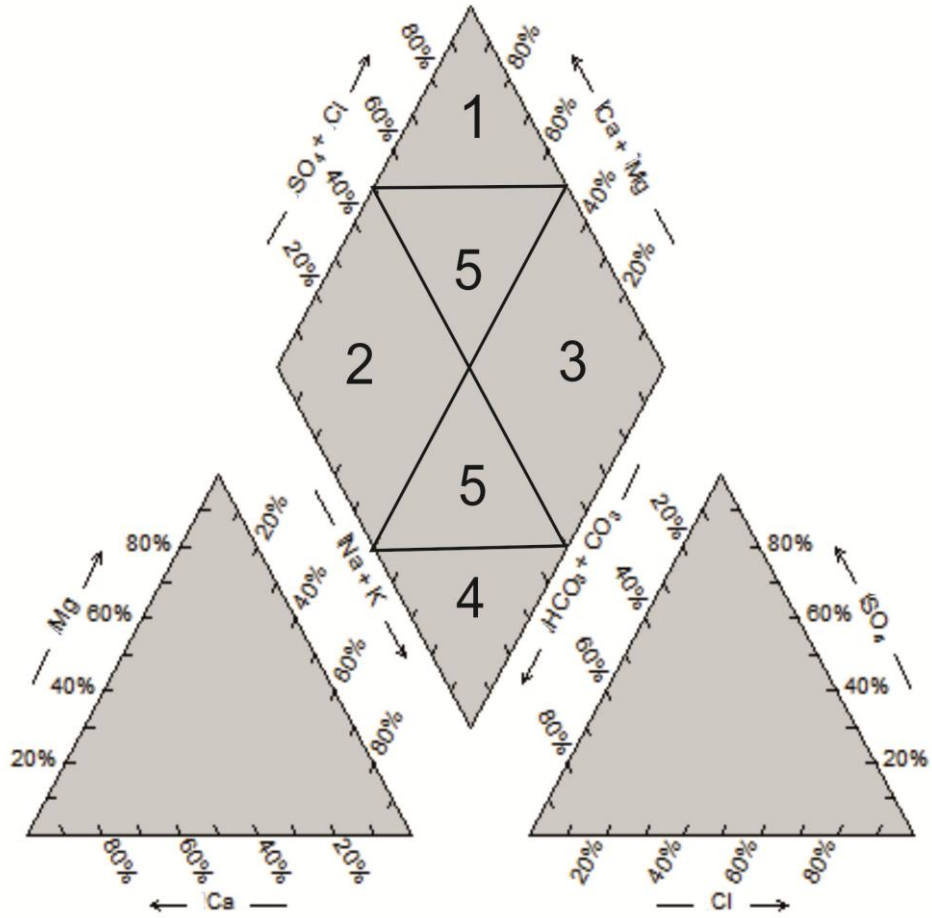


Şekil 5.2 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflaması (Örnek noktaları 5.1 açıklamasıyla aynıdır.)

Piper (üçgen) ve Scholler (yarı logaritmik) diyagramları gerek iyonların topluca ek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardandır. Sıcak su noktalarının kökensel ilişkileri Piper ve Schoeller diyagramları ile incelenmiştir. Genelindeki örnekleme ve analizi gerçekleştirilen nokta sayısının fazlalığı dikkate alındığında, fasiyes türlerinin dağılımı ve bu fasiyes türlerinin oluşumuna etki eden fiziko-kimyasal süreçlerin ayırt edilmesine olanak vermesi açısından Piper diyagramı kullanılmıştır. Yakın veya komşu sahalarda bulunan su noktalarının kökensel ilişkileri ise Schoeller diyagramları ile değerlendirilmiştir.

Piper diyagramı; Anyon ve katyonların (% mek/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal fasiyes tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına dayalı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/L cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. İnceleme alanındaki sulara ait Piper diyagramı şekil 5.4'de verilmiştir. Bu diyagrama göre, inceleme alanındaki shell petrol firmasından kış döneminde alınan örnek CO₃ sertliği %50'den fazla olan sular ve Naipli Çayından yaz döneminde alınan örnek karbonat alkalileri %50 den fazla olan sulardır. BM şirketi ve MTA Ac1 kuyusundan kış döneminde alınan örnekler karbonat olmayan alkalitesi %50 den fazla olan sulardır. Deniz suyu, acı sular ve bir kısım jeotermal sular bu alanda yer alırlar. Geriye kalan su örnekleri piper diyagramın göre karbonat alkalileri %50 den fazla olan sular sınıfına girmektedir.

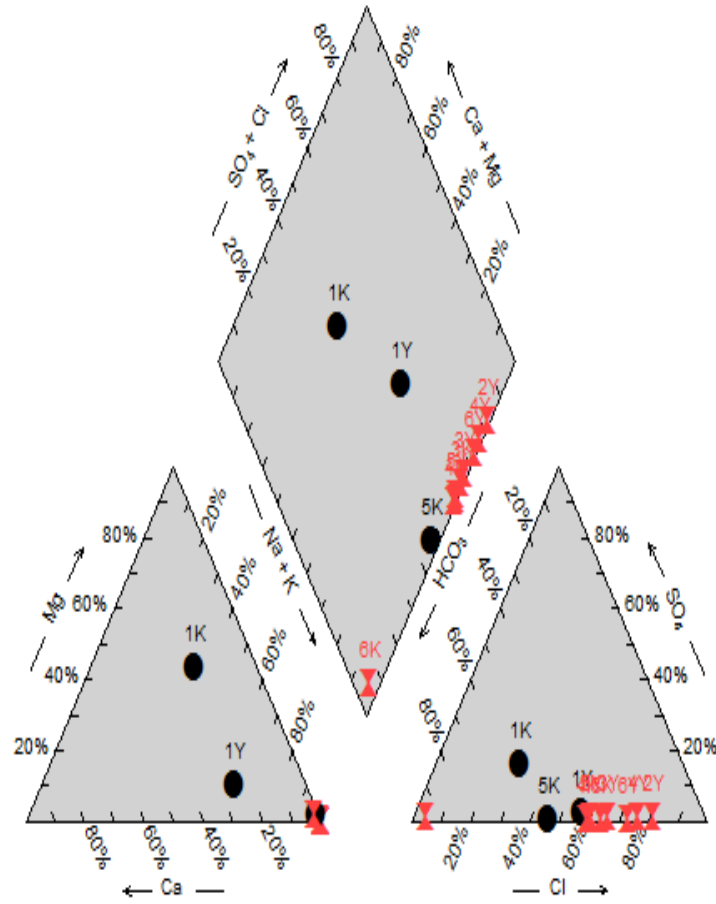
Piper Diagram



1. Bölgede karbonat olmayan sertliği %50 den fazla olan sular
2. Bölgede CO_3 sertliği %50'den fazla olan sular
3. Bölgede karbonat alkalileri %50 den fazla olan sular ($NaHCO_3$ sulardır. Doğada az bulunan ya da çok yumuşak sulardır).
4. Bölgede, karbonat olmayan alkalitesi %50 den fazla olan sulardır. Deniz suyu, acı sular ve bir kısım jeotermal sular bu alanda yer alırlar.
5. Karışık sulardır

Şekil 5.3 Eşkenar dörtgendeki numaralanmış bölgelerin hangi anlama geldikleri yukarıda açıklanmıştır.

Piper Diagram

Açıklamalar

Naipli çayı (1Y)

AG22 reenjeksiyon kuyusu(2Y)

ÖB-10 (3Y)

Reenjeksiyon hattı seperatör çıkışı(4Y)

Reenjeksiyon hattı seperatör girişi(5Y)

Ag-2011/2 MTA kuyusu(6Y)

Shell petrol firması(1K)

Ömerbeyli enjeksiyon kuyusu(2K)

ÖB-10(3K)

Reenjeksiyon hattı seperatör çıkışı(4K)

BM şirketi(5K)

Ac1 MTA kuyusu(6K)

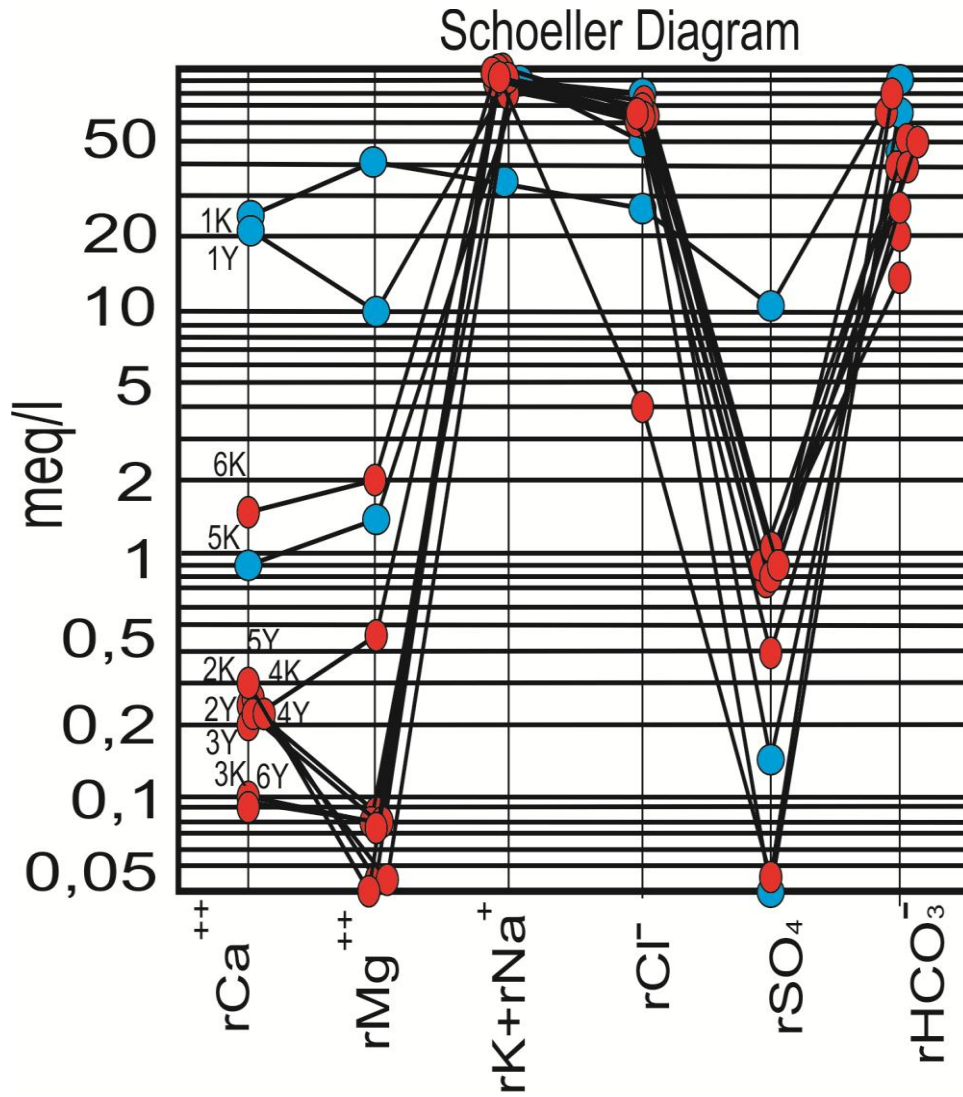
▲ Sıcak su, ● Soğuk su

Şekil 5.4 İnceleme alanında yer alan su örneklerinin Piper Üçgen diyagramındaki görünümleri

Schoeller diyagramı; Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile iyonlar sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken, her iyonun mek/L degeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Birleştirilen noktalar, kırık çizgileri oluşturmakta ve bu çizgiler bir su örneğini temsil etmektedir. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı akifere ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. İnceleme alanına ait suların schoeller diyagramında yorumlanması Şekil 5.5' de gösterilmiştir. Schoeller diyagramına göre inceleme alanında iki grup gözleniyor. iki grup arasında çok fazla bir değişiklik yok ancak sıcak sularla soğuk suların karışımından söz edebiliriz. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasında ise suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere mek/L olarak %20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar su tipini belirtmektedir (Baskan&Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanında, Shell petrol firmasında kış döneminde alınan su örneği, Na-Ca-Mg-Cl, Naipli Çayından yaz döneminde alınan su örneği ise, tip Na-Ca-Cl-HCO₃'lü sular sınıfına girmekte olup, inceleme alanındaki diğer sular ise Na+K-Cl-HCO₃'lü sular sınıfındadır Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre bu alandaki sular benzer kökenlidir.

5.7 Suların Kalsit, Dolomit ve Jips Doyma İndeksleri ve CO₂ Kısmi Basıncı

Sulardaki kalsit, dolomit ve jips doyma indekslerinin önceden tahmin edilmesi, suların üretim ve iletim aşamalarında oluşabilecek olası çökeltilere karşı alınabilecek önlemler açısından önemlidir. Bu bakımdan en çok rastlanan çökeltiler minerallerinin doygunluk hesapları yapılarak tablo 5.15' deki tablolarda gösterilmiştir. Bu doygunlukların saptanmasında çeşitli diyagramlar bulunmaktadır. Ancak bu diyagramlar belirli sıcaklık ve iyonlaşma güçleri arasında geçerlidir ya da sıcaklık, basınç, iyonlaşma gücü, iyon etkinliği gibi bazı etkenler sabit kabul edilmiştir. Diyagramlar üzerinde değer saptaması şahsa göre değişebilir. Ayrıca farklı diyagramlardan alınan değerler farklı varsayımlar nedeniyle çelişkili sonuçlar verebilir.



Acıklamalar

Naipli Çayı (1Y)

AG22 reenjeksiyon kuyusu(2Y)

ÖB-10 (3Y)

Reenjeksiyon hattı seperatör çıkışı(4Y)

Reenjeksiyon hattı seperatör girişi(5Y)

Ag-2011/2 MTA kuyusu(6Y)

Shell petrol firması(1K)

Ömerbeyli enjeksiyon kuyusu(2K)

ÖB-10(3K)

Reenjeksiyon hattı seperatör çıkışı(4K)

BM şirketi(5K)

Ac1 MTA kuyusu(6K)

● Sıcak su, ● Soğuk su

Şekil 5.5 İnceleme alanında yer alan su örneklerin yarı logaritmik schoeller diyagramındaki görünümleri

Bu nedenle kalsit, dolomit ve jips doyma indeksleri kimyasal termodinamik yasalara bağlı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Şahinci,1986). Hesaplamalarda kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\text{Kalsit Doymuluk İndeksi (SIC)} = \log [(a\text{Ca}^{++})(a\text{HCO}_3^-) K_2 / K_C 10^{-\text{pH}}]$$

$$\text{Dolomit Doymuluk İndeksi (SID)} = \log [(a\text{Ca}^{++})(a\text{Mg}^{++})(a\text{HCO}_3^-)^2 (K_2)^2 / \text{KD} 10^{-\text{pH}}]$$

$$\text{Jips Doymuluk İndeksi (SIJ)} = \log [(a\text{Ca}^{++})(a\text{SO}_4^-) / K_j]$$

Bağıntılarda a iyon etkinliğini, K ise aşağıda belirtilen tepkimelerin denge sabitini tanımlar. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda suların sıcaklıklarının standart koşullara oldukça yakın olması nedeniyle, denge sabitleri 25°C ve 1 atm basınç koşulları için aşağıda verilen bağıntılar kullanılmıştır.

$$(a\text{H}^+) (a\text{HCO}_3^-) / (a\text{H}_2\text{CO}_3) = K_1 = 10^{-6,35}$$

$$(a\text{H}^+) (a\text{CO}_3^{2-}) / (a\text{HCO}_3^-) = K_2 = 10^{-10,33}$$

$$(a\text{Ca}^{++}) (a\text{CO}_3^{2-}) / (a\text{CaCO}_3) = K_C = 10^{-8,49}$$

$$(a\text{Ca}^{++}) (a\text{Mg}^{++}) (a\text{CO}_3^{2-})^2 / [a\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2] = \text{KD} = 10^{-17}$$

$$(a\text{Ca}^{++})(a\text{SO}_4^-) / a \text{CaSO}_4 = \text{KJ} = 10^{-4,61} \text{ olarak alınmıştır.}$$

(AG-2011/2 kuyusunda sıcaklık 239,51° olduğundan $K_2 = 10^{-10,14}$, $K_C = 10^{-9,36}$, $\text{KD} = 10^{-17,9}$, $\text{KJ} = 10^{-4,61}$, $K_1 = 10^{-6,42}$, $\text{KCO}_2 = 10^{-1,97}$ alınmıştır.)

Şekil 5.14 deki hesaplanan kalsit, dolomit ve jips doyma indekslerine göre; pozitif (+) doymuluk indeksleri çöktürücü, negatif (-) doymuluk indeksleri ise çözüldürücü özelliğe karşılık gelir.

Ayrıca bu çalışmada en çok çökel ürünü olabilecek mineraller seçilmiş ve Watch-2005 ve Phreeqc programları kullanılarak her bir mineral için çeşitli sıcaklıklarda (1 atm basınç koşullarında) doymuluk indeksleri ($\text{SI} = \log Q/K$) ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 5.15). Bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen doymuluk indeksleri değerleri Excell 10 bilgisayar paket programına işlenerek, her bir mineral ve sıcaklık için en iyi doğrusal ilişkiyi verecek şekilde doğruları çizdirilerek “Sıcaklık Mineral Denge” diyagramı oluşturulmuştur(Şekil 5.6).

Uygulanan bu jeotermometre yöntemi yorumlandığında şekil 5.6 da görüleceği gibi doğruların yaklaşık denge durumunda kesiştikleri yer olan 130° C alanın hazne sıcaklığı olarak yorumlanabilir.

Yine CO₂ kısmi basıncının da atmosfer kısmi basıncından (10^{-3,5} atm) yüksek olması durumunda su, çökeltici ve gaz çıkartıcı özelliğe sahip olarak yorumlanabilir (Tarcan ve diğ., 2000).

CO₂ kısmi basıncı değerleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$- \log \text{PCO}_2 = \log [(10^{-\text{pH}}) (\text{aHCO}_3^-) / (K_1) (\text{KCO}_2)]$$

Bu bağıntılardaki a iyon etkinliğini, K ise aşağıda verilen tepkimelerin denge sabitini tanımlar.

$$(\text{aH}^+) (\text{aHCO}_3^-) / (\text{aH}_2\text{CO}_3) = K_1 = 10^{-6,35}$$

$$(\text{aH}_2\text{CO}_3) / \text{PCO}_2 = \text{KCO}_2 = 10^{-1,46}$$

olarak alınmış ve EK 1' deki tablolarda hesaplamalar içerisinde yorumlanmıştır.

Tablo 5.15 İnceleme alanına ait su örneklerinde çökel ürünü olarak rastlanabilecek bazı minerallerin belirtilen sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri

Örnek No : 2Y /AG-22 Reenjeksiyon Kuyusu								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-3.97	0.15	0.29	1.35	-0.02	-3.77	1.77	0.53
60	-3.75	0.18	0.3	1.04	0.13	-3.77	1.37	0.31
90	-3.36	0.24	0.34	0.79	-0.01	-3.71	1.05	0.13
120	-2.84	0.37	0.46	0.57	-0.32	-3.59	0.78	-0.02
150	-2.24	0.6	0.68	0.39	-0.75	-3.43	0.54	-0.15
180	-1.66	0.84	0.91	0.23	-1.39	-3.33	0.34	-0.26

Örnek No : 3Y/ ÖB-10								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-4.19	-0.71	-0.57	1.34	-1.56	-4	1.76	0.52
60	-3.98	-0.49	-0.36	1.03	-1.03	-4	1.37	0.3
90	-3.6	-0.23	-0.12	0.78	-0.76	-3.95	1.04	0.12
120	-3.12	0.06	0.15	0.55	-0.71	-3.87	0.76	-0.04
150	-2.59	0.39	0.47	0.36	-0.84	-3.79	0.52	-0.18
180	-2.16	0.63	0.7	0.19	-1.27	-3.84	0.31	-0.3
210	-2.06	0.59	0.65	0.04	-2.25	-4.23	0.12	-0.41
240	-2.32	0.23	0.28	-0.1	-3.81	-5	-0.06	-0.51

Tablo 5.15' in devamı

Örnek No : 4Y/ Reenjeksiyon Hattı Düşük P çıkışı								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-3.95	0.17	0.31	1.4	-0.03	-3.75	1.82	0.58
60	-3.73	0.2	0.32	1.1	0.13	-3.75	1.43	0.36
90	-3.35	0.26	0.36	0.84	0	-3.69	1.1	0.18
120	-2.83	0.41	0.5	0.62	-0.25	-3.58	0.83	0.03
150	-2.26	0.65	0.73	0.44	-0.6	-3.45	0.59	-0.1
180	-1.74	0.88	0.95	0.27	-1.16	-3.41	0.38	-0.22

Örnek No : 5Y/ Reenjeksiyon Hattı Düşük P girişi								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-3.96	-0.67	-0.53	1.35	-1.71	-3.76	1.76	0.53
60	-3.74	-0.4	-0.28	1.04	-1.07	-3.76	1.37	0.31
90	-3.36	-0.08	0.02	0.78	-0.69	-3.71	1.04	0.12
120	-2.88	0.25	0.34	0.56	-0.55	-3.63	0.76	-0.04
150	-2.36	0.6	0.68	0.37	-0.63	-3.56	0.52	-0.17
180	-1.95	0.85	0.92	0.2	-1.04	-3.62	0.31	-0.29

Örnek No : 6Y/ AG-2011/2					
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Kalsit	Kalsedon	Kuvars	SiO2(a)
30	-4.12	0.73	1.06	1.41	0.21
60	-3.92	0.71	0.79	1.11	0.04
90	-3.5	0.25	0.83	1.11	0.18
120	-3.29	0.44	0.59	0.82	0.01
150	-3.08	0.69	0.37	0.56	-0.13
180	-2.88	0.97	0.18	0.34	-0.26
210	-2.69	1.27	0.02	0.16	-0.37
240	-2.59	1.58	-0.1	0.01	-0.46

Örnek No : 2K / Ömerbeyli Enjeksiyon Kuyusu								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30°	-4.06	0.28	0.42	1.53	0.65	-3.86	1.94	0.71
60°	-3.85	0.29	0.41	1.22	0.76	-3.87	1.55	0.49
90°	-3.47	0.35	0.45	0.97	0.65	-3.82	1.23	0.31
120°	-2.98	0.52	0.61	0.75	0.44	-3.72	0.95	0.15
150°	-2.42	0.78	0.86	0.56	0.16	-3.62	0.71	0.02
180°	-1.98	0.99	1.06	0.39	-0.38	-3.65	0.5	-0.11

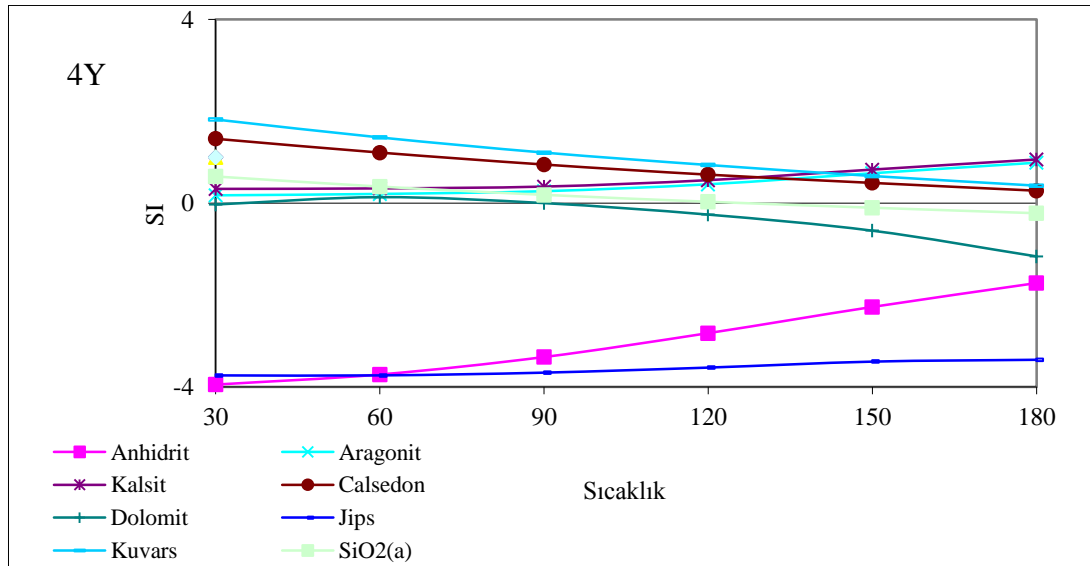
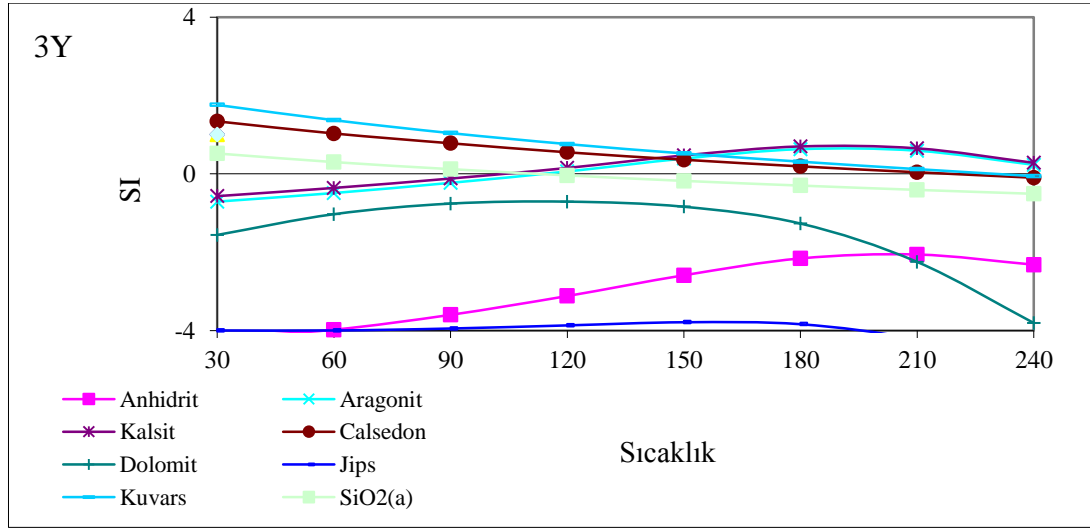
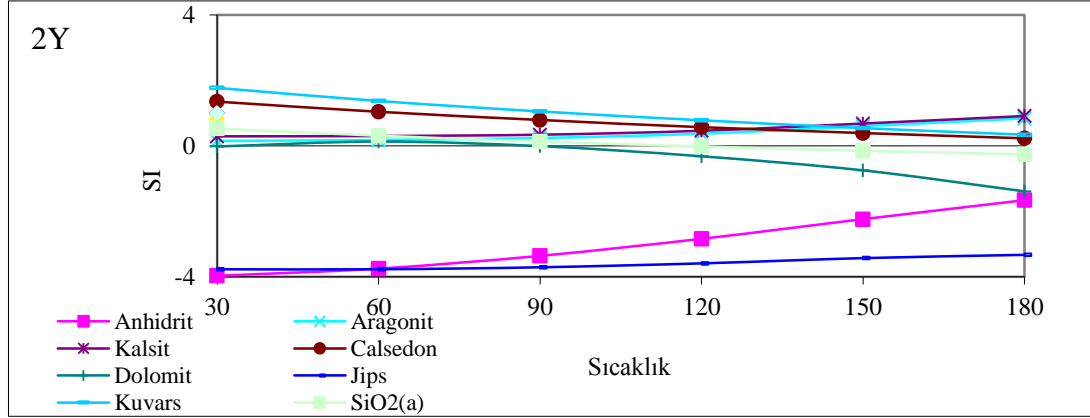
Tablo 5.15' in devamı

Örnek No : 3K / ÖB-10								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-4.37	-0.53	-0.39	1.1	-0.67	-4.17	1.51	0.27
60	-4.16	-0.39	-0.27	0.79	-0.31	-4.18	1.12	0.05
90	-3.79	-0.22	-0.11	0.53	-0.2	-4.13	0.79	-0.13
120	-3.31	0.03	0.12	0.31	-0.24	-4.05	0.51	-0.29
150	-2.77	0.33	0.41	0.12	-0.43	-3.96	0.27	-0.42
180	-2.34	0.56	0.63	-0.05	-0.9	-4.01	0.06	-0.55
210	-2.24	0.5	0.56	-0.21	-1.91	-4.42	-0.13	-0.66
240	-2.51	0.14	0.19	-0.35	-3.49	-5.2	-0.31	-0.76

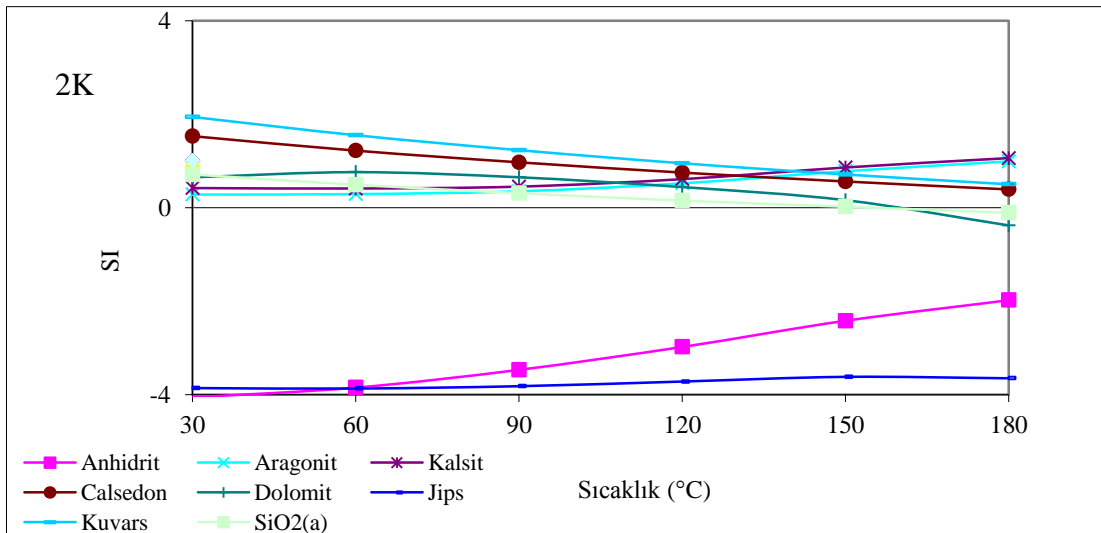
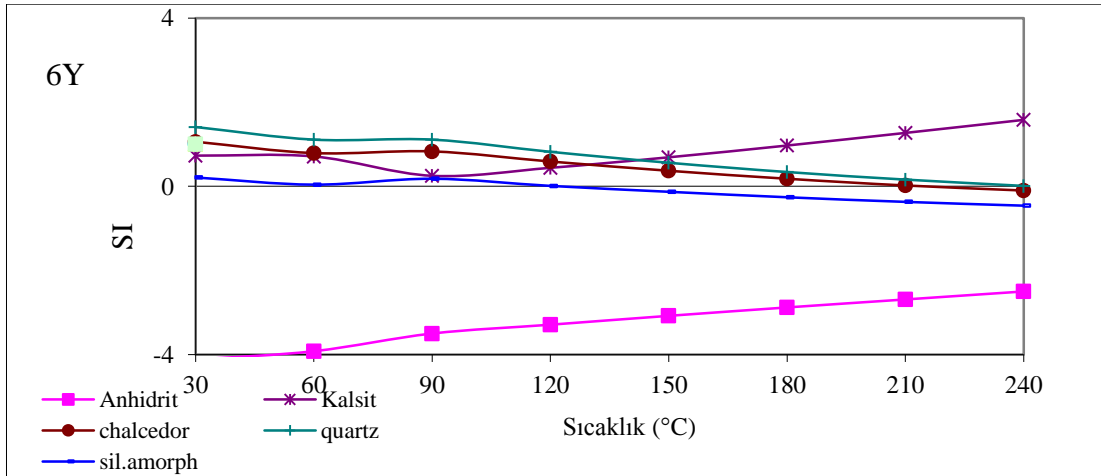
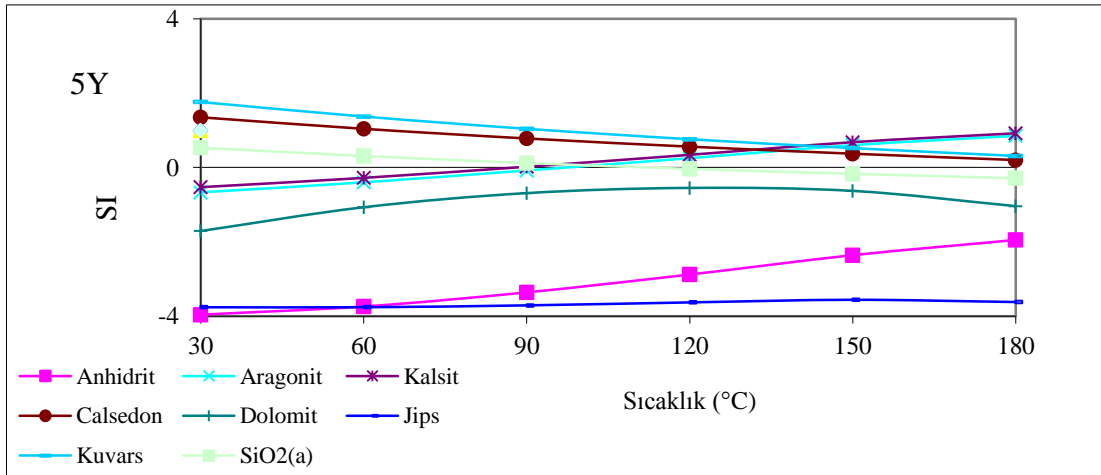
Örnek No : 4K / ÖB Reenjeksiyon Hattı düşük spt çıkışı								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-4.28	0.55	0.69	1.41	1.26	-4.08	1.82	0.58
60	-4.08	0.5	0.63	1.1	1.29	-4.1	1.43	0.37
90	-3.69	0.51	0.62	0.85	1.08	-4.04	1.11	0.19
120	-3.17	0.64	0.74	0.64	0.78	-3.92	0.84	0.04
150	-2.58	0.89	0.97	0.45	0.4	-3.77	0.61	-0.09
180	-2.1	1.09	1.16	0.29	-0.22	-3.77	0.4	-0.21

Örnek No : 6K / AC-1								
Sıcaklık(C°)	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO2(a)
30	-3.65	0.73	0.87	0.19	2.09	-3.45	0.61	-0.63
60	-3.45	0.78	0.9	-0.12	2.3	-3.47	0.22	-0.85
90	-3.1	0.88	0.99	-0.38	2.3	-3.44	-0.11	-1.03
120	-2.62	1.1	1.19	-0.6	2.2	-3.36	-0.39	-1.19
150	-2.07	1.41	1.49	-0.79	2	-3.26	-0.64	-1.33
180	-1.63	1.65	1.72	-0.97	1.49	-3.3	-0.85	-1.46
210	-1.55	1.56	1.63	-1.13	0.4	-3.72	-1.05	-1.58
240	-1.83	1.2	1.25	-1.28	-1.2	-4.51	-1.24	-1.69

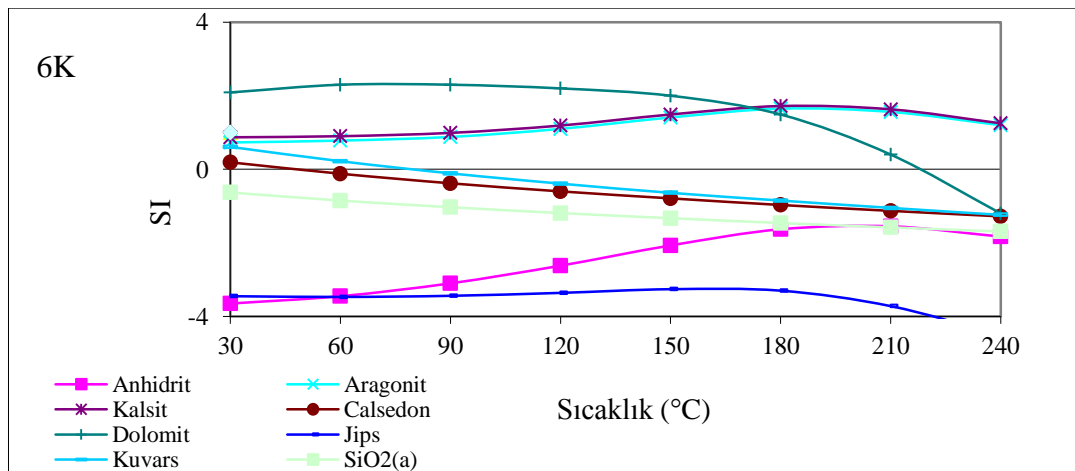
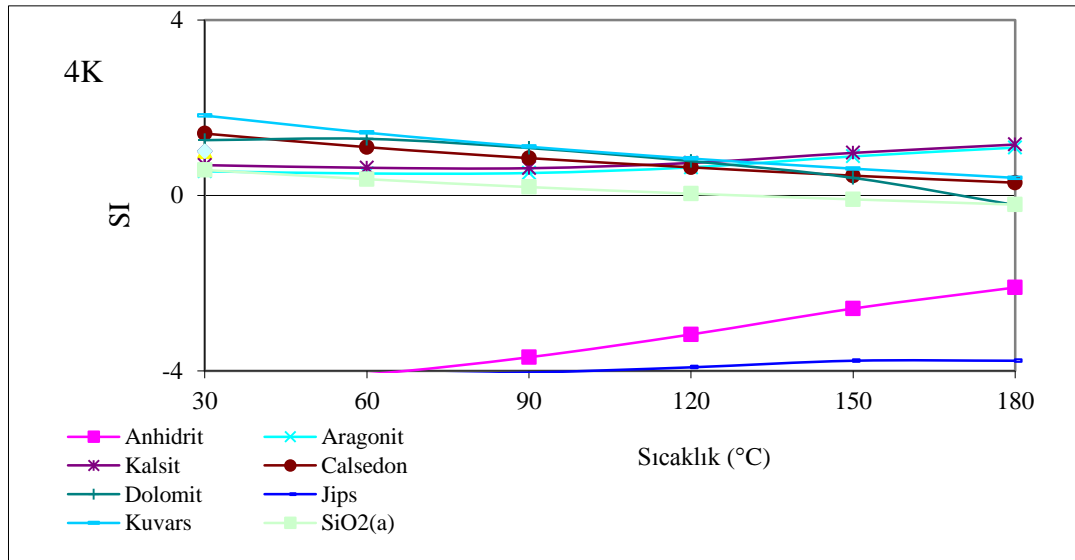
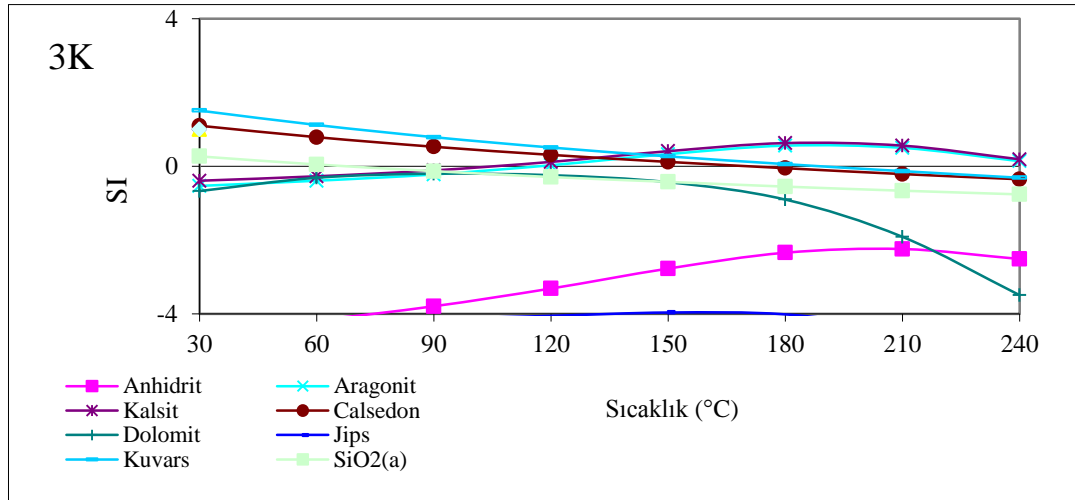
Şekil 5.6 İnceleme alanına ait su örneklerinde çökel ürünleri olarak rastlanabilecek bazı minerallerin belirtilen sıcaklıklardaki doygunluk indeksi diyagramları



Şekil 5.6' nın devamı



Şekil 5.6' nın devamı



Bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişiminin saptanmasında pH sabit tutulmuştur ve yeni sıcaklıklara göre doygunluk indeksi değerleri aquachem programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu çalışmada sıcaklığa göre değişen doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Sıcaklık değerleri 30°C’de bir değiştirilerek 30-240°C arası için irdelenmiştir. Çalışma alanındaki sıcak kaynaklarda tüm mineraller belirli sıcaklık derecesine kadar doygunluk üstü değerler vermektedir. Ömerbeyli jeotermal alanındaki sular genel olarak kalsit kalsedon aragonit ve kuvars mineralleri 180° ye kadar doygunluk üstü değerler verir. SiO₂ (a) 90° C kadar doygunluk üstü değer verir. Dolomit, anhidrit ve jips mineralleri ise genellikle doygunluk altı değerler verir. Bir bütün olarak değerlendirildiğinde genel olarak sularda kalsit kalsedon aragonit ve kuvars çöktürücü Dolomit, anhidrit ve jips ise çözücü özelliktedir.

5.8 Jeotermometre Uygulamaları

Bu çalışmada Aydın Germencik ve İncirliova jeotermal sistemlerinin akifer sıcaklığının bulunması için çeşitli jeotermometreler uygulanmıştır. Elde edilen verilerin doğrulukları çeşitli yöntemlerle irdelenmiştir. Özellikle grafiksel yöntemler kullanılarak uygun jeotermometrelerin ve daha gerçekçi sonuçların bulunması amaçlanmıştır. Tablo 5.19 ve 5.21’de görüldüğü gibi farklı jeotermometre uygulamaları farklı sonuçlar vermektedir. Çünkü, her jeotermometre belirgin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullar için geçerlidir. Bu koşulların gerçekleşmediği durumlarda jeotermometrelerden elde edilen değerler sağlıklı sonuçlar olmayacaktır. Bazı jeotermometre sonuçlarında olanaksız sonuçlar elde edilmektedir. Bazı değerlerin eksi, bazı değerlerin ise yüzeyde ölçülen sıcaklıktan daha düşük değerler vermesi, bu kimyasal jeotermometre uygulamaları için uygun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşulların tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle jeotermometre sonuçlarını değerlendirirken oldukça dikkatli olunması gerekmektedir. Jeotermometrelerin uygulanmasında aşağıda belirtilen bazı temel varsayımların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

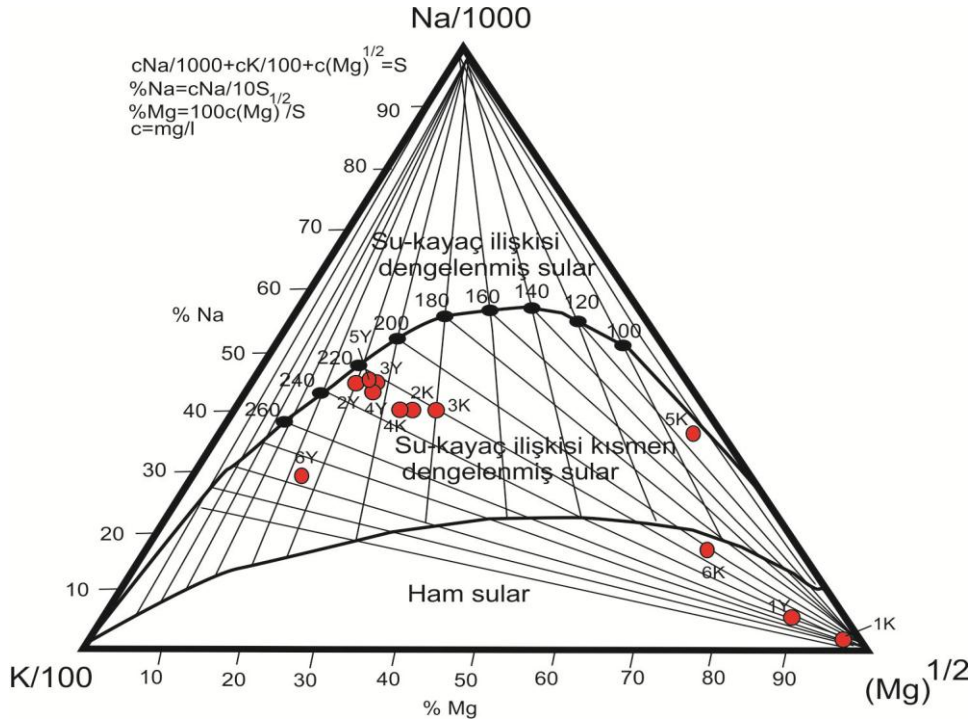
1) Kimyasal reaksiyonlar sıcaklık denetimlidir.,2) Jeotermometre uygulamalarında kullanılan maddeler akifer kayada mevcuttur, 3) Akifer kayadaki mineraller ile

akışkan arasındaki kimyasal denge tamamlanmıştır, 4) Sıcak suyun yüzeye çıkışı sırasında kimyasal yapısında meydana gelebilecek değişiklikler ihmal edilebilir boyutlardadır, 5) Yükselen sıcak sular soğuk yeraltı suları ile karışmamaktadır (White, 1970).

Tablo 5.16 Ölçülen hazne sıcaklıkları

Örnek no:	2Y	2K	3Y	3K	4Y	4K	5Y	6Y	6K
Hazne									
Sıcaklığı(C°)	150°	150°	230°	230°	110°	110°	158.5°	239°	210°

Bu jeotermometrelerin geçerliliği pek çok değişik araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Giggenbach (1988) tarafından Na-K-Mg üçgen diyagramı akifer sıcaklığının tahmini ve sıcak ve mineralli suların akiferi oluşturan kayalar ile kimyasal dengeye ulaşıp ulaşmadıklarının belirlenmesi dolayısıyla katyon jeotermometrelerin uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla geliştirilmiştir (Şekil 5.7). Fournier (1990) kayaç ile tam denge ve kısmen denge halindeki suları ayıran çizginin bu çizginin oluşturulmasında kullanılan Na/K jeotermometre bağıntısına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Şekil 5.7). Giggenbach (1988), su-kayaç dengesi temelinde çeşitli iyonlara dayalı olarak geliştirmiş olduğu yöntemde üçgen diyagramları kullanarak su örneklerinin iyon içeriklerine göre kimyasal jeotermometre olarak kullanılmasına uygun olup olmadığını araştırmıştır. Giggenbach (1988) bu çalışmada Na, K ve Mg iyonlarının mg/L değerlerini ele alarak, suları başlıca iki grupta toplamıştır. Bunlar sırasıyla; I) Su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu ve II) Su-kayaç ilişkisindeki kimyasal dengenin sağlanmamış olduğu sulardır (ham sulardır). I bölgesinde yer alan sularda Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Diyagramın ham veya olgunlaşmamış su kesimindeki (II bölgesindeki) örneklerde su ve kayaç arasındaki denge sağlanmamış olduğundan bu bölgede yer alan sularda jeotermometre uygulamaları akifer sıcaklığının bulunmasında sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları (ham suları) birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur.



Şekil 5.7 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su kayaç denge sıcaklıkları

Olgunlaşmış sular ise su kayaç ilişkisinin kısmen ve tamamen dengede olduğu suları belirten eş kimyasal özellikteki noktaların oluşturduğu bir eğri ile ikiye ayrılmaktadır. Diyagramdaki bu bölümler K-Mg ve Na jeotermometre eşitlikleri (4) ve (5) ile elde edilen eş sıcaklık değerlerinin kesim noktalarının oluşturduğu eğrilerle (izoterm) birbirinden ayrılmıştır.

Tablo 5.17 MI olgunlaşma indeksi

Örnek no:	2Y	2K	3Y	3K	4Y	4K	5Y	6Y	6K
MI	2.5	2.4	2.5	2.4	2.5	2.4	2.5	2.3	1.9

Aşağıda (6) nolu bağıntıda gösterilen olgunlaşma indeksine göre (MI) 2.0 değerinin altında değerler veren sular ham sular, 2.0'in üzerinde değerler veren olgunlaşma indeksine sahip sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sulardır. Burada bahsedilen olgunlaşma su-kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 4410 / (13.95 - \log K_2 / \text{Mg}) - 273.15 \text{ Giggenbach (1988) (4)}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 1319/(\log\text{Na}/\text{K}+1.699) - 273.15 \text{ Fournier (1979) (5)}$$

$$\text{MI} = 0.315\log(\text{K}_2/\text{Mg}) - \log(\text{K}/\text{Na}) \text{ Giggenbach (1988) (6)}$$

Değerler mg/L'dir.

Yukarıdaki bağıntılar katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliğini sayısal olarak gösterirler. Grafikselleştirme ise çok sayıda su örneğinin bir arada görülmesi, benzer kökenli olanların gruplanması ve hesaplamalardan sonra yorumlanmasına olanak sağlar. Bu nedenle katyon jeotermometrelerinden elde edilen sonuçların yorumlanması sıcak ve mineralli suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına veya olgunlaşma indeksinin değerine bağlıdır (Gemici, 1999).

5.8.1 Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığa bağlı çözünürlüğüne dayalıdır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Tablo 5.18). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin her biri farklı sıcaklık aralıkları için geçerlidir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180°C den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözülmüş silisi kontrol eder (Fournier, 1991). Daha yüksek sıcaklıklarda akifer kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C 'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180°C den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (D'Amore ve Arnorsson, 2000). Yörede yer alan sıcak ve mineralli sulara (Tablo 5.18) silis jeotermometre bağıntıları uygulanmış ve sonuçları Tablo 5.19'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında kuvars jeotermometrelerinden bazı su noktaları için, eksi değerler veya ölçülen kaynak ve sondaj sıcaklığından düşük değerler verdikleri gözlenmiştir. Diğer silis jeotermometrelerinden ise, 50-270°C arasında değişen akifer sıcaklıkları elde edilmiştir. İnceleme alanının jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının silis jeotermometrelerine göre 50-270°C olabileceği sonucu çıkmaktadır.

Tablo 5.18 Çalışmada uygulanan jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/l,*= mol/l,** =meg/l)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Bağıntıları	Referans
1	SiO ₂ (amorf silis)	$t=731 / (4.52 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
2	SiO ₂ (α -kristobalit)	$t= 1000 / (4.78 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
3	SiO ₂ (β -kristobalit)	$t= 781 / (4.51- \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
4	SiO ₂ (kalsedon)	$t= 1032/ (4.69 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
5	SiO ₂ (kuvars)	$t= 1309 / (5,19 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
6	SiO ₂ (kuvars buhar kaybı)	$t= 1522 / (5,75 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	FOURNIER (1977)
7	SiO ₂ (Kalsedon, kondaktif soğuma)	$t= 1112 / (4,91- \log\text{SiO}_2) - 273.15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
8	SiO ₂ (kuvars buhar kaybı)	$t= 1264/ (5,31 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
9	SiO ₂ (kuvars buhar kaybı)	$t= 1021 / (4,69- \log\text{SiO}_2) - 273.15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
10	SiO ₂ (kuvars buhar kaybı)	$t= 1164 (4,9 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
11	SiO ₂ (kuvars buhar kaybı)	$t= 1498 (5,7 - \log\text{SiO}_2) - 273.15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
12	SiO ₂ (kalsedon)*	$t= 1101/(0,11 - \log \text{SiO}_2) -273,15$	ARNÓRSSON et al. (1983)

Tablo 5.19 Bu çalışmada uygulanan SiO₂ kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L)

Uygulanan Jeotermometre ve adı	2Y (23,7°C)	2K (19,2° C)	3Y (16°C)	3K (16,5°C)	4Y (22,1°C)	4K (19,5°C)	5Y (22,9°C)	6Y (239°C)	6K (57,5°C)
1-SiO ₂	127	158	111	68	130	138	112	143	-31
2-SiO ₂	206	238	189	143	210	217	190	222	31
3-SiO ₂	157	190	140	93	160	168	141	174	-14
4-SiO ₂	243	280	225	173	248	256	226	262	49
5-SiO ₂	251	280	236	192	254	261	237	266	81
6-SiO ₂	225	247	213	178	227	233	214	236	84
7-SiO ₂	229	260	212	166	232	240	213	245	52
8-SiO ₂	210	235	196	158	213	219	197	223	58
9-SiO ₂	238	274	220	168	242	251	221	256	46
10-SiO ₂	254	287	237	188	258	266	238	271	68
11-SiO ₂	225	247	213	178	228	233	214	237	83
12-SiO ₂ *	229	260	212	165	232	240	213	245	51.5

5.8.2 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. İyon değişimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözülmüş katı madde oranları değişen sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir (Fournier, 1977a). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir (Gemici, 1999).

5.8.2.1 Na/K Jeotermometreleri

Na-K konsantrasyonları ve oranları genellikle Na-Plajyoklas ve K-Feldispat arasında Na-K iyonlarının değişimi sonucunda belirlenir(Nicholson, 1993). Na/K

jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, log (Ca/Na) değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sulara daha iyi sonuçlar vermektedir (Tarcan, 2003). Log (Na/K) - 1/T değerleri grafikte yaklaşık bir doğru verir (Şahinci, 1991b). Bu reaksiyonlardan yararlanarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı Na/K jeotermometre bağıntıları geliştirilmiştir (Tablo 5.20). Tablo 5.21.'da inceleme alanına ait suların Na/K jeotermometre sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.20 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre bağıntıları (Tüm derişimler mg/L, *=mol/L).

No	Uygulanan Jeotermometre	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1.	Na/K	$t=933/(0,933+\log\text{Na/K})-273,15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
2.	Na/K	$t=1319/(1,699+\log\text{Na/K})-273,15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
3.	Na/K	$t=777/(0,70+\log\text{Na/K})-273,15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
4.	Na/K	$t=856/(0,857+\log\text{Na/K})-273,15$	Truesdell 1976
5.	Na/K	$t=1217/(1,483+\log\text{Na/K})-273,15$	Fournier,1979 b
6.	Na/K*	$t=908/(0,692+\log\text{Na/K})-273,15$	ARNÓRSSON et al. (1983)
7.	Na/Li*(Cl<11000 ppm)	$t=1000/(\log \text{Na/Li}+0,38)-273,15$	Fouillac and Michard,1981
8.	Mg/Lİ	$t=1900/(4,67+\log\sqrt{\text{Mg/ Li}})-273,15$	Kharaka and Mariner,1989
9.	K/Mg	$t=4410/(13,95+\log\text{K}^2/\text{Mg})-273,15$	Giggenback vd.,1983
10.	Na/Li	$t=1590/(\log \text{Na/Li}+0,779)-273,15$	Kharaka and Mariner,1989
11.	Na-K-Ca*	$t=1647/(\log \text{Na/K}+\beta\log\sqrt{\text{Ca/Na}+2,24})-273,16$	Fournier ve Truesdell,1973

Tablo 5.21 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L

Uygulanan Jeotermometre ve adı	2Y (23,7°C)	2K (19,2°C)	3Y (16°C)	3K (16,5°C)	4Y (22,1°C)	4K (19,5°C)	5Y (22,9°C)	6Y (239°C)	6K (57,5°C)
1-Na/K	190	186	185	183	187	186	180	258	165
2-Na/K	212	209	208	206	210	209	204	262	192
3-Na/K	178	174	173	170	175	174	166	258	150
4-Na/K	183	179	178	175	180	179	175	255	156
5-Na/K	213	210	209	207	210	210	204	268	191
6-Na/K*	188	185	186	186	186	186	178	267	158
7-Na/Li* (CI<11000ppm)	212	49	195	197	207	192	210	194	106
8-Mg/Li	331	133	308	251	331	251	331	259	73
9-K/Mg	116	102	115	103	116	104	113	115	63
10-Na/Li	262	122	248	250	257	246	259	247	175
11-Na-K-Ca*	243 (β=1/3)	244 (β=1/3)	248 (β=1/3)	246 (β=1/3)	243 (β=1/3)	245 (β=1/3)	243 (β=1/3)	303 (β=1/3)	399 (β=1/3)

Na/K oranına bağı olarak elde edilen jeotermometreler genellikle akifer sıcaklığı 200° C'nin üzerinde olan sahaların incelenmesinde faydalıdır. Genellikle 180-350°C arasında olumlu sonuçlar veren Na/K jeotermometreleri özellikle 120°C altına yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu düşük sıcaklıklarda Na ve K iyonları killi minerallerden etkilenecek iyon değişimi reaksiyonlarını kontrol edemezler. Buna bağı olarak jeotermometre hesaplamaları sonucunda gerçek akifer sıcaklığının üzerinde değerler elde edilir (Gemici, 1999).

Tablo 5.21'de Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir. Suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre 150°C' den 270° C'ye ulaşan çok çeşitli akifer sıcaklık değerleri elde edilmiştir inceleme alanındaki hazne sıcaklıklarına yakın değerler çıkmıştır.

5.8.2.2 Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li jeotermometreleri

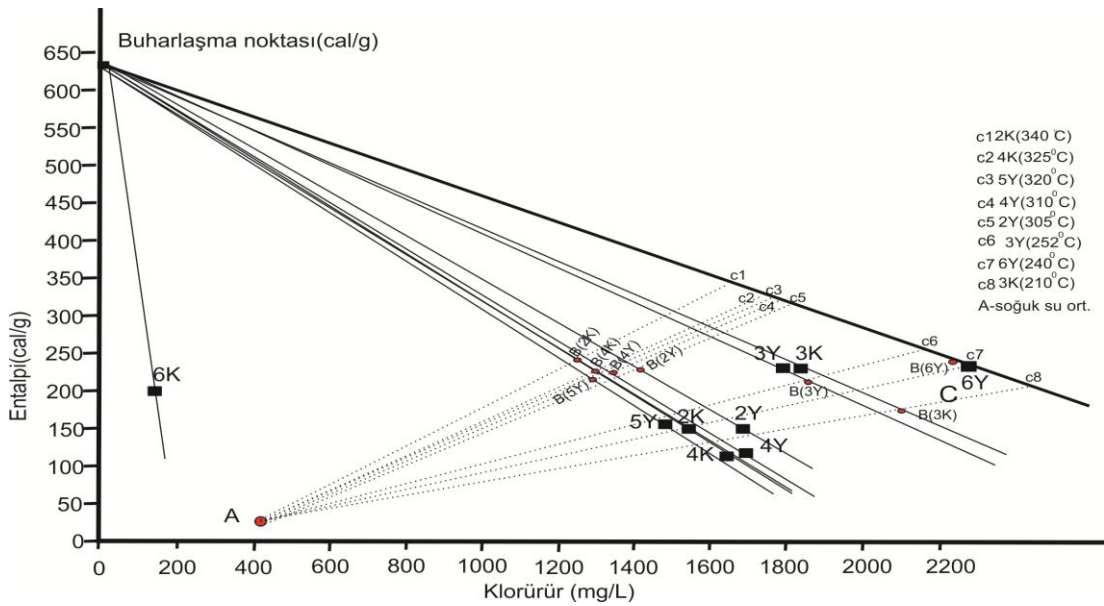
Na/Li jeotermometrelerinde sıcak ve mineralli akışkanların kimyasal analizlerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların iyon etkinlikleri kullanılır ve hesaplanan mol konsantrasyon değerleri dikkate alınır. Ellis ve Wilson (1960) ve Koga (1970) Na/Li oranının düşüklüğü yüksek entalpili jeotermal alanlara karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Foulliac ve Michard (1981) jeotermal alanlarda Na ve Li içeriklerinin sıcaklıkla değişimi ve su-kayaç reaksiyonlarını incelemişlerdir ve sıcak akışkandaki Cl içeriğine bağlı olarak Na/Li jeotermometreleri geliştirilmişlerdir. Lityum minerallerinin doğada az rastlanır olmasından dolayı lityumun denge reaksiyonu sonucu sıcak akışkana girmesi genelde beklenmez. Ancak sıcak akışkandaki lityumun zenginleşmesi iyon değişimi ile açıklanabilir. Minissale ve Duchi (1988) karbonat kayaçların oluşturduğu jeotermal sistemlerde Na/Li jeotermometreleri uygun olduklarını belirtirler. Na/Li jeotermometreleri gerek sedimanter gerekse de volkanik kayaçlardan oluşan akiferlerde düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde olumlu sonuçlar verebilmektedir Düşük sıcaklıklarda magnezyum iyon alışverişi hızlı olduğundan K/Mg ve Li/Mg oranları sıcak akışkanın yüzeye çıkmadan önceki son kayaç-su ilişkisini gösterir. Sıcak sularda sıcaklık arttıkça Mg değeri azalacağından yüksek Mg değerleri sıcak ve mineralli suyun yukarı çıkarken yüzeye yakın kesimlerindeki su-kayaç dengesine bağlanabilir. K/Mg jeotermometresi Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir (Tablo 5.20). Bu Jeotermometre daha çok Na ve Ca' nın yeterince hızlı denge haline ulaşamadığı düşük sıcaklıklı deniz suyu kökenli jeotermal sistemlerde başarılıdır. Tablo 5.21 da inceleme alanındaki sulara ait Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre sonuçları verilmiştir

5.8.3 Karışım Modeli

İnceleme alanındaki sıcak su örnekleri entalpi-klorür karışım modeli irdelenmiş ve elde edilen hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları diğer yöntemlerle bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

5.8.3.1 Entalpi-Klorür Karışım Modeli

Hazne kaya sıcaklığını ve sıcak-soğuk su karışım oranlarını bulmak için geliştirilmiş olan klorür karışım modelindeki diyagramda düşey eksen entalpi (cal/g), yatay eksen ise klorür(mg/l) değerleri yer almaktadır. (Fornier, 1977b). Buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 639 cal/g (2775 kJ/kg) değeri de düşey ekseninde buhar noktası olarak işaretlenmiştir. Çalışma alanındaki sıcak suların ölçülen entalpi ve klorür (mg/l) değerleri diyagrama işaretlenerek, elde edilen noktalar buhar noktası ile birleştirilir. Bu doğru üzerine her bir sıcak su örneğinin kuvars buhar kaybı jeotermometresi (Tablo 5.19, 6 no' lu jeotermometre) ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları işaretlenir (B noktası). B noktası bölgedeki soğuk suların ortalama değerini gösteren A noktası ile birleştirilerek, derişim çizgisi elde edilir. Derişim çizgisi uzatılarak en yüksek klorür değerine sahip olan örneğin(inceleme alanı için 6Y kuyusu) doğrusu ile kesiştirilir (C noktası). Bu doğru üzerinde elde edilen en yüksek ve en düşük değerler jeotermal sistemin olası maksimum ve minimum hazne kaya sıcaklığını verirler. Ayrıca, derişim çizgisi üzerindeki AB ve AC doğru parçaları kullanılarak, sıcak suların soğuk sularla yaptığı karışım oranları bulunur. Burada AB/AC oranı karışımdaki sıcak su değeri vermektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-klorür diyagramı(Fournier, 1977b)

Bu yöntemle elde edilen en yüksek ve en düşük hazne sıcaklıkları Şekil 5.6 görüldüğü gibi 210-340 °C arasında değişmektedir. Burada suların karışım oranları ($K=(AB/AC) \times 100$), Germenik-İncirliova jeotermal alanında ki çıkış suları %64-98 oranında hazne ana akışkanını içermektedir. AC-1 kuyusu(6K) sıcak ve soğuk sularının klorür içerikleri çok düşük ve aralarında bir fark yoktur. Bu durumda entalpilerinden gelen farklar suların karışım oranlarını belirlemede yeterli değildir. Rezervuara göre, klorür zenginleşmesi ancak buhar kaybı ile gerçekleşebilir. Bu durumda, örneklerde buhar kaybı söz konusudur.

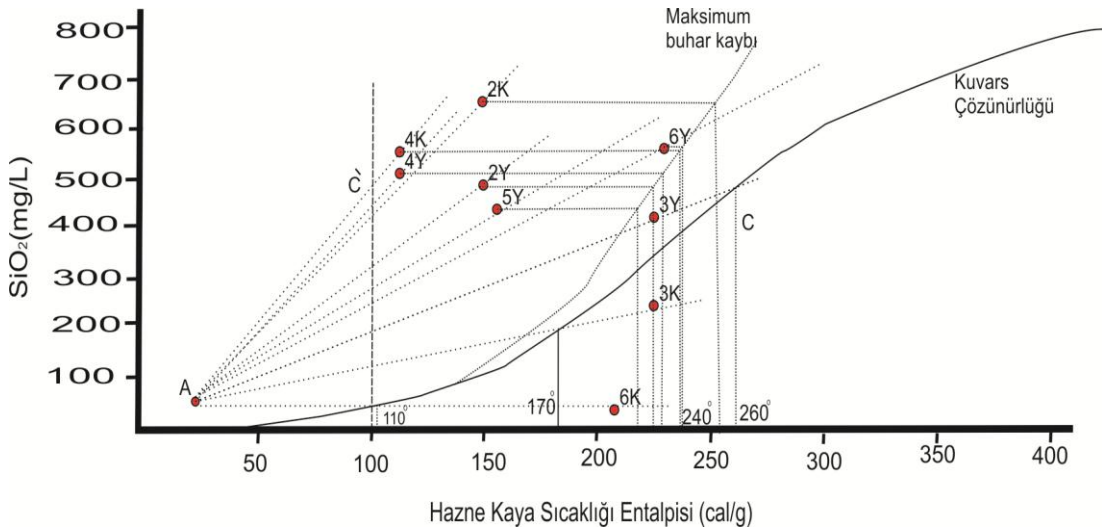
Tablo 5.22 İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-Klorür modeline göre hesaplanan sıcak su karışım oranları

Örnek No	2K	4K	3K	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y
Entalpi-Klorür Karışım Modeli	67	68	82	70	82	68	64	98

5.8.3.2 Entalpi-Silis Karışım Modeli

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli, abak diyagramı kullanılarak karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğunu ve olmadığını her iki durumda da uygulanabilmektedir(Fournier, 1977b). Diyagramda (Şekil 11) A noktası bölgenin soğuk sularını yansıtan SiO_2 (mg/l) ve entalpi (cal/g) değeridir. Diyagrama çalışma alanındaki Jeotermal Alanları'ndaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilmiş ve bu doğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan hazne kaya sıcaklıkları elde edilmiştir. C noktası karışım noktasındaki sıcak suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir. Buraya kadar anlatılan işlem karışımdan önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşulları yansıtır. Karışımdan önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) olması durumunda ise AB doğru parçası kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmediğinden diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle suyun yüzeyde buharlaştığı entalpi değerinden (100 cal/g) bir dikme çıkılarak, dikmenin AB doğrusunu kestiği C' noktasından yatay eksene bir

paralel çizilmiştir. Bu paralelin maksimum buhar kaybı eğrisini kestiği D noktasından da yatay eksene dikme inilerek, hazne sıcaklıkları elde edilmiştir. Silis-entalpi diyagramlarına göre çalışma alanındaki jeotermal sistemlerinin hazne kaya sıcaklığı 110-260 °C arasında değişmektedir (Şekil 5.8). Silis-entalpi diyagramı da, klorür-entalpi diyagramında olduğu gibi sıcak su karışım oranlarını belirlenmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.8 İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-SiO₂ diyagramı

Germencik-İncirlioiva alanı jeotermal suları bir çizgisellikten uzak farklı karışım ve entalpileri ile karışık bir görünüm oluşturmaktadır. Sularda hem ısı hemde SiO₂ kazanımı veya tersi bulunmaktadır. SiO₂ miktarı aynı fakat entalpileri farklı olan sular bir ısı alma çizgisi üzerinde olup buradaki ısı buhar ısıtım bir görünüm verirken, tersi durumda SiO₂ yükselimi ana akışkanın sular üzerindeki etkisini göstermektedir. Diğer yandan bir soğuma ile ısı kaybı ve karışımdan kaynaklanan seyrelme olarak bakıldığında sulara soğuk su girişimi ile soğuma ve seyrelme gerçekleşmektedir. Diğer bir görünüm ise, dış sistem ile herhangi bir ısı dönüşümü olmaksızın sıvı içeriğindeki zenginleşmeye bağlı olarak buhar kaybı sırasında, sıvının içsel enerjisinin azaldığı veya dış sistemden enerji olarak içerik ve enerji yükselimidir. Bu durumların hangisinin doğru olduğu Cl-entalpi diyagramı ve diğer analiz verileri ile birlikte değerlendirilmesini sonuçlamaktadır. Cl-entalpi diyagramı ısı zenginleşmesine bağlı süreçlerin yorumlanması için çok uygundur.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Mendereres Grabeninin ortasında yer alan çalışma alanındaki en yaşlı kayaçlar, Menderes Masifi adı altında toplanan şist, gnays, mermer ve kalkşistlerdir. Paleozoyik yaşlı bu kayaçların üzerine Neojen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kil, silt birimleri gelir. Neojen birimlerinin üstünde kuvaterner yaşlı gevşek tutturulmuş çakıltaşlarından oluşan (yer yer killi) Umurlu formasyonu ile taraça, traverten, alüvyon yelpazesi ve alüvyonlar yer alır.

Büyük Menderes Grabeni'ndeki jeotermal alanlar devirli jeotermal sistem özelliğindedir. Bu Jeotermal sistemlerde meteorik sular fay hatları ve tektonik kırıklar boyunca yeraltına süzülürler. Süzülen bu sular, graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşan magma tarafından ısıtılır. Sıvılarda yoğunluk farkından dolayı ortaya çıkan konveksiyon ısı akımları ile ısınan sular tektonik hatlar boyunca tekrar yükselerek, yeryüzüne ulaşırlar. Bölgedeki jeotermal aktivitelerin en fazla olduğu alanlar doğu-batı uzanımlı graben faylarıyla kuzey-güney yönlü doğrultu atımlı fayların kesiştiği zayıflık zonlarıdır. Sıcak su kaynakları genelde bu kesişim zonlarından çıkmaktadır. Kuzey güney yönlü faylar jeotermal sistemin oluşmasında etkili olup doğu- batı doğrultulu graben faylarına bağlı olarak uzanan jeotermal sahaların, kısmen jeoloji sınırların oluşturmaktadır.

İnceleme alanında yapılan önceki çalışmalarda örneklenmiş olan 12 su noktası analizleri alınmıştır. Mevcut su analiz değerleri Agua Chem 3.7, Watch 2.1, Aq.Qa , microsoft offise bilgisayar programlarına aktarılarak değerlendirilmiştir. Watch 2.1, Phreeqc 2.12.5 kimyasal türleştirme ile her bir su noktasının akifer karakteristikleri ve mineral doyunlukları irdelenmiştir.

Shell petrol firmasında kış döneminde alınan su örneği, Na-Ca-Mg-Cl, Naipli Çayından yaz döneminde alınan su örneği ise, tipi Na-Ca-Cl-HCO₃'lü sular sınıfına girmekte olup, inceleme alanındaki diğer sular ise, Na+K-Cl-HCO₃'lü sular sınıfındadır. Çalışma alanındaki sular yüksek bor derişimine sahiptir. Tarımsal amaçlı

kullanılmamalıdır. Bölgede ki suların kullanımı sırasında çevreye olan etkileri araştırılmalıdır.

Kuvars jeotermometrelerinden bazı su noktaları için, eksi değerler veya ölçülen kaynak ve sondaj sıcaklığından düşük değerler verdikleri gözlenmiştir. Diğer silis jeotermometrelerinden ise, 50-270°C arasında değişen akifer sıcaklıkları elde edilmiştir. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir. Suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre 150°C' den 270° C'ye ulasan çok çeşitli akifer sıcaklık değerleri elde edilmiştir inceleme alanındaki hazne sıcaklıklarına yakın değerler çıkmıştır. Si termometresine göre daha sağlıklı sonuçlar verir.

Çalışma alanındaki sıcak kaynaklarda tüm mineraller belirli sıcaklık derecesine kadar doygunluk üstü değerler vermektedir. Ömerbeyli jeotermal alanındaki sular genel olarak kalsit kalsedon aragonit ve kuvars mineralleri 180° ye kadar doygunluk üstü değerler verir. SiO₂(a) 90°kadar doygunluk üstü değer verir. Dolomit, anhidrit ve jips mineralleri ise genellikle doygunluk altı değerler verir. Bir bütün olarak değerlendirildiğinde genel olarak sularda kalsit kalsedon aragonit ve kuvars çöktürücü Dolomit, anhidrit ve jips ise çözücü özelliktedir. Tüm sıcak ve mineralli sular doygunluk indeksi değerlerinin Anhidrit gibi minerallerin doygunluk indeksi değerleri için eksi değerde olması bu suların çürütücü etkiye sahip olduğunu gösterir ve bu da zamanla sondaj borularını kullanılamaz hale gelmesine neden olabilmektedir. Kalsit ve Dolomit gibi minerallerin doygunluk indeksi değerlerinin doygunluk üstü değerler vermesi ile su bu mineralleri çöktürücü özellikte olup, bu suların kullanımı esnasında kabuklaşma sorununa neden olabileceği dikkate alınmalıdır.

Jeotermal enerjinin doğru kullanılabilmesi için sahanın işletilebilir potansiyelinin ortaya çıkarılmasına yönelik gerekli geliştirme çalışmalarının yapılması, yeni kuyuların açılması önerilmektedir. Üretim aşamasında her jeotermal alan için bir üretim modeli geliştirilmeli ve atık termal sular mutlaka reenjeksiyon kuyularından hazneye geri basılmalıdır.

Bölgenin ılıman iklim özellikleri ve turistik potansiyeli göz önüne alındığında; başta düşük entalpili bir kaynaklar olmak üzere sıcak suların kullanımları sera ısıtmacılığı, balneoterapik ve kaplıca turizmine yönelik amaçlar için kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. & Svavarsson, H.(1983). The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 147, 567-577. Pergamon Press. USA.
- Baba, A. (2006). Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü Ders Notları
- Back, W., (1996). Hydrochemical facies and groundwaterflow patterns in northenpart of *Atlantic Coastal Plain*. *U.S. Geology Survey Proffesional paper*, 498-A, pp.42.
- Başkan, E. (1970). Germencik(Aydın)-Çamurlu Ilıca ve Bozköy Kaplıcası hidrojeolojisi etüt rapaoru (MTA. Raporu)
- Başkan, M.E., Canik, B., (1983). AIH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası. *MTA 189*, 80p.
- Brinkmann, R., (1966) *Geotektonische Gliederung von West Anatolien* M.T.A. Dergisi, 66, 61 - 74.
- Calmbach, L., (1997), *AquaChem Computer Code Version 3.7.42, Phreeqci (Parkhurst & Appela, 1999) Waterloo Hydrogeologic*. Waterloo, ON.
- Candan, O., (1992) Menderes Masifi/Demirci-Gördes Asması'nde Kula-Yeşilyurt kasabaları arasında kalan bölgenin jeolojisi, petrografisi ve metamorfizma evrimi D.E.Ü. Rektörlüğü 0.908.90.05.02 nolu proje;11295
- Correia, H.; Escobar C.; Gauthier, C. (1990), *Germencik geothermal field feasibility report*, part two, October, Ankara.

- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., (2000). *Geothermometry*. S. Arnórsson, (Ed.), *Isotopic And Chemical Techniques In Geothermal Exploration, Development And Use* (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 s.
- Dora;O.Ö., (1975), Menderes Masifinde alkali feldispatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarla kullanılması : Türkiye Jeol. Kur. Bült., 18, 111-126.
- Erguvanlı, K., ve Yüzer, E. (1973). Yeraltı Suları jeolojisi (hidrojeolojisi) .İ.T.Ü. Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Maçka, İstanbul.
- Ellis, A.J. ve Wilson, S.H., (1960), *The geochemistry of alkali metal ions in the Wairakei hydrothermal system*. N.Z.J. Geol. Geophys., 3, 593-617
- Fetter, C.W. (1994), *Applied Hydrogeology Third Edition University of Wisconsin - Oshkosh. Mc Millian College Publishing Company, New York, 691 p.*
- Filiz, Ş., Tarcan, G., ve Gemici, Ü., (1999) Germencik (Aydın) jeotermal alanlarının hidrojeokimyasal açıdan incelenmesi *DEÜ mühendislik fakültesi fen ve mühendislik dergisi 1*, 41-64
- FİLİZ, Ş., (1982), Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O-18, H-2, H-3, C-13 izotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., 1-95, İzmir (Yayınlanmamış).
- Ford, D.C., ve Williams, P.W. (1989), *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman Ltd., London, 601 p.
- Fournier, R. O. (1990), The Interpretation of Na-K-Mg Relations in Geothermal Waters. *Geoth. Res. Council Trans.*, 14, 1421-1425.

- Fournier, R.O. (1979), "A Revised Equation for the Na/K Geothermometer" *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, 221-224.
- Fournier, R.O.(1991), "Applications of geochemistry in geothermal reservoir development", Rome, UnitarPublication.
- Fournier, R.O. (1977), "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems", *Geothermics*, 5, 41-50.
- Fournier, R. O. (1977a) A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. *Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy. Cento Scientific programme*, Ankara, 133-143.
- Fouillac, C. ve Michard, G., (1981), Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*.10,55-70
- Gemici, Ü., (1999), Çesme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Aralık, İzmir.
- Giggenbach, W.F., (1988), "Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geothermometers" *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765
- Helgeson, H.C.; Kirkham, D.H.; Flower, G.C. (1981) Theoretical prediction of the behaviour of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600 °C and 5 kb: *American Journal of Science*, 281, 1249-1516.
- Hem, J.D., (1985) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. US Geol. Surv. Water-Supply Pap. 2254, third ed.
- Kadıoğlu, S., Telliöğlu, Z., (1996), TMMOB 1. Enerji Sempozyumu 12-14 Kasım

- Karahan, Ç.,(2009), Aydın Çiftlik Aç-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu MTA derleme No: 11183
- Karahan, Ç., Kara, İ., Özkan, R., Ceyhan, S.,(2000), Aydın- Alangüllü –Bozköy sıcaksu sondajı (A-2) Kuyu bitirme raporu. M.T.A derleme no 10469
- Karamandere ,İ.H., Aksoy N, Çiçekli K.,(1989), Aydın Alangüllü(A-1) sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu M.T.A derleme no 8725
- Koçak, A., (1976), Germencik(Aydın)-Çamurlu Ilıca ve Bozköy Kaplıcası Hidrojeoloji etüdü M.T.A derleme no:5829
- Koga, A., (1970), Geochemistry of the waters discharged from drillholes in Otake and Hatchobaru areas (Japan). *Geothermics. Spesial issue*, 22 (2), 1422-1425.
- Kun N., Candan, O., Dora, O.Ö., (1988 a), Kiraz-Birgi yöresinde (Ödemiş-Menderes Masifi) metavolkanitlerinin (leptitlerin) varlığı: Türkiye Jeol, Kur, Bült, 32, 21-35.
- Kun, N., Candan, O., (1987 a), Ödemiş Asmasıfideki leptitlerin dağılımı, konumları ve oluşum koşulları, TBAG-688 nolu proje, 133
- Kun, N., Candan, O., (1987 b). Menderes Masıfideki erken paleozoik yaşlı bazik damar kayaları, *H.Ü, Yer Bil Derg. c, 14*.
- Minissale&Duchi., (1988), Geotermometry on fluis circulating in a carbonate rezervoir in North-central Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 35, 237-253.
- Maden Tetkik ve Arama (MTA) (2009)., İl İl Türkiyenin yeraltı kaynakları MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeotermal Envanteri, Ankara,

- Maden Tetkik ve Arama (MTA) (1996)., Germencik-Ömerbeyli-Bozköy-Çamur Jeotermal Alanı. MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeotermal Envanteri, Ankara, sayfa:68-74.
- Nicholson, K., (1993), *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, 263p.
- Özgür, Ö., (1984), Aydın-Germencik-Ortaklar dolayında genç tektoniğe bağlı jeomorfolojik gelişme Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi, Ankara.
- Piper, A.M., (1953), A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *U.S. Geol. Surv. Ground Water, No:12*.
- Şahinçi, A. (1991), Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, Beyler, İzmir, 548.
- Şahinci, A. (1991a), Dogal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, Beyler, İzmir, 548.
- Şahinci, A. (1986), Yeraltı suları jeokimyası. MM/JEO – 86. İzmir.
- Şahinci, A., (1991), Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 546.
- Şahinci, A.,(1991b), Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. Reform Matbaası, Beyler, İzmir, 548.
- Şimşek, Ş.,(2003) Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Buyuk Menderes graben, Turkey Hacettepe University, Engineering Faculty, Geological (Hydrogeology) Engineering Department, 06532 Beytepe, Ankara, Turkey Received 2 April 2003; accepted 23 June 2003
- Şimşek, Ş.,(2006) in: Hamendi A., Numerical Simulation Of Germencik Geothermal Field 2009 79 s.

- Şimşek,Ş., (1984). Aydın-Germencik-Omerbeyli Field of Turkey. Seminar on Utilisation of GeothermalEnergy for Electric Power Production and Space Heating, 14-17 May, Florence, Italy. Sem. Ref. No. EP/SEM.9/R.37.
- Şimşek, Ş., Uygur, N., Özbayrak İ.H., Çoşkun, B.,Dikmenoğlu,T., Aras, A.,(1980), Aydın(Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanaklarıTübitak IV. Bilim Kongresi Kuşadası
- Sözbilir,H., ve Emre, T.,(1991), Neogene stratigraphy and structure of the norther rim of the Büyük Menderes graben. *İnternational Earth Science Congress on Aegean Regions, Proceeding, Voll. II*, 314-322
- Tarcan, G., Filiz, Ş., Gemici, Ü., (2000), Davutlar Kaplıcası (Kuşadası-Aydın) çevresinin hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, c. 2, 1*, 91-110.
- Tarcan, G., (2004), Mineral saturation and scaling tendencices of waters discharged from wells (>150°C) in geothermal areas of Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 142 (2005)* s. 253-283.
- Tarcan, G. (2003), Jeotermal Su Kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Yaz Okulu Ders Kitabı-JENERUM D.E.Ü.-Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No:306, s:198-245.
- Tarcan, G. (1989), Urla – İçmeler (İzmir) ve çevresinin jeolojik – hidrojeolojik incelenmesi, yeraltı sularının jeokimyasal yorumlanması. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bil. Enst. Jeo. Müh. Böl. , Uyg. Jeo. Anabilim Dalı, İzmir. (Yayınlanmamış).
- Tekin,F.,ve Hafizoğlu,E.,2000) Batı Anadolu'daki önemli fay zonları ve deprenselliğe etkileri
www2.bayar.edu.tr/somamyo/dergi/docs/dergi/sayi1/O204S11.pdf

TS-266, (1997), Türk Standartları İçme Suları. UDK 663.7.543, 32 s.

UNION OIL, (1983) *Union Geothermal Division, Union Oil Company of California*, 2099 Range Ave. P.O.Box : 6854, Santa Roza, California.

Yıldırım, T., (1983), Çubukdağı civarının (Büyük Menderes Grabeni) morfolotektonik yorumu: *Jeomorfoloji Derg.*, 11, 69-79,

Yılmazer, S., (1980), *Aydın Yöresinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları*.

Yurttaş, Ö., (2008), Ilıcabaşı jeotermal alanının(Aydın) hidrojeolojisi Aralık, 2008, İzmir yüksek lisans tezi Dokuz Eylül Üniv.

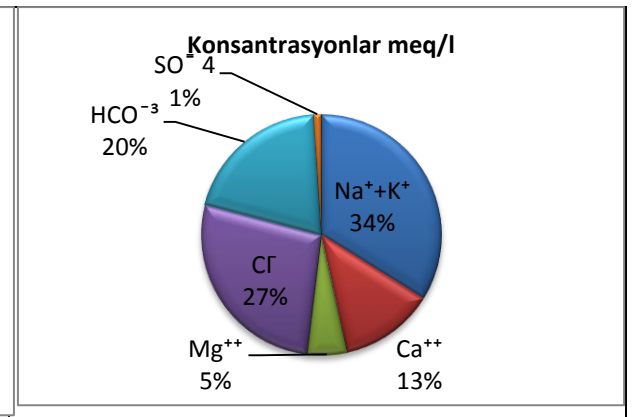
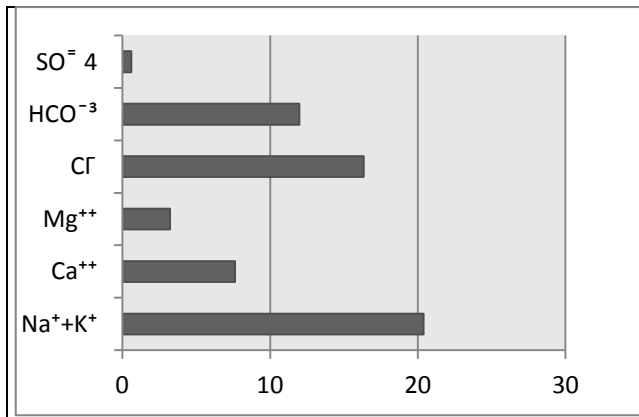
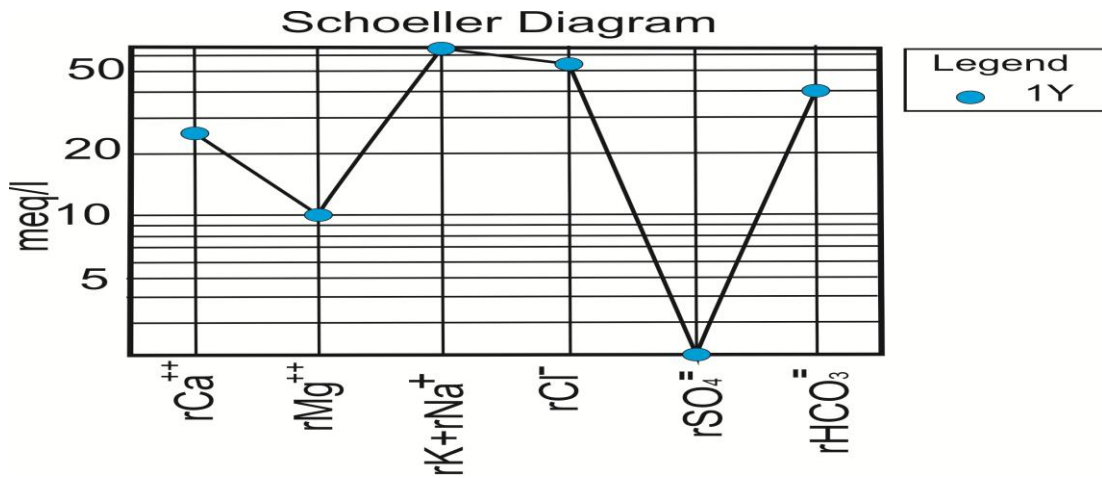
White, D.E, (1970), *Geochemistry Applied to the Discovery, Evaluation, and Explo-ration of Geothennal Energy Resources*. Piza 1970 Distr. Limited. U. N. Symposium.

WHO(Word Health Organisation) Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma Suyu Standartları

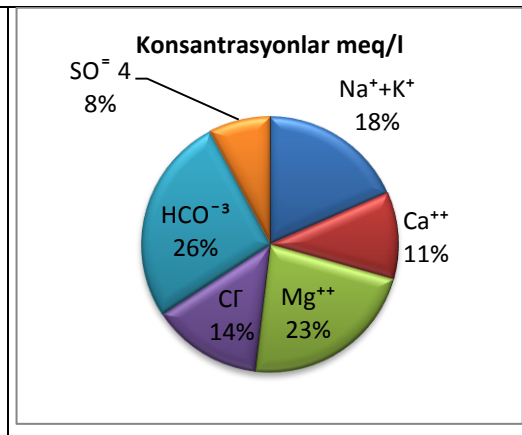
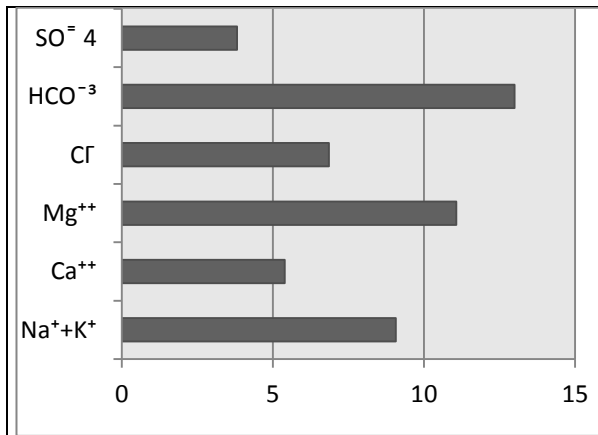
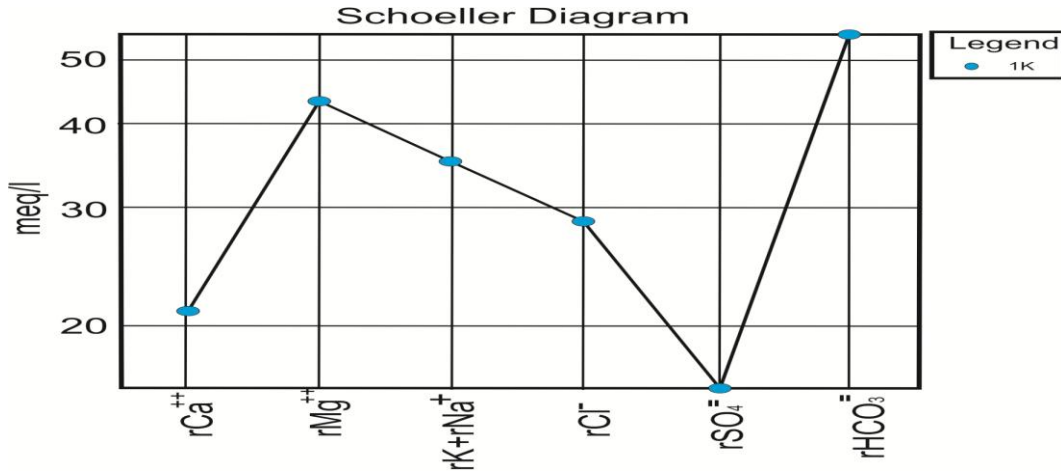
International Association of Hydrogeologists(IAH),(1979), *Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000*, United Kingdom.

EKLER-1
SICAK VE SOĞUK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ

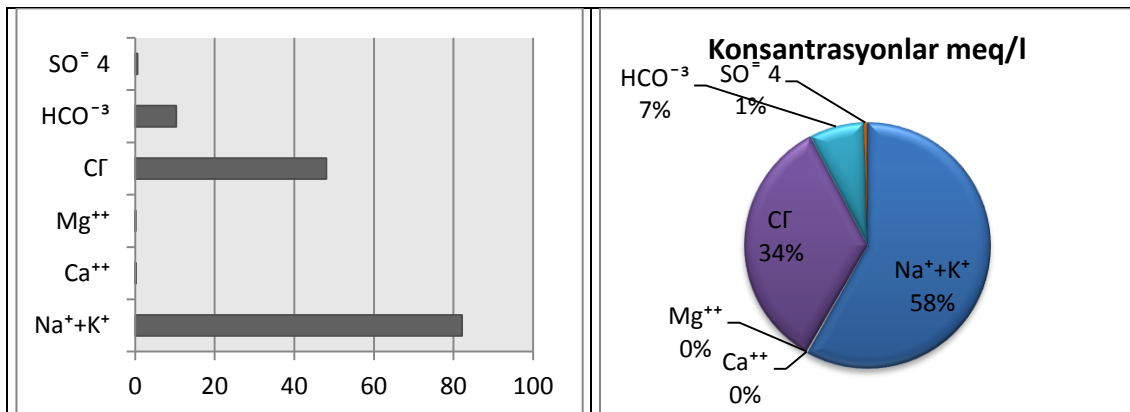
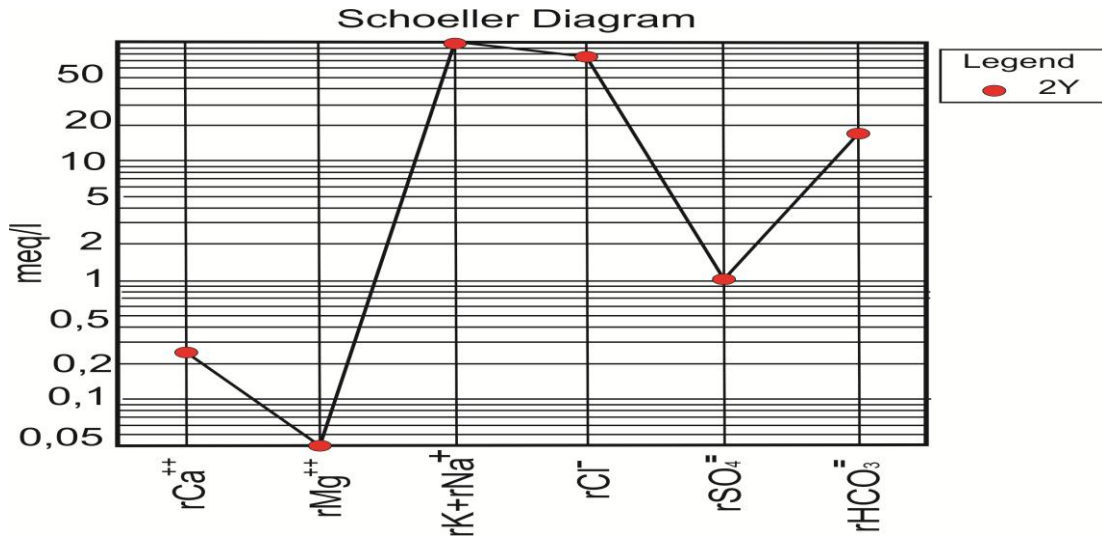
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki									
Örnek Adı ve Tarihi: Naıplı Çayı 1Y				pH(-logH)		6,84			
Lab no: 36			Sıcaklık(°C)		26		EC(µmho/cm)		2400
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	444,30	19,31	61,79	65,54	0,019	0,0095	0,83	0,0157	
K ⁺	42,20	1,08	3,456	6,22	0,00108	0,00054	0,81	0,00087	
Ca ⁺⁺	152,60	7,63	24,416	22,51	0,0076	0,0152	0,508	0,0038	
Mg ⁺⁺	38,80	3,23	10,33	5,72	0,0032	0,0064	0,539	0,0017	
Cl ⁻	572	16,34	56,48	42,92	0,0163	0,0081	0,81	0,013	
HCO ⁻³	731	11,98	41,41	54,85	0,0119	0,00595	0,83	0,0098	
SO ⁴⁻	29,7	0,61	2,10	2,22	0,00061	0,00122	0,47	0,00028	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				31,25		Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		677,9	
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				28,93		Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		1332,7	
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				60,18		Toplam İyon Miktarı (mg/l)		2010,6	
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,0405		% e (Hata Yüzdesi)		3,85	
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				8,28		Sertlik (Fr)		54,3	
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,29		rCa/rMg Oranı		2,36	
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				0,57		Slj (Jips Doygunluk İndeksi)		-1,36	
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				0,81		LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,03	
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				4,784		SiO ₂ (mg/l)		44	
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-Ca-Cl-HCO ₃				Fo (köpürme		Katsayısı)		1281,6	



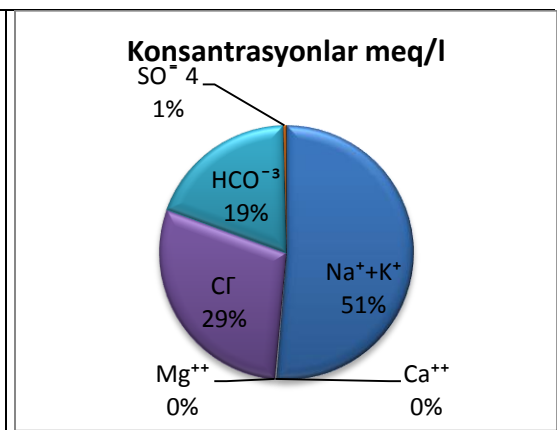
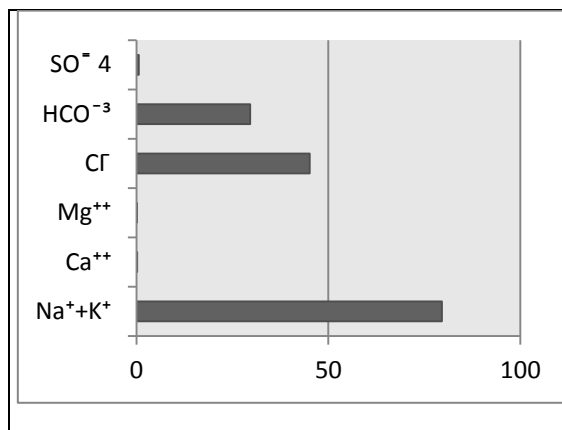
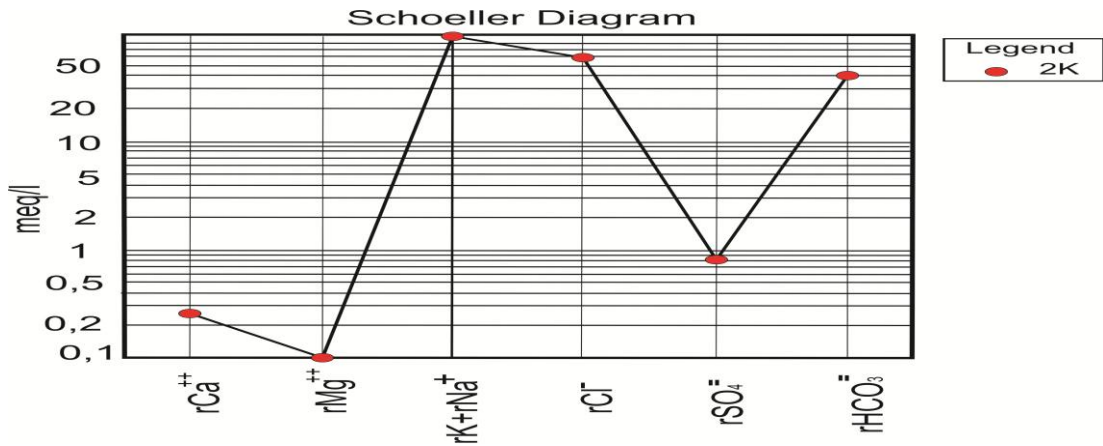
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki								
Örnek Adı ve Tarihi: Shell petrol firması 1K						pH(-logH)		7,09
Lab no: A-1			Sıcaklık(°C)		23	EC(µmho/cm)		2020
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	199,372	8,66	33,92	43,72	0,0086	0,0043	0,81	0,0069
K ⁺	15,84	0,406	1,59	3,47	0,0004	0,0002	0,80	0,00032
Ca ⁺⁺	107,88	5,394	21,12	23,65	0,0053	0,0106	0,47	0,0024
Mg ⁺⁺	132,87	11,07	43,36	29,1	0,011	0,022	0,50	0,0055
Cl ⁻	240	6,85	28,95	19,73	0,0068	0,0034	0,80	0,0054
HCO ⁻³	793	13	54,9	65,21	0,013	0,0065	0,81	0,0105
SO ⁴⁻	183	3,81	16,1	15,04	0,0038	0,0076	0,43	0,0016
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				25,53	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			455,96
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				23,66	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			1216
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				49,19	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1671,9
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,05	% e (Hata Yüzdesi)			3,8
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				3,01	Sertlik (Fr)			82,32
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,4	rCa/rMg Oranı			0,48
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				1,65	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			0,19
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				2,68	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,25
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				3,34	SiO ₂ (mg/l)			39
Hidrokimyasal fasiyes tipi Mg- Na-Ca-HCO ₃ -Cl					Fo (köpürme Katsayısı)		615,3	



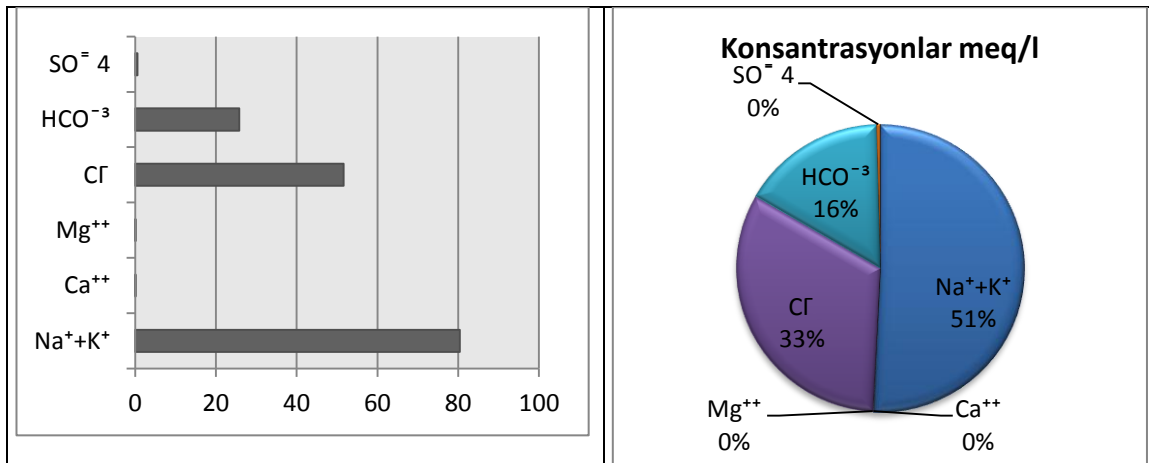
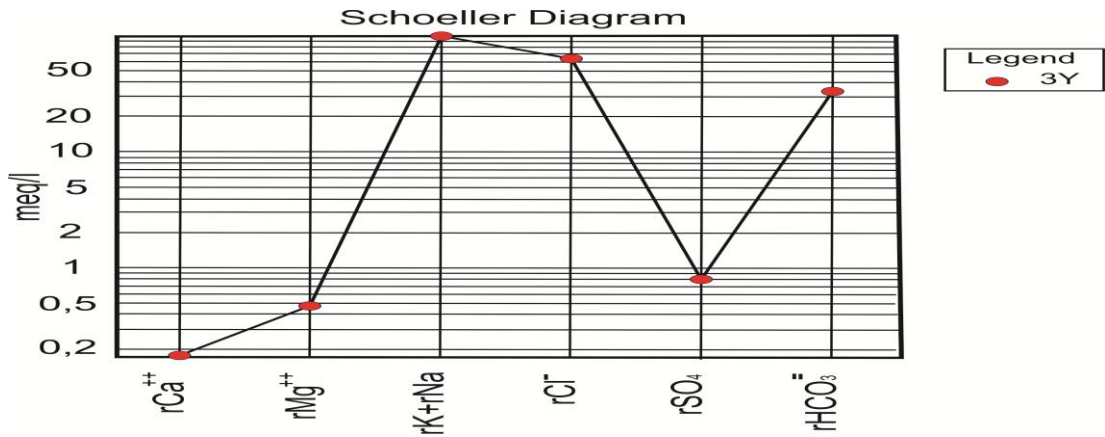
Ayдын Germencik Ömerbeyli mevki									
Örnek Adı ve Tarihi: AG22		Reenjeksiyon kuyusu 2Y		24.06.2010		pH(-logH)		8,95	
Lab no: 37		Sıcaklık(°C)		23,7		EC(µmho/cm)		6830	
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.SCZ ²	F	AC	
Na ⁺	1789	77,78	94,45	91,13	0,0777	0,03885	0,79	0,061	
K ⁺	169,70	4,35	5,28	8,76	0,0043	0,00215	0,78	0,0033	
Ca ⁺⁺	4,40	0,22	0,26	0,22	0,00022	0,00044	0,44	0,000096	
Mg ⁺⁺	<0,5	0,033	0,04	0,02	0,000033	0,000066	0,47	0,000015	
Cl ⁻	1681	48,02	81,48	71,85	0,048	0,024	0,78	0,037	
HCO ⁻³	628,8	10,30	17,47	26,87	0,0103	0,00515	0,79	0,0081	
SO ⁴⁻	29,7	0,61	1,035	1,26	0,00061	0,00122	0,39	0,00023	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				82,35	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				1963,1
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				58,93	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				2339,5
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				141,2	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				4302,6
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,071	% e (Hata Yüzdesi)				16,5
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				218,68	Sertlik (Fr)				1,265
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				4,40	rCa/rMg Oranı				6,67
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				3,803	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-3,04
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				21,87	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-3,23
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				86,12	SiO ₂ (mg/l)				494,5
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl					Fo (köpürme Katsayısı)				5161,6



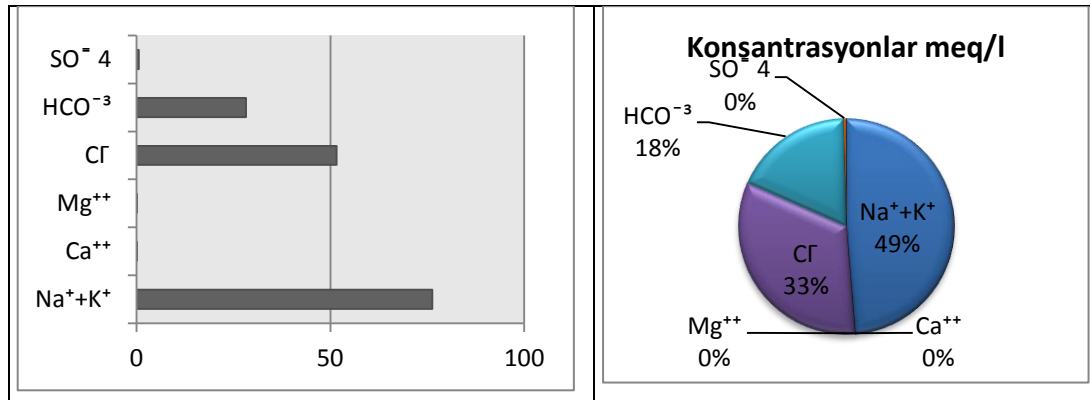
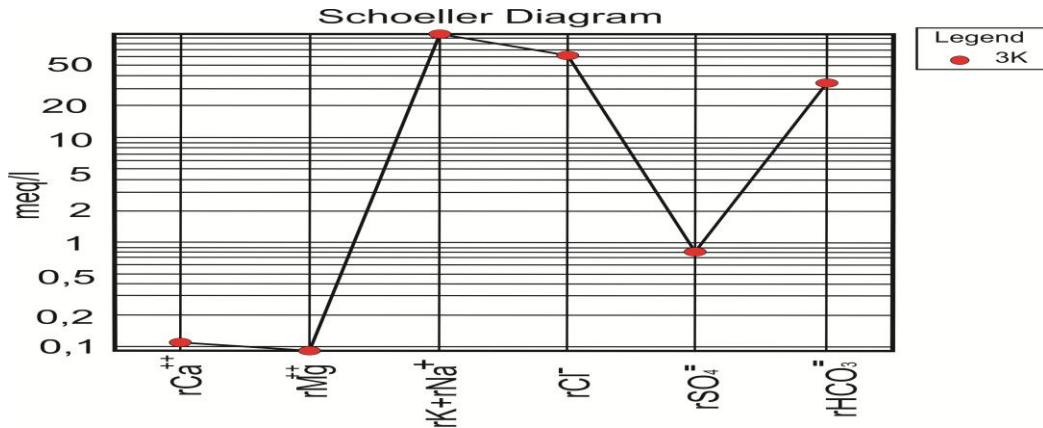
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki								
Örnek Adı ve Tarihi:			Ömerbeyli enj. Kuyusu 2K			pH(-logH)		8,5
Lab no: A-2			Sıcaklık(°C)			EC(µmho/cm)		7330
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1737,2	75,5	94,5	91,35	0,075	0,037	0,79	0,059
K ⁺	159	4,07	5,09	8,36	0,004	0,002	0,78	0,003
Ca ⁺⁺	4,3	0,21	0,26	0,22	0,0002	0,0004	0,44	0,00008
Mg ⁺⁺	1	0,083	0,103	0,052	0,00008	0,00016	0,47	0,00003
Cl ⁻	1580	45,14	59,5	46,25	0,045	0,0225	0,78	0,035
HCO ₃ ⁻	1806	29,6	39,01	52,86	0,029	0,014	0,79	0,022
SO ₄ ⁻	30	0,62	0,81	0,87	0,0006	0,0012	0,39	0,0002
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				79,86	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1901,5
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				75,36	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			3416
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				155,22	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			5317,5
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,078	% e (Hata Yüzdesi)			2,89
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				197,25	Sertlik (Fr)			1,46
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,49	rCa/rMg Oranı			2,53
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				0,9	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			-3,18
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				1,4	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2,34
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				70,28	SiO ₂ (mg/l)			665
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			4998,4



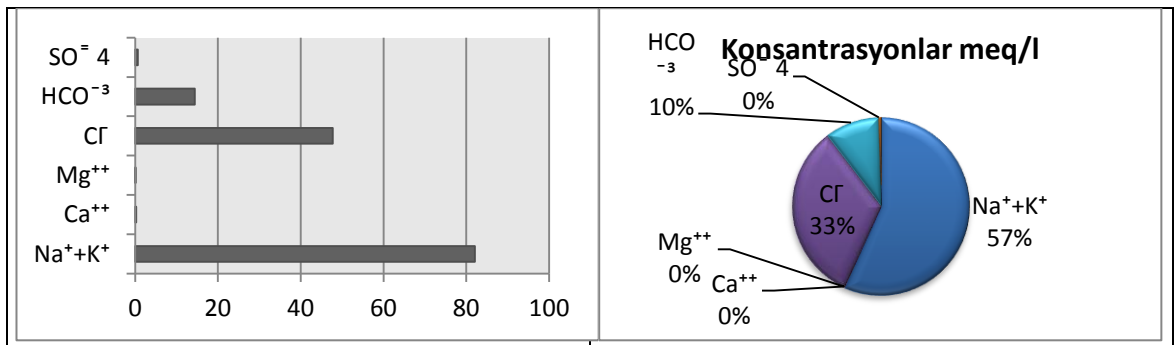
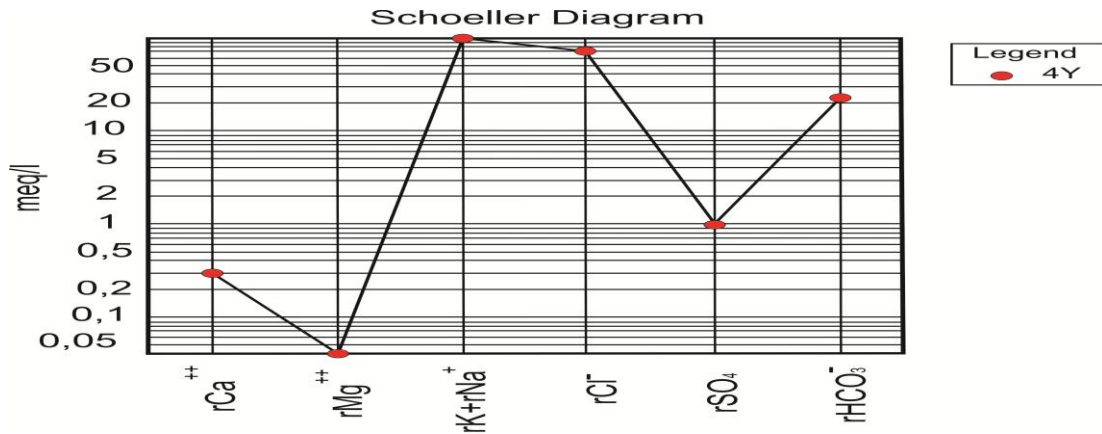
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki								
Örnek Adı ve Tarihi:			ÖB-10 3Y		24.06.2010		pH(-logH)	
Lab no:			Sıcaklık(°C)		16		EC(µmho/cm)	
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1755,10	76,30	94,72	91,53	0,076	0,038	0,78	0,059
K ⁺	159,20	4,08	5,06	8,30	0,00408	0,00204	0,77	0,0031
Ca ⁺⁺	2,80	0,14	0,17	0,14	0,0014	0,0056	0,42	0,0011
Mg ⁺⁺	<0,5	0,033	0,49	0,0017	0,000033	0,000066	0,46	0,000015
Cl ⁻	1807	51,62	66,17	53	0,0516	0,0258	0,77	0,039
HCO ⁻³	1573,0	25,78	33,04	46,13	0,02578	0,01289	0,78	0,0201
SO ⁴⁻	29,7	0,61	0,78	0,87	0,00061	0,00122	0,37	0,00022
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				80,55	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1917,5
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				78,01	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			3409,7
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				158,56	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			5327,2
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,085	% e (Hata Yüzdesi)			1,601
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				259,42	Sertlik (Fr)			0,865
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,95	rCa/rMg Oranı			4,24
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				1,124	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			-2,006
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				0,40	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı)			-1,5
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				86,26	SiO ₂ (mg/l)			415,3
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			5048,84



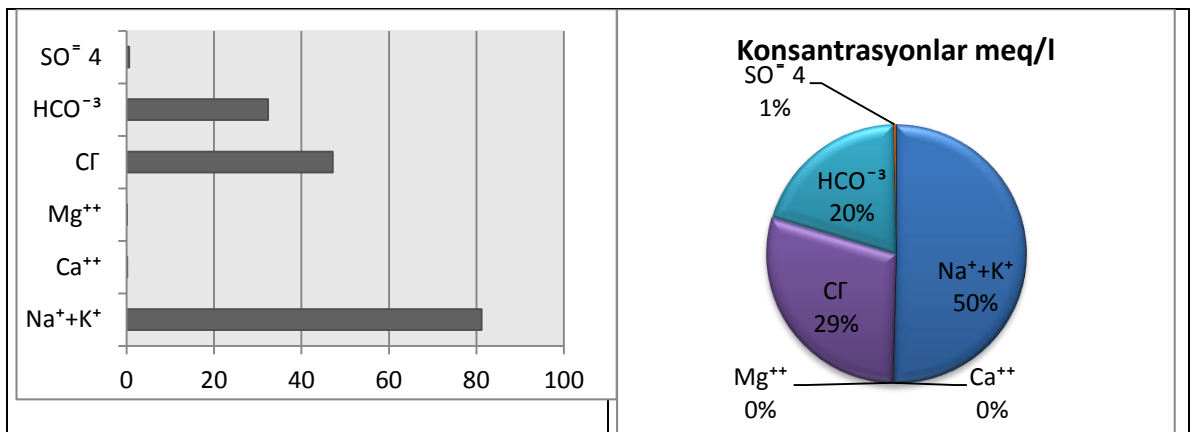
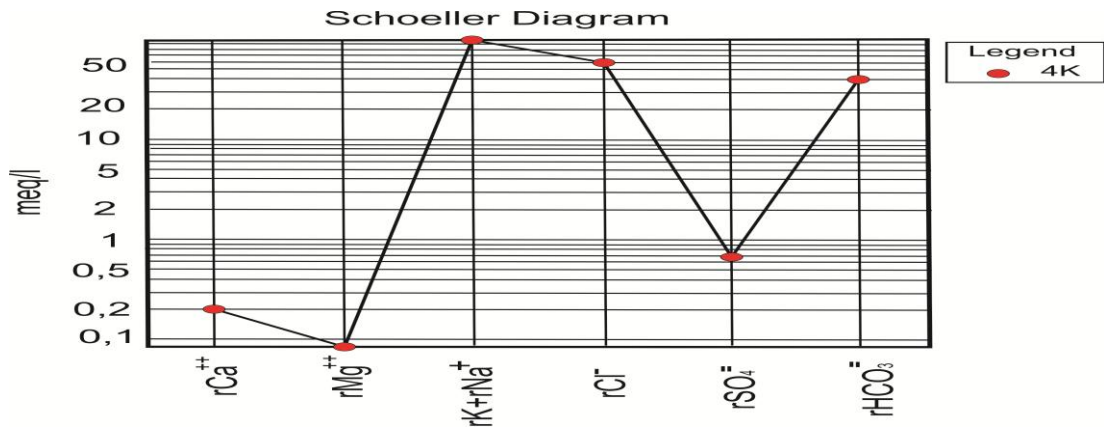
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki									
Örnek Adı ve Tarihi:			Öb-10 3K			pH(-logH)		7,98	
Lab no: A-2			Sıcaklık(°C)			16,5	EC(µmho/cm)		7130
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	1667,1	72,48	94,86	91,75	0,072	0,036	0,79	0,056	
K ⁺	147	3,76	4,92	8,56	0,003	0,0015	0,78	0,0023	
Ca ⁺⁺	1,9	0,09	0,11	0,104	0,00009	0,0018	0,44	0,00003	
Mg ⁺⁺	0,9	0,07	0,09	0,04	0,00007	0,00014	0,48	0,00003	
Cl ⁻	1805	51,57	64,11	50,73	0,051	0,025	0,78	0,039	
HCO ⁻ ₃	1723	28,24	35,11	48,42	0,028	0,014	0,79	0,022	
SO ₄ ⁻	30	0,62	0,77	0,84	0,0006	0,0012	0,39	0,0002	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				76,4	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				1816,9
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				80,43	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				3558
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				156,83	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				5374,9
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,078	% e (Hata Yüzdesi)				-2,56
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				256,25	Sertlik (Fr)				0,8
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,78	rCa/rMg Oranı				1,28
Slc(Kalsit Doymunluk indeksi)				-0,04	Slj (Jips Doymunluk İndeksi)				-3,61
Sld(Dolomit doymunluk indeksi)				-0,06	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-1,82
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				69,2	SiO ₂ (mg/l)				238
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			4787	



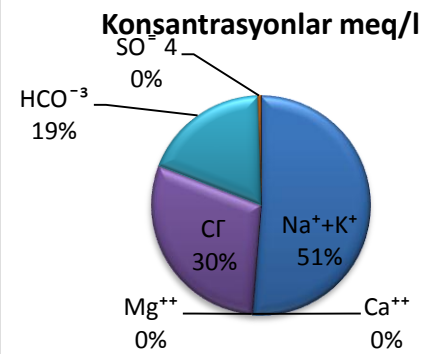
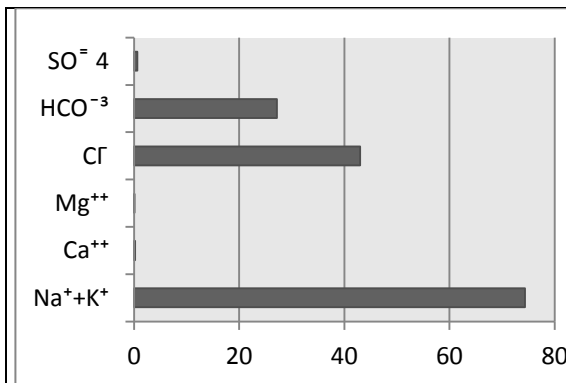
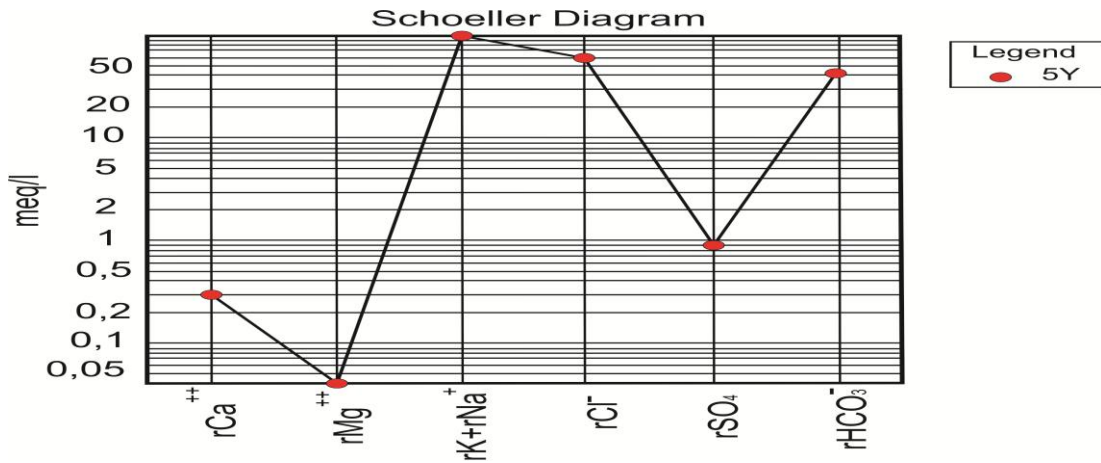
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki										
Örnek Adı ve Tarihi:	Hattu düşük P sprtr çıkışı				24.06.2010	pH(-logH)		8,61		
Reenj	4Y					EC(umho/cm)		6850		
Lab no:	39		Sıcaklık(°C)		22,1					
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC		
Na ⁺	1791,40	77,88	94,54	91,32	0,077	0,0385	0,79	0,0608		
K ⁺	164,90	4,22	5,12	8,406	0,0042	0,0021	0,78	0,0032		
Ca ⁺⁺	4,80	0,24	0,29	0,24	0,00024	0,00048	0,44	0,000105		
Mg ⁺⁺	<0,5	0,033	0,04	0,0203	0,000033	0,000066	0,48	0,000015		
Cl ⁻	1670	47,71	76,10	64,81	0,047	0,0235	0,78	0,036		
HCO ⁻³	876,9	14,37	22,92	34,03	0,014	0,007	0,79	0,011		
SO ⁴⁻	29,7	0,61	0,97	1,152	0,00061	0,00122	0,39	0,00023		
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				82,373	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				1961,5	
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				62,69	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				2576,6	
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				145,06	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				4538,1	
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,072	% e (Hata Yüzdesi)				13,56	
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				210,79	Sertlik (Fr)				1,365	
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				3,18	rCa/rMg Oranı				7,27	
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				0,832	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-3,007	
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				0,84	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı)				-2,75	
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				83,85	Si (mg/l)				511,1	
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			5157,7		



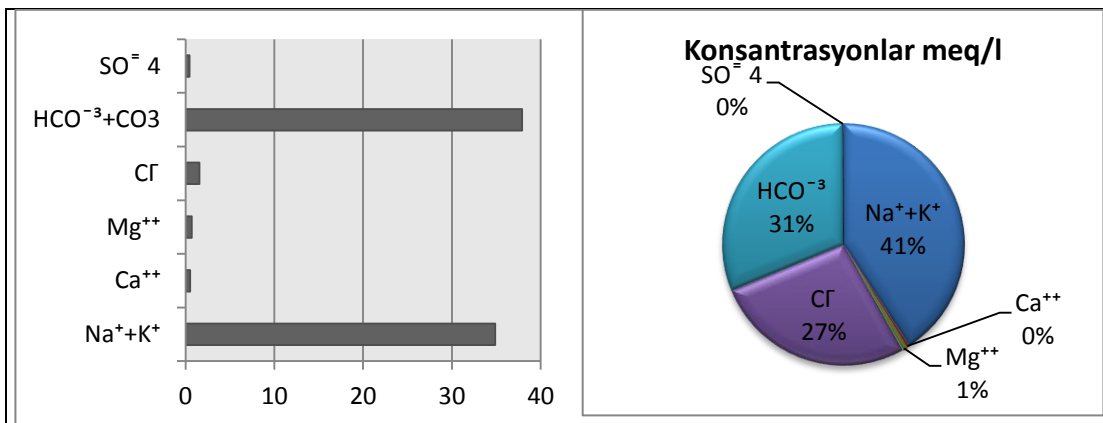
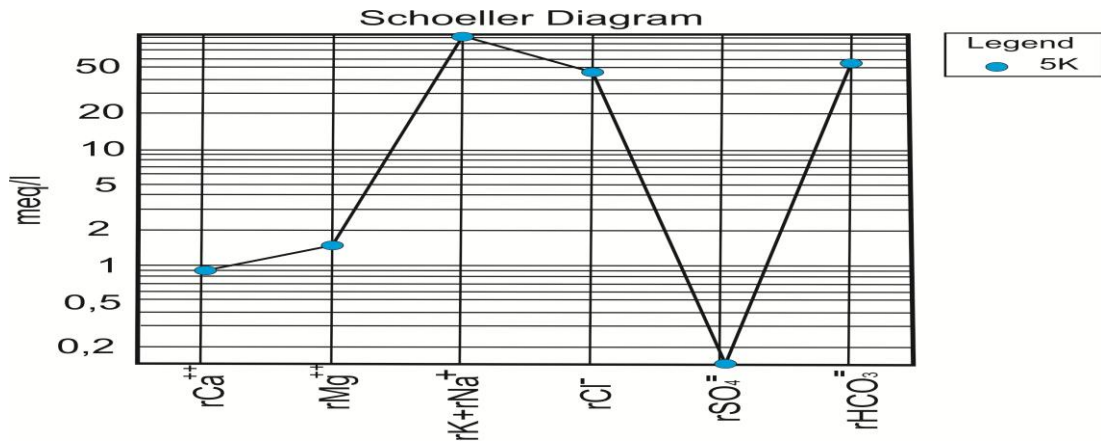
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki									
Örnek Adı ve Tarihi: Reenjeksiyon hattı düşük spt çkş 4K						pH(-logH)		9,05	
Lab no: A-2			Sıcaklık(°C)			19,5	EC(µmho/cm)		7439
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	1772,1	77,04	94,59	91,41	0,077	0,038	0,78	0,06	
K ⁺	162	4,15	5,09	8,35	0,004	0,002	0,77	0,003	
Ca ⁺⁺	3,6	0,18	0,22	0,18	0,00018	0,00036	0,43	0,00007	
Mg ⁺⁺	0,9	0,07	0,085	0,04	0,00007	0,00014	0,47	0,00003	
Cl ⁻	1650	47,14	58,85	45,1	0,047	0,023	0,77	0,036	
HCO ⁻ ₃	1976	32,39	40,44	54,09	0,032	0,016	0,78	0,024	
SO ²⁻ ₄	27	0,56	0,69	0,73	0,0005	0,001	0,38	0,00019	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				81,44	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				1938,6
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				80,09	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				3653
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				161,53	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				5591,6
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,081	% e (Hata Yüzdesi)				0,83
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				217,9	Sertlik (Fr)				1,25
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,43	rCa/rMg Oranı				2,57
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				1,43	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-3,26
Sld(Dolomit doyunluk indeksi)				2,52	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-2,85
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				73,09	SiO ₂ (mg/l)				551
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)				5100,1



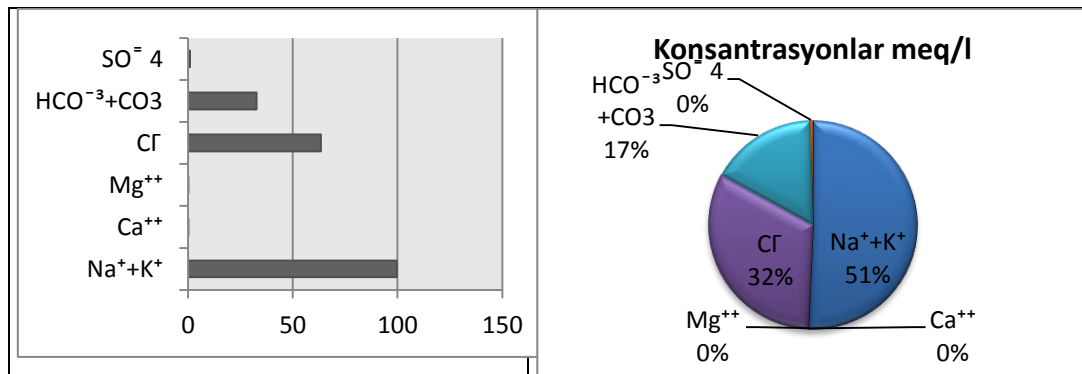
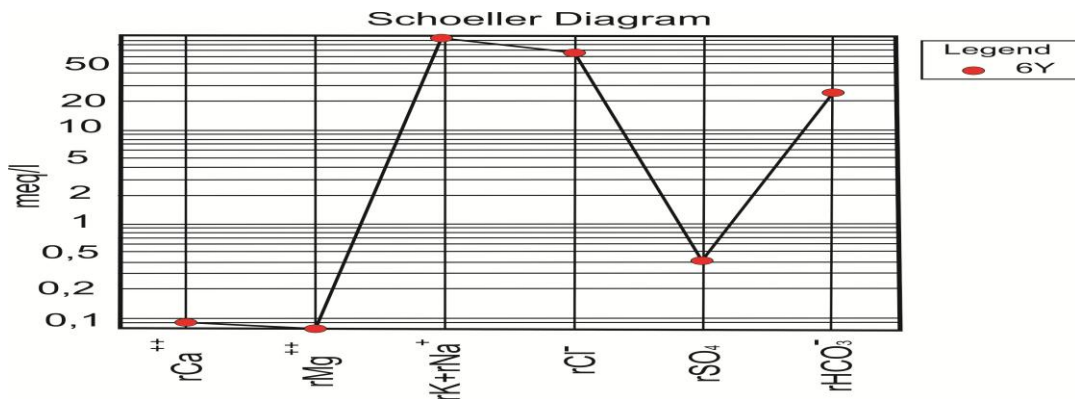
Aydın Germencik Ömerbeyli mevki								
Örnek Adı ve Tarihi:Reenj			Hattı düşük sprtr girişi 5Y		24.06.2010	pH(-logH)		7,34
Lab no: 40			Sıcaklık(°C)		22,9	EC(µmho/cm)		6230
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1629	70,82	94,89	91,89	0,0708	0,0354	0,79	0,055
K ⁺	138,70	3,55	4,75	7,82	0,0035	0,00175	0,77	0,0026
Ca ⁺⁺	4,60	0,23	0,308	0,259	0,00023	0,00046	0,43	0,000098
Mg ⁺⁺	<0,5	0,033	0,044	0,022	0,000033	0,000066	0,47	0,000015
Cl ⁻	1506	43,02	60,75	47,14	0,043	0,0215	0,77	0,033
HCO ⁻³	1658,4	27,18	38,38	51,92	0,027	0,0135	0,79	0,0213
SO ⁴⁻	29,7	0,61	0,86	0,92	0,00061	0,0012	0,39	0,00023
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				74,633	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1772,7
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				70,81	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			3194,1
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				145,44	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			4966,8
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,073	% e (Hata Yüzdesi)			2,62
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				195,29	Sertlik (Fr)			1,315
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				1,54	rCa/rMg Oranı			6,96
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				-0,180	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			-3,03
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				-1,15	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı)			-1,20
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				77,07	SiO ₂ (mg/l)			420,62
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			4667,7



Aydın Germencik Ömerbeyli mevki									
Örnek Adı ve Tarihi: BM Şirketi 5K					pH(-logH)		6,97		
Lab no: A-2		Sıcaklık(°C)			20		EC(µmho/cm)		11230
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	3200,7	139,1	96,53	96,6	0,1391	0,0695	0,809	0,1125	
K ⁺	59	1,5	1,04	1,78	0,0015	0,00075	0,78	0,0011	
Ca ⁺⁺	26,1	1,3	0,90	0,78	0,0013	0,0026	0,51	0,00066	
Mg ⁺⁺	27	2,2	1,5	0,81	0,0022	0,0044	0,58	0,0012	
Cl ⁻	3250	92,8	46,35	33,15	0,092	0,046	0,78	0,071	
HCO ⁻ ₃	6538	107,1	53,49	66,6	0,107	0,053	0,809	0,086	
SO ⁻ ₄	14,7	0,3	0,14	0,14	0,0003	0,0006	0,42	0,00012	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				144,1	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				3312,8
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				200,2	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				9802,7
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				344,3	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				13115,5
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,177	% e (Hata Yüzdesi)				-16,29
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				105,14	Sertlik (Fr)				17,5
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,86	rCa/rMg Oranı				0,59
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				0,88	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-2,49
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				2,04	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-0,22
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				46,3	SiO ₂ (mg/l)				75
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na- HCO ₃ -Cl					Fo (köpürme Katsayısı)			8735	



Aydın-Germencik-Ömerbeyli mevki										
Örnek Adı ve Tarihi: AG-2011/2 - 22.05.2011 6Y						pH(-logH)		8,5		
Lab no:1D2420			Sıcaklık(°C)			239,51		EC(µmho/cm)		8790
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC		
Na ⁺	2082	90,5	90,8	85,29	0,0905	0,0452	0,5142	0,04653		
K ⁺	358	9,16	9,19	14,6	0,00916	0,00458	0,5886	0,00539		
Ca ⁺⁺	1,82	0,09	0,09	0,07	0,000009	0,000018	0,19	0,0000017		
Mg ⁺⁺	<1,0	0,075	0,075	0,036	0,000075	0,0015	0,23	0,000017		
Cl ⁻	2255	63,5	65,41	56,59	0,0635	0,03175	0,5886	0,037		
HCO ₃ ⁻	1387	22,7	23,38	34,80	0,0227	0,01135	0,61	0,013		
SO ₄ ⁼	41,7	0,87	0,43	1,04	0,00087	0,00174	0,14	0,00012		
CO ₃ ⁼	301	10	10,30	7,55	0,01	0,02	0,19	0,0019		
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				99,82	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				2441,92	
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				97,07	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				3987,5	
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				196,82	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				6429,42	
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,11	% e (Hata Yüzdesi)				1,36	
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				426,62	Sertlik (Fr)				0,45	
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				2,69	rCa/rMg Oranı				1,2	
Slc(Kalsit Doygunluk indeksi)				-0,99	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-5,08	
Sld(Dolomit doygunluk indeksi)				-0,97	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-1,99	
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				66	SiO ₂ (mg/l)				578	
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-Cl-HCO ₃ ⁻					Fo (köpürme Katsayısı)			6325,48		



Aydın Merkez Çiftlik mevki									
Örnek Adı ve Tarihi: AC-1 - 03.09.2008 6K						pH(-logH)		8,0	
Lab no:D-22988			Sıcaklık(°C)			57,5	EC(µmho/cm)		3210
iyon	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	769,00	33,43	92,65	91,14	0,0334	0,0167	0,81	0,027	
K ⁺	55,80	1,43	3,965	6,61	0,00143	0,000715	0,80	0,0011	
Ca ⁺⁺	10,40	0,52	1,44	1,23	0,00052	0,00104	0,46	0,00023	
Mg ⁺⁺	8,48	0,706	1,956	1,005	0,000706	0,001412	0,50	0,00035	
Cl ⁻	54,30	1,55	3,88	2,414	0,00155	0,000775	0,80	0,0012	
HCO ₃ ⁻	2036,00	33,37	83,59	90,52	0,033	0,0165	0,81	0,0267	
SO ₄ ⁻	21,90	0,456	1,142	0,97	0,000456	0,000912	0,43	0,00019	
CO ₃ ⁻	137,00	4,55	11,39	6,09	0,00455	0,0091	0,44	0,00200	
Toplam Katyon Miktarı(meq/l)				36,08	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			843,68	
Toplam Anyon Miktarı(meq/l)				39,92	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2249,2	
Toplam İyon Miktarı(meq/l)				76	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3092,88	
İyonlaşma Gücü(mol/l)				0,047	% e (Hata Yüzdesi)			-5,05	
SAR(Sodyum Ad. Oranı)(%)				42,69	Sertlik (Fr)			6,13	
rCl/(rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,045	rCa/rMg Oranı			0,73	
Slc(Kalsit Doğunluk indeksi)				0,88	Slj (Jips Doğunluk İndeksi)			-2,75	
Sld(Dolomit doğunluk indeksi)				2,15	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,76	
B ⁺⁺⁺ (mg/l)				2,80	SiO ₂ (mg/l)			31,4	
Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-K-HCO ₃					Fo (köpürme Katsayısı)			2184	

