

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALÇOVA JEOTERMAL ALANINDA
JEOFİZİKSEL GÖZLEMLEME ÇALIŞMALARI

Özde BADUR

Temmuz, 2011
İZMİR

BALÇOVA JEOTERMAL ALANINDA JEOFİZİKSEL GÖZLEMLEME ÇALIŞMALARI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeotermal Enerji Anabilim Dalı

Özde BADUR

Temmuz, 2011

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZDE BADUR tarafından PROF.DR. MAHMUT G. DRAHOR yönetiminde hazırlanan “BALÇOVA JEOTERMAL ALANINDA JEOFİZİKSEL GÖZLEMLEME ÇALIŞMALARI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut G. DRAHOR

Danışman

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan tez danışmanım Prof. Dr. Mahmut G. DRAHOR'a ve yardımlarını eksik etmeyen Arş. Gör. Meriç Aziz Berge' ye,

Arazi çalışmalarım sırasında bana destek olan jeofizik mühendisliği yüksek lisans öğrencilerinden Atilla ONGAR, Çağlar ÖZER ve Caner ÖZTÜRK'e, jeofizik mühendisliği bölümü öğrencilerinden Onur VURAL ve Samet GEYİK'e,

Çalışma alanımız içerisinde bulunan Balçova jeotermal alanında mevcut kuyuları işleten İzmir Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirket müdürü E.Sinan Arslan ve şirket çalışanlarına ve Kaya Otel içerisinde bulunan kuyu etrafındaki çalışmaları destekleyen otel yönetimine, çalışma alanına ait yağış ve sıcaklık verilerini sağlayan İzmir Meteoroloji Müdürlüğü çalışanlarına,

Yaşamım süresince desteklerini eksik etmeyen sevgili aileme ve nişanlım İbrahim BAKAK'a teşekkür ederim.

Özde BADUR

BALÇOVA JEOTERMAL ALANINDA JEOFİZİKSEL GÖZLEMLEME ÇALIŞMALARI

ÖZ

Uzun yıllardır jeotermal alanların aranmasında yerbilim yöntemlerinden biri olan jeofizik ayrı bir yere sahiptir. Jeotermal enerjinin kullanımı sırasında da bu yöntemler uygulanmakta ve sistemin kullanımı konusunda bilgi sağlanmaktadır.

Periyodik zaman aralıkları ile yapılan jeofiziksel gözlemeleme çalışmaları rezervuarda ortaya çıkabilecek sorunların belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Mevcut kurulu sistemlerin veya kurulacak olan yeni sistemlerin jeofiziksel gözlemeleme çalışmaları sonucu daha verimli ve daha yararlı kullanım koşulları sağlayacağı düşünülmektedir. Bu teze konu olan gözlemeleme çalışmaları ile jeotermal rezervuarı oluşturan jeolojik yapılar, akışkanın ve çevre ortamının elektriksel özellikleri, sistemdeki sıcaklık değişimi, farklı akışkanın rezervuara karışması, su seviyesindeki değişimi ve üretim-geri basım ilişki hakkında bilgiler elde edilmiştir. Yeraltındaki değişimi belirlemek için jeofiziksel yöntemlerden elektrik öz direnç yöntemi tercih edilmiş. Balçova jeotermal sahasında belirlenen zamanlarda ölçümlerin tekrarlanarak değişimin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Balçova jeotermal alanında çalışmalar başarılı sonuçlar vererek yer içinde değişimin varlığı ortaya çıkmıştır. Değişim sonuçları kuyu ve meteorolojik koşullar hakkında elde edilen bilgiler doğrultusunda yorumlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Jeotermal enerji, Balçova jeotermal alanı, jeofiziksel gözlemeleme çalışmaları, elektrik öz direnç tomografi

GEOPHYSICAL MONITORING STUDIES IN BALÇOVA GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

Geophysics studies which is one of the earth sciences have had a unique place in searching for geothermal fields for a lot of years. These methods are being conducted during the production of geothermal energy and they provide information about the usage of the system.

Geophysical monitoring studies done in regular time periods help in foreseeing the problems that may occur in the system. The established systems or the new ones that are about to be established are thought to be able to provide more efficient and useful usage conditions with these methods. Geological structures which make up the geothermal reservoir, electrical resistivity of the fluid, temperature difference in the system, flowing of a different fluid into the reservoir, change in the water level and production-reinjection relationship is observed with the conducted monitoring studies. In order to determine the fluid flow direction under the ground, electric resistivity method is chosen amongst the geophysical monitoring methods and by repetition of the field studies in certain time intervals at Balçova geothermal field observation of change is intended.

Results of the studies have proven successful by revealing the presence of change in Balçova geothermal field. Results of change have been interpreted in accordance with the gained information about the well and meteorologic conditions.

Keywords: Geothermal energy, Balçova geothermal field, geophysical monitoring studies, electric resistivity tomography

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 Jeotermal Sistemin Oluşumu	1
1.2 Jeotermal Sistemin Yapısı	2
1.3 Türkiye’de ki Jeotermal Alanlar	3
1.4 Amaç.....	7
BÖLÜM İKİ - BALÇOVA JEOTERMAL ALANI	8
2.1 Balçova Jeotermal Alanı.....	8
2.1.1 Balçova Jeotermal Alanının Jeolojisi	8
2.1.2 Balçova Jeotermal Kuyuları	10
BÖLÜM ÜÇ - JEOTERMAL ALANLARDA JEOFİZİK ÇALIŞMALARI	15
3.1 Jeotermal Alanlarda Jeofiziksel Yöntemler.....	15
3.2 Jeotermal Alanlarda Jeofiziksel Gözleme Çalışmaları	17
3.2.1 Elektrik Özdirenç Yöntemi	18
3.2.1.1 Dizilim Türleri	20
3.2.1.1.1 WennerDizilimi.....	20
3.2.1.1.2 Wenner-Schlumberger Dizilimi	21
3.2.1.1.3 Dipol-Dipol Dizilimi.....	22
3.2.1.2 Elektrik Özdirenç Çalışmalarının Uygulama Alanları.....	23

3.2.1.3 Çok Kanallı Elektrik Özdirenç Görüntüleme.....	24
3.2.1.3 Zamana Bağlı Elektrik Özdirenç Görüntüleme	24
3.2 Literatür Örnekleri	25
3.2.1 Elektrik Özdirenç Çalışmaları için Literatür Örnekleri.....	25
3.3.2 Zamana Bağlı Elektrik Özdirenç Çalışmaları için Literatür Örnekleri.....	28
BÖLÜM DÖRT - SAHA ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRME	33
4.1 Veri Toplama	33
4.2 Meteoroloji ve Kuyu Verileri	34
4.2.1 Balçova Bölgesi Meteorolojik Veriler	36
4.2.2 B-10 Kuyusuna Ait Veriler	37
4.2.3 BD-7 Kuyusuna Ait Veriler	39
4.2.4 BD-10 Kuyusuna Ait Veriler	42
4.3 Saha Verileri ve Değerlendirilmesi	44
BÖLÜM BEŞ - SONUÇ VE ÖNERİLER	59
5.1 Sonuç ve Öneriler	59
KAYNAKLAR.....	61

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardan oluşan akışkandan elden edilen enerji olarak tanımlanabilir. Bunun yanında herhangi bir akışkan içermeden de bazı teknik yöntemlerle yeraltındaki ısıdan yararlanılması da jeotermal enerji kaynağı olarak görülmektedir (Kaymakçioğlu ve Çirkin, 2005).

1.1 Jeotermal Sistemin Oluşumu

Yeryüzünden yeraltına süzülen meteorik kökenli sular (göl, nehir, deniz, vb.) ile yeraltında jeolojik dönemlerde oluşumu magmatik kökenli sular, geçirgen ve gözeneklilik özelliği kazanmış kayalarda birikerek jeotermal rezervuarları oluştururlar. Yeraltında volkanik etkinlik, magmatik yaklaşım ve diğer fizikokimyasal reaksiyonlar sonucu ısınan sular; genişir, bünyesindeki buhar ve gazlarında etkisi ile sisteme henüz girmekte olan soğuk ve yoğun suyun hidrolik basıncıyla yukarı doğru itilir. Bu sıcak ve mineralli sular (sıcak su + buhar + gaz) jeotermal akışkan olarak adlandırılırlar. Rezervuarın üzerindeki geçirgenliği az olan örtü kayaç jeotermal akışkanın yeryüzüne taşınımını, ısının kaybolmamasını ve basınç altında kalmasını sağlar. Örtü kayaçtaki kırıklardan, çatlaklardan, faylar vasıtası ile jeotermal akışkan basıncın etkisiyle artezyenik olarak yeryüzüne ulaşır veya fay zonu ile rezervuara mekanik yöntemlerle yapılan sondajlarla üretilir (Şimşek, 1995).

1.2 Jeotermal Sistemin Yapısı

Jeotermal akışkanın oluşabilmesi için jeotermal sistemde 4 temel koşulun bulunması gerekir. Bu koşullar ve jeotermal sistem yapısı aşağıdaki gibi açıklanabilir;

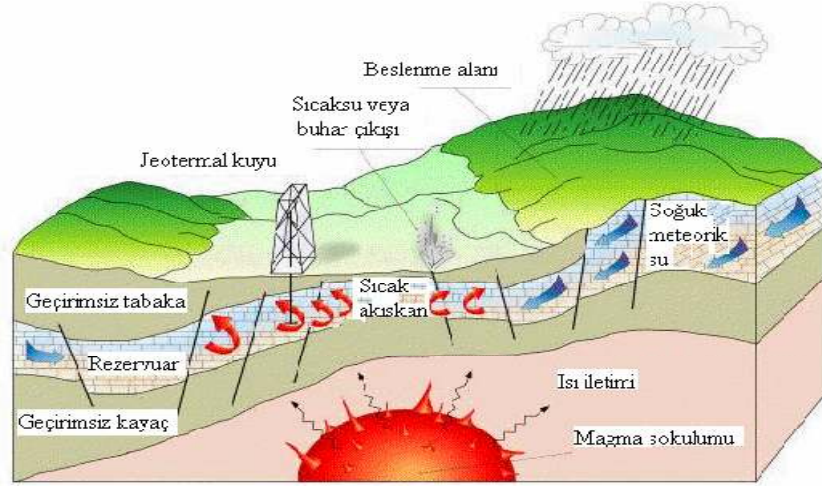
Isı kaynağı: Yeraltında derinlere inildikçe yer içinin doğal ısısı nedeniyle yaklaşık her 33 metrede sıcaklık 1°C artmaktadır. Bu ısı artışına jeotermal gradyan denir. Bu özellik kayaç cinsine göre değişmektedir. Ayrıca çeşitli jeolojik olaylar sonucunda yeryüzüne doğru yaklaşan magma, üzerindeki yüzeye yakın kaya katmanlarını ısıtarak yüksek ısı akımını oluşturur ve ayrıca volkanik faaliyetler ile devamlı bir ısı kaynağının oluşmasını sağlar. Rezervuarda toplanan suyun magma tarafından yalnız ısı iletimi yoluyla ısıtılması yeterli olmayabilir. Magmadan gelen yüksek entalpili su buharı ve gazların da soğuk su rezervuarlarındaki akışkanı ısıtabileceği ifade edilmektedir (Erden, 2005).

Hazne kaya (Rezervuar): Yer kabuğunun derinliklerinde geçirgen ve gözeneklilik özelliği kazanmış ve içerisinde çeşitli etkenlerle ısınmış (sıcak su, su-buhar, kuru buhar fazında) jeotermal akışkan içeren oluşumlara jeotermal rezervuar (hazne kaya, akifer) denir. Yeryüzü üzerine düşen meteorik sular ile göl, nehir, deniz, vb.. kaynaklardan yeraltına süzülen sular ve/veya magmatik kökenli sular jeotermal rezervuarları oluştururlar (Erden, 2005).

Örtü kaya: Hazne kayanın üzerinde ısı ve akışkan geçirgenliği az olan bir katmandır. Bu katman hazne kayada biriken ve ısınan akışkanın yeryüzüne taşınımını ve ısının kaybolmasını önler ve basınç altında kalmasını sağlar (Erden, 2005).

Akışkan ve beslenme: Jeotermal akışkanı; deniz, göl akarsu ve meteorik suların yer kabuğunun altına süzülen yerüstü suları ile çeşitli reaksiyonlar sonucunda yeraltında oluşmuş juvenil ve fosil sular oluşturmaktadır. Rezervuarı oluşturan ve devamlı beslemek üzere rezervuara doğru hareket eden sular besleme alanlarını oluşturur (Şamilgil, 1992).

Yukarıda bahsedilen jeotermal sistemin yapısını oluşturan geçirimsiz tabaka, rezervuar, ısı kaynağı, akışkan ve beslenme alanı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Jeotermal sistemin şematik gösterimi (Dickson ve Fanelli, 2004)

1.3 Türkiye’deki Jeotermal Alanlar

Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahip olup, potansiyel olarak dünyanın 7 . ülkesi konumundadır. Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 600’ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır (Arslan ve diğer., 2001).

Türkiye’deki jeotermal enerji araştırma ve geliştirme çalışmaları 1962 yılından beri MTA tarafından yürütülmektedir. Bu tarihten itibaren günümüze kadar MTA’nın jeotermale yönelik yaptığı jeolojik, jeofizik, jeokimya ve sondaj çalışmaları sonucunda sıcaklığı 35°C’nin üzerinde olan 170 jeotermal sahanın varlığı ortaya konulmuştur. Bu sahaların 161 tanesi orta ve düşük sıcaklıklı olup, ısıtma, endüstriyel amaçlı ısı kullanımına ve kaplıca turizmine uygundur. Batı bölgemizde bulunan diğer 9 jeotermal saha ise yüksek sıcaklıklı olup, yeni teknolojilerin kullanılması ile elektrik üretimine uygundur (Arslan ve diğer., 2001).

Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde yüksek sıcaklığa sahip olup, açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerde yer alırlar. Doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu genç grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden hem de deprensellik yönünden aktiftirler. Menderes grabeni içinde, Türkiye'nin en yüksek sıcaklığa sahip olan Denizli-Kızıldere jeotermal sahası (242°C), Aydın-Germencik jeotermal sahası (232°C), Aydın-Salavatlı jeotermal sahası (171°C), Aydın-Yılmazköy jeotermal sahası (142°C) bulunmaktadır. Gediz Grabeni'ndeki jeotermal alanlar; Manisa Salihli Caferbeyli sahası (155°C) , Manisa-Salihli-Kurşunlu sahası (96°C), Manisa-Alaşehir sahası (116°C) ve Manisa-Urganlı sahası (86°C)'dir. Batı Anadolu'daki diğer jeotermal sistemler kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu grabenler ve volkanik aktivitelerin bulunduğu alanlarda yer alırlar. Bu jeotermal alanlar İzmir-Seferihisar sahası (153°C), İzmir-Balçova sahası (130°C) İzmir-Dikili sahası (130°C), İzmir-Aliğa sahası (96°C), İzmir-Çeşme sahası (62°C)'dir (Arslan ve diğer., 2001).

Son yıllarda çevre bilincinin gelişmesi, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin elektrik üretimi dışında özellikle kent ısıtmasında kullanımını arttırmıştır. Günümüzde İzlanda'da binaların %86'sı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Dünya'da jeotermal enerjinin; ısıtma, soğutma termalizm gibi doğrudan kullanım alanı kapasitesi 2000 yılından itibaren 17164 MWt'e ulaşmıştır. Türkiye 820 MWt doğrudan kullanım ile dünyanın 5. ülkesi konumuna gelmiştir ve Şekil 1.1'de dünya jeotermal enerjiyi doğrudan kullanan diğer ülkeler ile birlikte kurulu güç ve üretim bilgileri verilmiştir (Arslan ve diğer., 2001).

Tablo 1.1 Dünya’da jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (Arslan ve diğer., 2001)

ÜLKELER	KURULU GÜÇ (MWt)	ÜRETİM (GWh/yıl)
ÇİN	2814	8724
JAPONYA	1159	7500
ABD	5366	5640
İZLANDA	1469	5603
TÜRKİYE	820	4377
YENİ ZELANDA	308	1967
GÜRCİSTAN	250	1752
RUSYA	207	1703
FRANSA	326	1360
MACARİSTAN	391	1328
İSVEÇ	377	1147
MEKSİKA	164	1089
İTALYA	326	1048
ROMANYA	152	797
İSVİÇRE	547	663

Türkiye’de Ege Bölgesinde bulunan ve çalışma alanlarımız olan Balçova jeotermal alanı konut ısıtmacılığı konusunda gün geçtikçe gelişmektedir. Tablo 1.2’de bu alanla ilgili bilgiler verilmiştir.

1.4 Amaç

Jeotermal alanların işletiminde periyodik zaman aralıklarında yapılacak jeofiziksel gözlemlene çalışmalarını, meydana gelebilecek sorunların belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle zengin bir jeotermal enerji potansiyeline sahip ülkemiz de son yıllarda konut ısıtmacılığı ve enerji üretimi konusunda önemli gelişmelere sahip olmuştur.

Jeofiziksel gözlemlene çalışmaları ile rezervuarı oluşturan fiziksel parametrelerin zamana göre değişimi belirlenmektedir. Jeofiziksel gözlemlene çalışmaları kapsamında; *Elektrik Özdirenç, Gravite, Doğal Gerilim, Mikrodepem Etkinliği, Sıcaklık Gradyanı ve Isı Akısı* yöntemleri etkili biçimde kullanılmaktadır.

Jeotermal alanlarda uzun süreli jeofiziksel gözlemlene çalışmalarının gerçekleştirilmesi için Türkiye'nin ilk araştırma ve işletme alanı olan Balçova jeotermal alanı tercih edilmiştir. Tablo 1.2'de Balçova ve Türkiye'de bulunan diğer jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin açıldığı yıl ve ısıtılan alan kapasiteleri verilmiştir. Tabloda gösterildiği gibi 1996 yılında kurulan Balçova jeotermal ile 21500 eşdeğer alan ısıtılmaktadır.

Tablo 1.2 Türkiye'nin Jeotermal Merkezi Isıtma (Serpen ve diğer., 2009)

Merkezi Isıtma	Açıldığı Yıl	Eşdeğer Alan (*100 m ²)
Gönen-Balıkesir	1987	2500
Simav-Kütahya	1991	6000
Kırşehir	1994	1800
Kızılcahamam-Ankara	1995	2600
Balçova-İzmir	1996	21500
Afyon	1996	5000
Kozaklı-Nevşehir	1996	1500
Sandıklı-Afyon	1998	4000
Diyadin-Ağrı	1998	400
Salihli-Manisa	2002	4000
Dikili-İzmir	2008	150
Sarayköy-Denizli	2002	2500
Edremit-Çanakkale	2004	27400
Bigadiç-Balıkesir	2006	1000
Bergama-İzmir	2006	200
Kuzuluk-Sakarya	1994	500
Armutlu-Yalova	2000	250
Güre-Balıkesir	2006	300
Sorgun-Yozgat	2007	1500
Yerköy-Yozgat	2007	500
TOPLAM		58940

Çalışmamızda yeraltındaki özdirenç dağılımının zamana göre değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Özdirenç dağılımının belirlenmesi için birçok alanda kullanılan ve etkili sonuçlar veren Elektrik Özdirenç Görüntüleme yöntemi seçilmiştir.

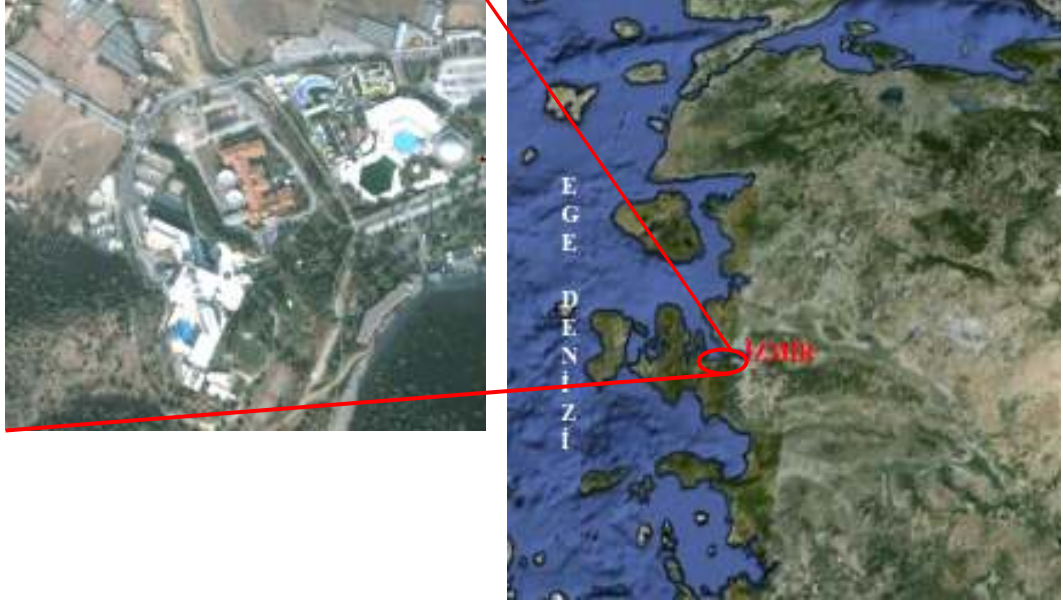
Çalışmamızın, yöntemi açısından literatür incelendiğinde; dünyada jeotermal enerjinin kullanımı sırasında uzun süreli jeofiziksel gözlemlenmesi amacı ile elektrik özdirenç yönteminin kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Amacımız jeofiziksel gözlemlenme çalışmalarının jeotermal alanların kullanımı sırasında da uygulanabilirliğini göstermek ve yöntemin önemini vurgulamaktır.

BÖLÜM İKİ

BALÇOVA JEOTERMAL ALANI

2.1 Balçova Jeotermal Alanı

Balçova ilçesi, Türkiye’de jeotermal kaynaklar bakımından zengin olan Ege bölgesinin batı kesiminde yer alan İzmir iline yaklaşık 7 km uzaklıkta bulunmaktadır.



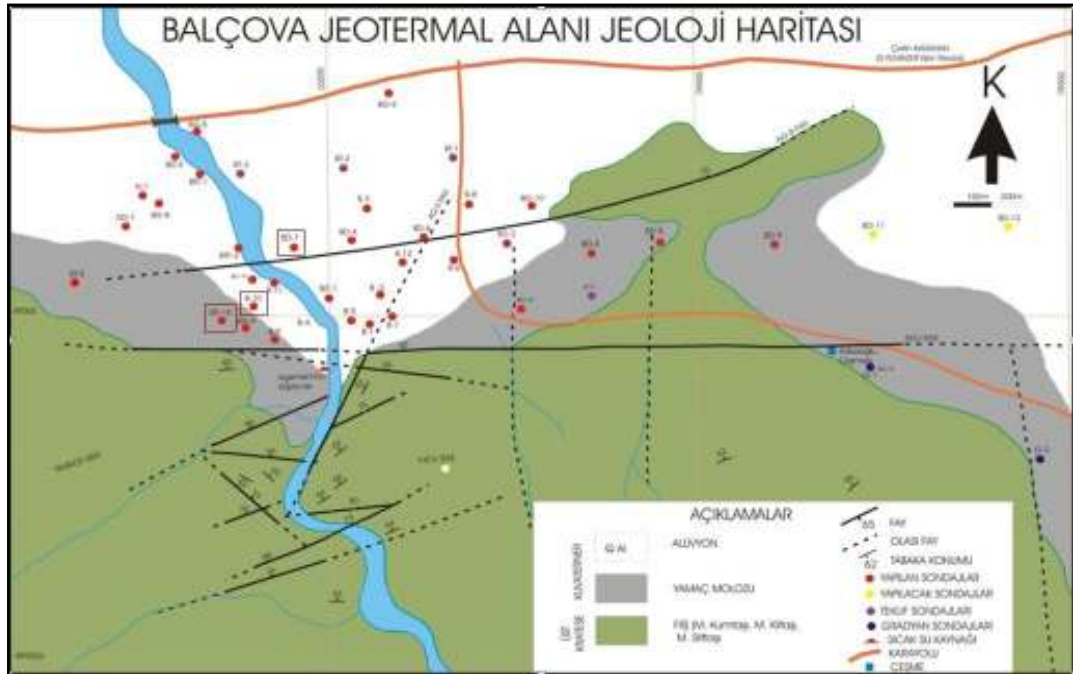
Şekil 2.1 Balçova jeotermal alanı

2.1.1 Balçova Jeotermal Alanının Jeolojik Yapısı

Balçova jeotermal sahasının genel stratigrafik yapısında, tabanda Paleozoyik yaşlı şist ve mermerlerden oluşan Menderes metamorfileri yer alır. Temel üzerine kumtaşı ve şeyl’lerden oluşan ve içerisinde Üst Kretase yaşlı allohton kireçtaşlarının yer aldığı Bornova karmaşığı, doğu-batı yönlü sıkıştırma tektoniğinin etkisi ile Paleozoik yaşlı Menderes metamorfitlerinin üzerine bindirme fayı ile gelmiştir.

Birim içerisinde yer alan allokton kireçtaşlarının, Türkiye'nin batısında yer alan Karaburun karbonat istifine ait olduğu belirtilir. Çalışma alanında gözlemlenen birimleri, kumtaşı, çakıl taşı ve kireçtaşlarının oluşturduğu sedimanter kayalar ve tuf, andezit gibi volkanik seriler oluşturur. Kuvarterner yaşlı konsolide olmamış sedimanlar, tüm birimleri uyumsuzlukla örter (Erdoğan, 1990).

Balçova jeotermal alanının jeolojik yapısı ve saha çalışmalarımızın yapıldığı B-10, BD-10, BD-7 kuyuları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Balçova sahası jeoloji haritası (Erdoğan, 1990)

Jeotermal sahada yeraltı suyu sistemi oluşturan iki tip akifer mevcuttur. Birincisi, Balçova jeotermal sahasında sıcak su akiferini oluşturan; Balçova karmaşığı içerisinde yer alan Üst Kretase yaşlı allokton kireçtaşlarıdır. Bu akiferi kesen Agamemnon-1 Fayı ve bu fayı kesen sıcak su kuyuları ile sıcak sular yüzeye çıkar. Bornova Karmaşığı'nın geçirimsiz olması nedeniyle sıcak sular, kırık ve fay sistemleri içerisinde hareket eder. Diğer akiferler ise yüzeysel beslenmeli olup soğuk yeraltı sularını oluşturan Kuvarterner yaşlı alüvyonlardır. Alüvyon içerisinde, derinliği 25-80 m arasında değişen su kuyuları ile üretim yapılmaktadır. Çalışma

alanının kuzeyinde geniş bir alanda gözlenen bu akifer içerisinde, yeraltı su derinliği 11-20 m arasında değişir. Yeraltı su akım yönü güneyden kuzeye doğrudur (Erdoğan, 1990).

2.1.2 Balçova Jeotermal Kuyuları

Balçova-Narlidere jeotermal sahasında ilk çalışmalar 1960 yılında başlamıştır. 1963 yılında arama amaçlı S-1, S-2 ve S-3 kuyuları delindikten sonra sahada önemli bir jeotermal potansiyel olabileceği görülmüştür. Balçova jeotermal alanında bulunan kuyuların konumları 1983 yılına kadar ciddi bir çalışma yapılmamıştır. Sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacı ile 10 adet gradyen kuyusu 1983 yılında, 1983-1987 yılları arasında kuyu içi eşanjörler ısıtma yapmak için, B serisi olarak bilinen, 11 adet sığ üretim kuyusu delinmiştir. Kabuklaşma sorunlarını çözen inhibitörler ve jeotermal pompalardaki gelişmeler sayesinde 1996 yılından itibaren jeotermal akışkan üretilmeye başlanmıştır. 1994 yılından sonra sıcaklık 125°C iken derin kuyularda 140°C'ye yaklaşılmıştır. Sahada kazılan bazı kuyulara ait bilgiler ise Tablo 2.1'de sunulmuştur.

1996 yılında sahada jeotermal bölge ısıtma sistemi kurulmaya başlanmış ve 2000 yılında 6500 KE (konut eşdeğeri) kapasite ile yüklenici firmadan o tarihte yeni kurulan Balçova Jeotermal Limited Şirketine teslim edilmiştir. 2000 yılına gelindiğinde sahada delinen kuyu sayısı 39'a ulaşmıştır. Kuyulardan 3'ü arama, 10'u gradyen, geri kalan 26'sı üretim için delinmiştir. Tablo 2.1'de sahada bulunan kuyulardan bazıları ile bu kuyuların derinliği, delinme yılı ve kullanım amacı verilmiştir. 2000 yılına kadar üretim amacıyla delinmiş 23 kuyudan sadece 3'ü sığ (B-4, B-10, B-11) ve 4'ü derin (BD-3, BD-4, BD-6, BD-7) kuyuları kullanılabilir durumdaydı. Bazı tamamlama ve işletme hataları nedeniyle diğer kuyular kullanılamaz duruma gelmiştir. Sorunlu kuyuların geri kazanılması amacıyla başlatılan "Kuyularda İyileştirme Projesi" ile B-1, B-5, B-7, BD-2, BD-5 kuyuları üretim yapabilir hale getirilmiştir. BD-3 ve BD-6 kuyularında temizlik işlemleri, BD-7 ve B-10 kuyularında pompa değişimleri yapılmıştır. Bu sayede yeni kuyular

kullanılmaksızın üretilebilir akışkan miktarı arttırılarak bölge ısıtma kapasitesi 6500 KE'den 15,600 KE'ye ulaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Sahada bulunan kuyulardan bazıları, özellikleri ve kullanım amaçları (Aksoy, 2005)

Kuyu Adı	Derinliği	Delinme Yılı	Amacı
B1	104	1983	ÜRETİM
B2	150	1983	GÖZLEM
B3	160	1983	-
B4	125	1983	ÜRETİM
B5	110	1983	ÜRETİM
B6	150	1983	-
B7	100	1983	ÜRETİM
B8	150	1983	-
B9	48	1983	GÖZLEM
B10*	125	1987	ÜRETİM
B11	125	1987	GÖZLEM
B12	150	1998	GÖZLEM
BD1	564	1989	ÜRETİM
BD2	677	1989	ÜRETİM
BD3	750	1989	ÜRETİM
BD4	630	1989	ÜRETİM
BD5	1100	1998	ÜRETİM
BD6	606	1999	ÜRETİM
BD7*	600	1999	ÜRETİM
BD8	630	2002	REENJEKSİYON
BD9	776	2003	ÜRETİM
BD10*	650	2004	RE-ENJEKSİYON

* Kuyu yakınında jeofiziksel gözlemlene çalışması yapılmıştır.

İyileştirme çalışmalarının yanı sıra, sahanın potansiyelinin ve gelecekteki davranışını belirlemek amacıyla “rezervuar potansiyelini belirleme projesi” başlatıldı (Satman ve diğer., 2002). 2002 yılında tamamlanan bu proje bölgesel ısıtma yapılan bir rezervuar için ülkemizde yapılan ilk çalışma olmuştur. Daha sonra sahanın 3D sıcaklık dağılımı modellenmiş ve bu doğrultuda BD-8 ve BD-9 kuyuları ile bu model doğrulanmıştır. 2002 yılından sonra işletim stratejisi değiştirilmiş, re-enjeksiyon amaçlı BD-8 kuyusu sahanın doğu sınırına delindikten sonra bu kuyuya re-

enjeksiyon yapılmaya başlanmıştır. Batı sınırına BD-10 re-enjeksiyon kuyusu delinmiştir.

Genellikle jeotermal alanlarda açılan kuyular buldukları bölgenin isimlerinin baş harfleri ile adlandırılırlar. B serisi; Balçova sığ kuyular, BD serisi; Balçova derin kuyuları belirtmektedir. Bu kuyulara ilişkin ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir;

B-10 Kuyusu;

1987 yılında MTA tarafından delinen kuyunun derinliği 125 m ve başlangıç sıcaklığı tahmini 114°C olarak belirlenmiştir. Aralık 2001'de pompa arızası için kuyudan pompa çekildiğinde, inhibitör borularından koparak kuyuya düşmüştür. Kuyuda 90.81 m derinliğe inhibitör borusu ve 72 m'ye 45 kW, 13 kademe VJP - 833 jeotermal pompa montajı yapılmıştır. Kuyu 110ulaşan debide üretim yapabilmektedir, 2003 yılında yapılan pompa testleri kuyuya 250 debide pompa monte edilip üretim yapılabileceği belirlenmiştir (Aksoy, 2005).

BD-10 Kuyusu;

BD-10 kuyusu sahanın batı kısmını araştırmak ve re-enjeksiyon amacı ile 2004 yılında MTA tarafından delinmiştir. Kuyu 0-197.6 m 133/8, 54.5 lb/ft K-55 boru ile çimentolanmıştır ve 187-750 m arası 6-5/8 K-55 24 lb/ft borudan yapılan filtreli borularla teçhiz edilmiştir. Ana üretim zonu 210-220 m'dedir. 350 m'ye kadar daha küçük üretim zonları görülmektedir. Üretimde kullanılması durumunda 150 m'ye monte edilecek bir pompa ile 140 m³/st debide ve 104°C sıcaklıkta üretim yapabileceği pompa testi ile belirlenmiştir (Aksoy, 2005).

Kuyu re-enjeksiyon için planlandığından ne kadar su basılması gerektiği araştırılmıştır. Enjeksiyon ve üretim testleri, injektivite ve produktivite indeksleri 0,28-0,5 l/m.s arasında değerler vermiştir. Kuyudaki statik su seviyesi kış aylarında, kuyu başından 30 m aşağıda gözlenmiştir. Bu durumda 8 ila 15 lt/s suyun sadece gravite ile re-enjekte edilebileceği anlaşılmıştır. Kuyuya 50-60 mss basma

yüksekliğinde bir pompa monte edilirse re-enjeksiyondaki toplam basınç, kuyudaki su seviyesi ile birlikte 80-90 mss olacağı belirlenmiştir. Bu koşullarda kuyuya basılabilecek miktar en az 22 l/s ve en fazla 45 l/s arasında değişebilecektir. Belirtilen pompa Nisan 2005 yılında kuyuya monte edilmiştir. Bu pompa bir kuyu içi pompanın re-enjeksiyonda kullanımına ilk örnektir. BD-10 kuyusundan re-enjeksiyon yapılması durumunda, re-enjeksiyon çevredeki diğer kuyulara etkisini; izleyici, sıcaklık ve basınç testleri ile izlenmesi önerilmiştir (Aksoy, 2005).

BD-7 Kuyusu;

1999 yılında MTA tarafından delinen kuyu 605 m derinliktedir. Kuyu dibi sıcaklığı 140°C olarak tahmin edilen kuyudan üretimle birlikte, formasyondan kopan parçalar taşınmakta ve sonuçta pompa sık sık arızalanmaktadır. 150m'ye montajlı 11 kW 12 kademe VAG pompa Kasım 2002'de arızalanmıştır. Kuyuya 175 m inhibitör borusu çekilmiştir. Kuyunun 280 m'de bulunan liner girişinde problem olduğu belirlenmiş ve kuyuların geri kazanımı için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (Aksoy, 2005).

Aşağıda Şekil 2.3'de Balçova jeotermal alanında bulunan ölçüm profillerinin konumları, Profil-1, Profil-2 ve Profil-3 olarak belirlenen ölçüm hatlarımız ile bu hatların uzunluk ve yakınında bulunan mevcut kuyuların konumları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Balçova jeotermal alanında alınan ölçüm profillerinin konumları, P1-profil 1, P2-profil 2, P3-profil 3 olarak temsil edilmiştir

BÖLÜM ÜÇ

JEOTERMAL ALANLARDA JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR

Uzun yıllardır jeotermal alanların araştırılmasında uygulanan yerbilim dallarından biri olan jeofizik çalışmalarının önemi büyüktür. Bu bölümde jeotermal alanlarda kullanılan jeofizik yöntemler ve jeofiziksel gözleme çalışmaları tanımlanmış ve önemi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.1 Jeotermal Alanlarda Jeofiziksel Yöntemler

Jeofizik yöntemler uygulanarak jeotermal rezervuar ile ilgili önemli bilgiler elde edilmektedir. Genel olarak jeotermal alanlarda uygulanan jeofizik çalışmaları; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi gibi akışkan parametreleri ile ilgili faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Jeofizik yöntemlerin seçiminde; uygulanacak yöntemin ülkemizde yaygın olan düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin özelliklerini algılayabilmesi, topoğrafik olarak arızalı bölgelerde derinliği 500 m'den fazla altere olmuş formasyonlar altında kalan rezervuarların büyüklüğünü algılayabilmesi, sıcak suyun hakim olduğu tuzluluğu görece olarak yüksek olan sistemler için ısı akısı ve elektrik özdirenç yöntemlerinin seçilmesi, buhar sistemleri için ısı akısı ölçümleriyle birlikte gravite, manyetik ölçümleri kombinasyonunun kullanılması gibi kriterler göz önüne alınmalıdır (Serpen, 2003).

Bilinen jeofizik yöntemlerin her jeotermal alanda uygulanması doğru olmayan sonuçlar verebilmektedir. Sahada nasıl bir araştırmanın yapılacağı, jeolojik yapı ve daha önce yapılmış çalışmalardan bilgi edinilmelidir. Daha sonra çalışma amacına uygun jeofizik yöntemler belirlenmeli ve farklı yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Tablo 3.1'de jeofizik yöntemlerin tanımı verilmiştir.

Tablo 3.1 Jeotermal alanlarda jeofiziksel çalışmalar (Serpen, 2003)

JEOTERMAL ALANLARDA JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR	
ISI AKISI ÇALIŞMALARI	Jeotermal sahaların anormal yüksek ısı akışkanlara sahip olduğu bilinmektedir. Eğer bir ısı kaynağı varsa, ısı akısı normal büyüklüğünün üzerine çıkar. Jeotermal aramalarda ideal olarak hem ısı akısı hem de gradyen ölçümleri alınmalıdır. Jeotermal sistemin toplam ısısı, buhar ve su akım kütesinin ölçümleri, derinliklerdeki akışkanın potansiyeli ve entalpisi hakkında bilgi verebilir.
GRAVİTE ÇALIŞMALARI	Uygun ortamlarda gravite ölçmeleri, önemli yapısal oluşumları ayırt edilebilir ve jeotermal sistemlerle ilişkili olabilen yerel pozitif anomalileri işaret edilebilir. Böyle pozitif anomaliler, yerel yapısal yükselmeler, gömülmüş volkanik veya intrüfız yapılar tarafından yaratılabilmektedir. Isı kaynağı olan yeraltındaki mağmatik sokulumları ve büyüklüğünü, jeotermal akışkanların yukarı yükselme sırasında kendini tıkayarak yarattığı silika çökelme yapılarını, suyun hakim olduğu hirdotermal sistemleri kontrol eden önemli fayları belirlemek için gravite yöntemi kullanılmalıdır.
DOĞAL GERİLİM (SP) ÇALIŞMALARI	Uygulamalı jeofiziğin jeoelektrik yöntemlerinde yer içine akım göndermeden işleyen, doğal elektrokimyasal, elektrofiltrasyon gibi olayların oluşturduğu yer içi akım akışının doğal alanını ölçen yöntemdir. Sığ madenlerin aranmasında, zemin ve sıcaksu etütlerinde, fay ve kırık kuşaklarının belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem, yeraltı suyunun iletken kayalarla etkileşiminden, yüksek jeotermal gradyenlerden ve hareket eden akışkanlardan doğan voltaj değişimlerini ölçer ve jeotermal aramada yaygın olarak kullanılır.
MANYETİK ÇALIŞMALAR	Sadece volkaniklerin var olması durumunda, jeotermal anomalinin boyutlarını belirlemek amacıyla kullanılabilir ve anomali haritalanabilir. Havadan yapılan manyetik ölçmeler varsa, anomali bölgesinde Cruie nokta derinliklerinden, ortalama jeotermal gradyen ve ısı akısı hesaplanabilirlik olanağı vardır.

Tablo 3.1 Devamı

JEOTERMAL ALANLARDA JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR	
TELLÜRİK ÇALIŞMALAR	Vektör tellürik ve tellürik profilleme yöntemleri 20 Hz'den düşük frekansları ölçme üzerine kurulmuştur. Bu yöntem rezistivitenin yanal değişimlerine hassas olduğu için, jeotermal aramada kullanılabilir. Ölçüm hatları bu yöne dik olarak yerleştirilerek aramada çok faydalı olur. Manyetotellürik çalışmalar, olası jeotermal alanların altındaki ısıtıcı görevi gören derin iletken yarı erimiş zonların belirlemek amacıyla uygulanırlar.
ÖZDİRENÇ ÇALIŞMALARI	Bu yöntemle hazne kayada sıcak suların yayılımı ve derinliği, bazı yapısal ve litolojik özelliklerin farklılıkları saptanabilir. Gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve onları jeotermal rezervuarlarla ilgili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için kullanılır.
SİSMİK ÇALIŞMALARI	Sismik yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Aktif sismik yöntemler temel kayacın durumu ile akifer yapısını anlayabilmek amacıyla kullanılır. Aktif fayları belirleme amacıyla pasif sismik yöntemlerden biri olan mikro deprem yöntemi de uygulanabilir. Pasif yöntemler jeotermal aramada daha yaygın olarak kullanılır.

3.2 Jeotermal Alanlarda Jeofiziksel Gözleme Yöntemleri

Jeotermal alanlarda, jeofiziksel gözleme çalışmaları için belirli yöntemler ya da yöntem grupları kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- 1- *Elektrik Öz direnç,*
- 2- *Gravite Yöntemi,*
- 3- *Doğal Potansiyel,*
- 4- *Mikro Deprem Ölçümü,*
- 5- *Kuyu İçi İncelemeler,*
- 6- *İzleme Amaçlı Jeofizik Yöntemlerin Tümüleşik Kullanımı,*

Jeofiziksel gözlemlene çalışmalarında jeotermal alanların işletim sırasında uygulanmakta ve

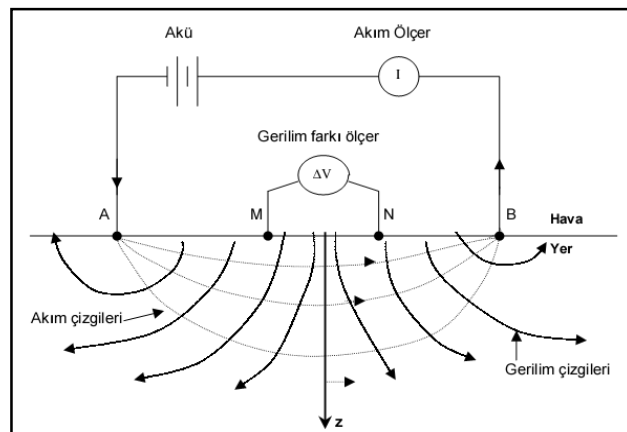
- Rezervuardaki fiziksel parametrelerin zamana göre değişimini,
- Akışkan üretim ve re-enjeksiyondan kaynaklı değişimin gözlemlenmesini
- Rezervuarda meydana gelebilecek olumsuz etkilerin belirlenmesini (soğuma, su seviyesinde azalma vb.)

sağlamaktadır.

Bilindiği üzere jeotermal alanlarda en çok araştırılan konu yeraltındaki akışkanın davranışdır. Akışkan hareketini gözlemlenmek için en iyi yöntem, elektrik öz direnç yöntemidir ve çalışmamızda ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

3.2.1 Elektrik Öz direnç Yöntemi

Yöntem, bir çift elektrot ile yer içine akım vererek ve diğer iki çift elektrot ile bu akımın oluşturduğu potansiyel farkının ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Yere akım vermek için kullanılan elektrotlara akım elektrotları, potansiyel farkını ölçmek için voltmetreye bağlanan elektrot çiftine potansiyel elektrotları denilmektedir. Akım ve potansiyel elektrotlarının farklı konumlandırılması ile dizilim türleri oluşturulmakta ve araştırmanın derinliğini de belirlemektedir. Şekil 3.1’de A ve B akım elektrotlarını, M ve N potansiyel elektrotlarını temsil etmektedir.



Şekil 3.1 Elektrik öz direnç yönteminde akım-potansiyel elektrotlarının konumu ve yeraltında meydana gelen akım gerilim çizgileri (Nostran ve diğer., 1966)

Elektriksel çalışmaların amacı yeryüzünde yapılan ölçümlerle yeraltındaki özdirenç dağılımının belirlenmesini sağlamaktır. Bu ölçümlerden yeraltındaki gerçek özdirenç değeri tahmin edilebilmektedir. Yüzeyle akım akışını belirten Ohm yasası özdirenç çalışmalarının temel fiziksel yasasıdır. Özdirenç teorisinde akım yoğunluğu ve akım arasındaki ilişki formulize edilmiş, daha sonra nokta akım kaynağından dolayı yüzeyleki potansiyel dağılımını veren temel denklem elde edilmiştir. Bilgisayar ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda bu denklemin çözülerek verilen yeraltı yapısı için gözlemlenen potansiyeli belirleyen düz çözüm modelleme problemleri oluşturulmuştur.

İlk defa 1915 yılında Wenner tarafından uygulanan özdirenç yöntemi, 1920 yılında Schlumberger tarafından geliştirilerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yeraltının heterojen bir özellik göstermesi nedeni ile özdirenç değişimi yeraltında 3 boyuttadır. Yapılan çalışmalar sonucunda özdirenç değişiminin 2 ve 3 boyutlu incelenmesi amacı ile modellerin oluşturulması için yöntemler geliştirilmiştir. 2D ve 3D modeller için yanıt ve model parametreleri arası matematiksel bağlantılar sonlu farklar (Dey ve Morrison, 1979a, 1979b) ve sonlu-elemanlar (Pridmore, ve diğer., 1981, Sasaki, 1994) yöntemleriyle sağlanmıştır. Böylece yöne bağımlı ve tekdüze olmayan yeraltının gerçeğe daha yakın modellenmesi gündeme gelmiştir. M.H. Loke tarafından hazırlanan ve bu çalışmada kullandığımız bir yazılım programı geliştirmiştir. Modelleme çalışmasına uygun RES1DINV, RES2DINV ve RES3DINV ters çözüm programları kullanılmaktadır. 2D görüntüleme çalışmalarında Wenner, Wenner-Schlumberger, Dipole-pole, Pole-Dipole dizilimleri kullanılmaktadır. Dizilim seçimi arazi çalışmasının öncesinde araştırılacak olan alana göre belirlenmesi gerekmektedir, çünkü farklı dizilim türleri farklı geometrik hesaplamaları beraberinde getirmektedir. Aynı yeraltı yapısı için farklı dizimler ile yapılan ölçümlerle farklı özdirenç değerleri elde edilmektedir. Belirli zaman aralıkları ile uygulanan elektrik özdirenç yöntemi 4D zamana bağılı olarak meydana gelen değişimin gözlemlenmesini sağlamaktadır.

Daha kesin ve ilgili değişkenlerden bağımsız bir yeraltı modelinin elde edilmesi için ters-çözüm çalışmaları uygulanmaktadır. Pratikte tüm özdirenç çalışmaları

pozitif ve negatif akım kaynağı ile iki elektrot kullanılarak hesaplanır. Matematiksel hesaplamalardan elde edilen özdirenç değeri yeraltının gerçek özdirenç değeri değildir, ancak aynı elektrot dizilimi için aynı özdirenç değerini verecek homojen yüzeyin özdirenç değeri “görünür” değerdir. “Görünür” değer ile “gerçek” değer arasında karmaşık bir ilişki vardır. Görünür özdirençten gerçek özdirenci belirlemek için “ters çözüm” işlemi program aracılığıyla yapılmaktadır.

Ters çözüm yöntemini etkileyen faktörler (Drahor, 2008) :

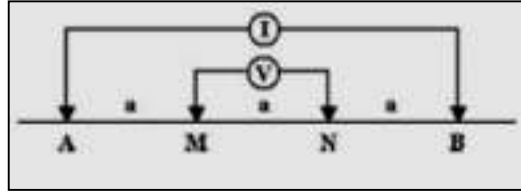
- Dizilim seçimi
- Gürültü ve Sönüm Faktörü İlişkisi
- Özdirenç Zıtlığı ve Yapı Etkisi

Dolayısıyla elde edilen ters çözüm verilerinin yorumlanmasında bu faktörlerin etkilerinin ne derecede olduğu da büyük önem taşımaktadır.

3.2.1.1 Dizilim Türleri

Elektrik özdirenç yönteminde akım ve potansiyel elektrotlarının konumlarına göre çeşitli dizilim türleri bulunmaktadır. Bunlar Wenner- a , Yarım Wenner, Wenner- β , Schlumberger, Dipol-Dipol, Pol-Dipol, Pol-Pol, γ -Dizilimi ve Gradyen Dizilimi şeklindedir. Ölçüm yapılan jeotermal alanlarda belirlenen tüm profillerde Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilim türlerinde ölçümler alınmıştır.

3.2.1.1.1 *Wenner Dizilimi.* Wenner diziliminde akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride ve elektrotlar arası eşit olacak şekilde dizilir. Şekil 3.2’de akım ve potansiyel elektrotlarının dizilim şekli verilmiştir. Ölçüm tipi, dizilimin merkezi altında yeraltı özdirencindeki düşey değişimlere (yatay yapılar), yatay değişimlerden (düşey yapılar) daha çok duyarlıdır. Kısaca yeraltı özdirencindeki yatay değişimlere hassasiyeti azdır. Genelde Wenner dizilimi düşey değişimler için daha uygundur. Araştırmanın derinliğini arttırmak için elektrotların arası “a” değeri arttırılarak ölçüm tekrarlanır. Elektrot sayısına bağlı olarak alınan seviye sayısı ve inilen derinlik değişmektedir.



Şekil 3.2 Wenner elektrot dizilimi

Wenner diziliminde alınan veriler Excel programında düzenlenirken görünür özdirençten gerçek özdirenç değerine geçmek için “k” geometrik faktör katsayısı hesaplanır. Bu değer,

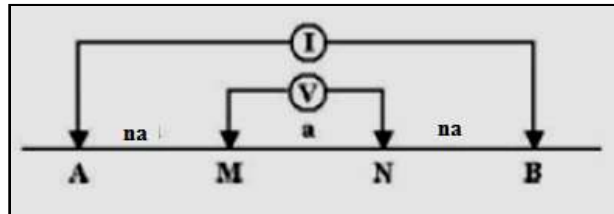
$$k = 2 * 3,14 * (\text{MN arasındaki mesafe}) \quad (1)$$

ve gerçek özdirenç,

$$R = k * (V - SP) / I \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.1.1.2 Wenner - Schlumberger Dizilimi. Wenner-Schlumberger diziliminde akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içerde ve tüm elektrotların aralıkları eşit bir şekilde dizilir. Şekil 3.3’de akım ve potansiyel elektrotlarının dizilim şekli verilmiştir. Elektrik düzey araştırmalarında yaygın kullanılan bir dizilimdir. Dizilimin “n” faktörü P1-P2 potansiyel çifti arasındaki aralığın, C1-P1 ve C2-P2 elektrotları arasındaki uzaklığa oranı şeklinde tanımlanır. Düşük “n” değerlerinde yatay, yüksek “n” değerlerinde düşey yapılara hassastır. Yüzeiden derine inmek için her kademedede potansiyel elektrotları arası sabit kalacak şekilde, akım-potansiyel elektrot çiftlerinin arası (na) açılarak her kademedede tekrarlanır. Elektrot sayısına bağlı olarak alınan seviye sayısı ve inilen derinlik değişmektedir.



Şekil 3.3 Schlumberger elektrot dizilimi

Schlumberger diziliminde alınan veriler Excel programında düzenlenirken görünür öz dirençten gerçek öz direnç değerine geçmek için k geometrik faktör katsayısı hesaplanır. Bu değer Schlumberger dizilimi için,

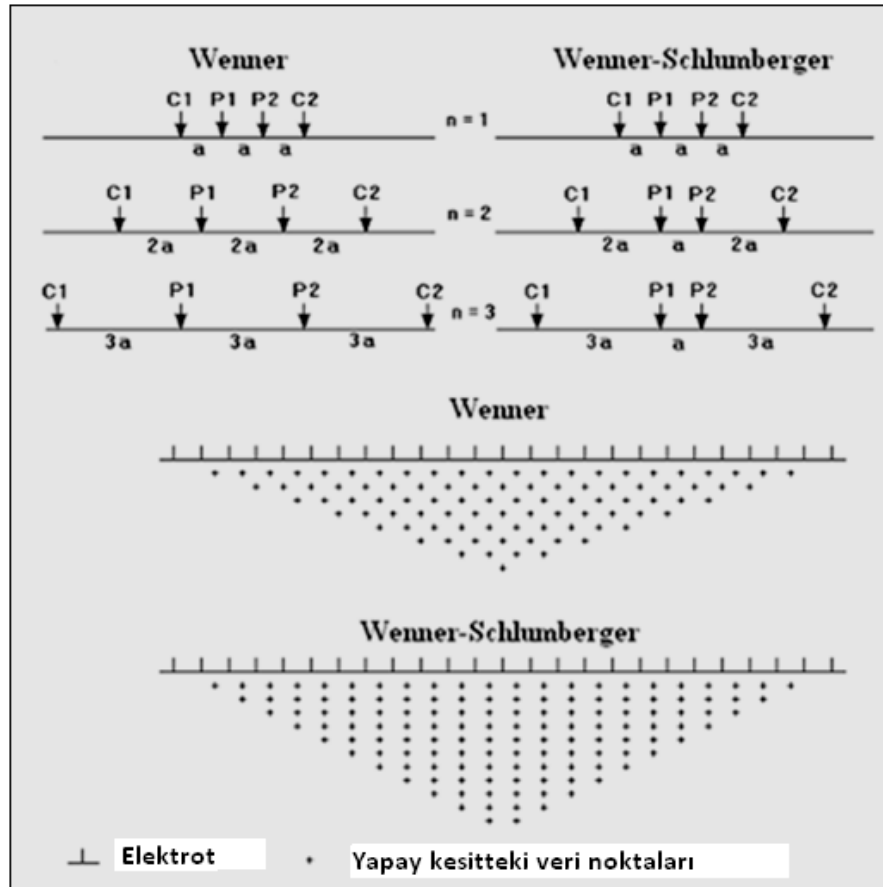
$$k = 3,14 * (MN) * (MN/AM) * (MN/AM + 1) \quad (3)$$

$$MN/AM = n \quad (4)$$

ve gerçek öz direnç,

$$R = k * (V - SP) / I \quad (5)$$

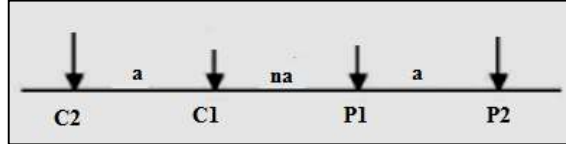
şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.4 Wenner ve Wenner-Schlumberger elektrot dizilimleri

3.2.1.1.3 Dipol-Dipol Dizilimi. Dipol-Dipol diziliminde iki akım elektrotu yan yana ve iki potansiyel elektrotu da yan yana gelecek şekilde dizilir. Şekil 3.5’de akım ve potansiyel elektrotlarının dizilimi verilmiştir. Başlangıçta akım elektrotları arasındaki uzaklık ile potansiyel elektrotları arasındaki uzaklık aynıdır. Dizilimde her

bir dipol çifti altındaki özdirenç değişimlerine oldukça hassastır. Dizilimin “n” faktörü arttıkça C1-C2 ve P1-P2 dipollerinin altında konumlanmış özdirenç değerleri artış gösterirken, C1-P1 elektrotları arası dizilimin merkezi altında özdirenç değerleri azalır. Yüzeyden derine inmek için her kademedede potansiyel ve akım elektrotları çiftinin aralarını (na) yani C1 – P1 aralığını açarak her kademedede ölçüm tekrarlanır.



Şekil 3.5 Dipol-Dipol elektrot dizilimi

Dipol-Dipol diziliminde alınan veriler Excel programında düzenlenirken görünür özdirençten gerçek özdirenç değerine geçmek için “k” geometrik faktör katsayısı hesaplanır. Bu değer,

$$k = 3,14 * (MN) * (MN/AM + 1) * (MN/AM + 2) \quad (6)$$

$$MN/AM = n \quad (7)$$

ve gerçek özdirenç,

$$R = k * (V - SP) / I \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.1.2 Elektrik özdirenç çalışmalarının uygulama alanları

Yüzeyaltı hidrojeolojik özellikleri (anakaya kalınlığı, akifer derinliği, stratigrafi, kil ve tuzlu su girişimleri) belirlemek

- Dolgu kalınlığını saptamak,
- Fayların haritalanması,
- Boşlukların saptanması, karst araştırmaları,
- Tünel, otoyol, demiryolu gibi yapıların altyapı araştırması,
- Akışkan içeren ya da hareketli yapıların sürekli gözlemlenmesi,
- Baraj gövdelerindeki sıvı kaçaklarının araştırılması,
- Toprak içindeki ağır metal içeriği, kirli akışkan ve diğer kirleticiler gibi atıklarla kirletilmiş alanların saptanması,

- Paleokanalların haritalanması,
- Arkeolojik alanların haritalanması,
- Kum ve çakıl yataklarının saptanması,
- Heyelan geometrisini saptamak

gibi birçok sorunun çözülmesine yardımcı olur (Drahor, 2008).

3.2.1.3 Çok Kanallı Elektrik Özdirenç Görüntüleme

Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi ile aynı özelliğe göre geliştirilen Çok Elektrotlu/Çok Kanallı Özdirenç Görüntüleme, eşit aralıklı olarak çakılmış elektrotlar ile bunların bağlantısını sağlayan çok kanallı (24, 48, 72, 96, ...) kablodan oluşan sistem günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemler; özdirenç aleti, bilgisayar, elektrotları denetleyen bir anahtar devresi, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşmaktadır. Bu tür bir cihaz ve gerekli yazılım yardımı ile dizilim türleri, akım ve potansiyel elektrotlarının ölçülmesi esasına dayanır. Sistemin en önemli parçası elektrotları denetleyen elektronik anahtar devresidir. Veri toplama kablosunun serildikten sonra ara kablolar ile yere çakılan elektrotlara bağlanarak uygulanır. Elektrik özdirenç yönteminden farkı veri toplamadan önce cihazda bulunan bilgisayar programına dizilim ile ilgili bilgiler yüklenir ve daha sonra otomatik olarak sistem ölçüm almaya başlar. Veri toplama işleminin kısa sürede tamamlanması yöntemin tercih edilmesinin başlıca sebebidir.

3.2.1.4 Zamana Bağlı Elektrik Özdirenç Görüntüleme

Belirli periyodik aralıklarla uygulanan elektrik özdirenç yöntemi Zamana Bağlı Elektrik Özdirenç Görüntüleme çalışması olarak adlandırılır ve araştırma alanına bağlı olarak yapılan tekrarlı ölçümlerdir. Ölçüm zamanı yıllık-aylık-haftalık-günlük-saatlik olarak çalışma amacına göre tercih edilir.

Belirli periyodik aralıklarla uygulanan yöntem sonucunda elde edilen haritaların karşılaştırılması ile yeraltını oluşturan jeolojik formasyonların gözenekliliği-geçirgenliliği ve meydana gelen yüzde değişim hakkında bilgi verir. Aynı zamanda

akışkan hareketinin hızı ve derinliğinin de belirlenmesini mümkün kılar. Bu yöntemle yapılan birçok çalışmada, doğal veya yapay yollarla yeraltında meydana gelen özdirenç değişimi gözlenmiştir. Uygulama alanı oldukça geniş olan bu yöntem, yeraltındaki akışkan hareketinden kaynaklı değişimlerin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

3.3 Literatür Örnekleri

Elektrik özdirenç ve elektrik özdirenç görüntüleme çalışmaları birçok alanda kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Bu bölümde farklı amaçlarla yöntemin uygulandığı çalışmalar ve elde edilen sonuçlarla ilgili bilgiler verilmektedir.

3.3.1 Elektrik Özdirenç Çalışmaları için Literatür Örnekleri

Hatzichristodulu ve diğer., (2000) tarafından test bölgesindeki kumtaşının doygun olmayan bölgedeki akışkanın 3D hareketini haritalamak için yüksek çözünürlüklü elektriksel görüntüleme kullanmıştır.

Dutta ve diğer., (2004) sert kayalar içeren bir bölgedeki elektrik özdirenç görüntüleme verilerini kullanmış ve böylece granit bölgede özdirençin 3D değişimini belirlemek için geliştirmiştir ve sonuçlar ilişkilendirerek su içeren bölgeleri tanımlamıştır.

Karan ve diğer., (2008) tarafından Çamlıdere-Ankara bölgesinde jeotermal enerjinin araştırılması için elektrik özdirenç yöntemi ile çok kanallı elektrik özdirenç araştırmasıyla fayların konumu ve jeotermal akışkan varlığını belirlemek için uygulanmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda çok düşük özdirenç değerine sahip ölçülerin sıcak su çıkışı ve gazlardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Tezcan (1969), Sarayköy'de sıcak suyun özdirençinin düşük olduğu ve düşük özdirenç konturunun sıcak su bölgesini belirttiği sonucuna varmıştır. Herhangi bir

geçirimli sistemle, sıcak kaynağa bağlı, yerüstü ve yeraltı suları, derinlerdeki sıcak kaynağa değmek şartıyla ısınmaktadır. Isınan bu su, sıcak kaynaktan ayrılan sıcak gazları da taşımaktadır. Bu sıcak su, termodinamik kanunlara uygun olarak ve daha çok geçirimli tabakadan geçerek örtü tabakası altında bulunan gözenekli ve geçirgen rezervuara kadar yükselebilmektedir. Muhtemelen derinlerden gelen sıcak su geçmiş olduğu zonlarda sıcaklığına uygun olarak erittiği mineral ve tuzları da taşımaktadır. Artık sıcak su yerine sıcak çözelti söz konusu olmaktadır. Basıncına ve fizik özelliğine uygun olarak Darcy Kanunu gereğince başlangıçta rezervuardaki meteorik kökenli suyun bir kısmının yerine yerleşecektir (Kavlakoğlu, 1968). Meteorik su rezervuarına yerleşen sıcak çözelti daha ziyade küçük genlikli konveksiyon akımları sebebiyle meteorik soğuk su bölgelerine doğru genişleyecektir. Özdirenç yöntemi jeotermal sahaların değerlendirilmesinde önemli jeofizik metotlardan biri olmaktadır. Ayrıca özdirenç yöntemiyle sıcak çözeltiyi temsil eden formasyonu belirlemek ve derinliği hakkında bilgi edinmek mümkün olabilmektedir.

Sentenac ve diğer, (2010) küçük özdirenç dizilimleri kullanılarak simülasyonu oluşturulan tanımsız akiferlerde mazot taşınımının görüntülenmesi amaçlanmıştır. ERT görüntüleme öncelikle mazot enjeksiyonunu belirleyerek, Perpex tabanı ve tuz dolgulu (mavi renkli, düşük özdirençli) deponun çok katlı yapısını yansıtmıştır. ERT yöntemi ile deneyin sonunda sızıntı bölgesindeki yükseltilmiş özdirençler tarafından karakterize edilen su tablasının özdirencini yüksek göstermiştir. Farklı ERT görüntüleri derinde enjekte edilen mazotun doygun bölgeye doğru yukarıya göçünü yansıtmıştır. Yükseltilmiş özdirenç mazot göçü nedeni ile etkilenen bölgeleri göstermiş ve sığ enjeksiyon sebebiyle ilişkili olduğu düşünülen derin enjeksiyon boyunca mazot kirliliğinin yanal ve düşey yayılımı görülmüştür. Özellikle yeraltı su tablasındaki havuzlanmanın etkisini bildirmiştir.

Avila ve diğer., (2004) jeolojik formasyonlarda tuzlu su girişimin modellenmesi üzerine çalışmalar geliştirmiştir. Çalışmanın düşük maliyetli olması ve çok zaman almaması için elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi kullanılmıştır ve yöntemin çalışma alanına uygun olduğu düşünülmüştür. 4m elektrot aralıkları olacak şekilde toplam 48 elektrot kullanılarak 188 m profil uzunluğu ile 20 m derinliğe inilmiştir.

2D ters çözüm işlemi yapılarak araştırılan bölgede yapılar homojen deniz suyu ile karıştığı zaman güzel sonuçlar vermiştir, çünkü özdirençteki küçük farklılıklar sudaki tuzluluğun değişimine karşılık geldiği saptanmıştır.

Creed ve diğer., (1996) buhar baskın rezervuar içine soğuk su enjeksiyonu sonucu buhar üretiminin azalması ve devamlılığı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada sığ yeraltı buharını ve gözenekli tabakadaki su hareketini haritalamak için düz-çözüm modelleme çalışması yapılmış ve böylece yöntemin çalışma için uygunluğu araştırılmıştır.

Ramirez ve diğer., (1996) elektrik özdirenç görüntüleme çalışması ile yeraltı metal depolama alanındaki sızıntının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma Hanford Rezervinde bulunan 15m çapındaki çelik depo örneği altında ölçülen alan sonuçlarını içermektedir ve aynı zamanda sayısal simülasyonlarla desteklenmiştir. Sızıntıdan kaynaklı özdirenç değişimlerin zamana bağlı değişimi üç boyutlu haritalanmıştır. Sızıntının meydana geldiği yer ve büyüklüğünün belirlenmesinde yöntem büyük önem taşımıştır.

Mondal ve diğer., (2008) 2D elektrik özdirenç görüntüleme kullanılarak Garghwal Himalaya'da aktif heyelan araştırması yapmıştır. ERT yöntemi heyelan çalışmaları için oldukça düşük maliyet ve kısa sürede ölçüm işlemini başarmaktadır. Altı elektrik özdirenç tomografi profili heyelanı belirtmiş ve özdirenç tomogramlar, yüzey seviyesinden 10-20 m oranındaki derinlikte kaymanın varlığını göstermiştir.

Detwiller ve diğer., (2003) sağlam ve kırıklı olarak temsil edilen jeotermal rezervuarın elektriksel özdirençinin laboratuvar ölçümlerinde aktif kaynama ile ilişkili özdirenç zıtlıkları araştırılmıştır. Ölçümlerde 100 bar ve 181°C rezervuar koşullarının varsayımı yapılarak simülasyon oluşturulmuştur. Sağlam kayaçların gözenek basıncı, normal suyun faz-sınır basıncı altına düştüğü zaman sağlam kayaçların iletkenlik artışı kademeli olmuştur. Sıvı dolumu olduğu zaman hazırlanan çatlaklı örnekler sağlam örneklerden %25-50 daha azdır ve kaynamaya başladığı zaman özdirençinde büyük artış gözlenmiştir.

3.3.2 *Zamana Bağlı Elektrik Özdirenç Çalışmaları için Literatür Örnekleri*

Daily ve diğer., (1992) ve Zhou ve diğer., (2001) tarafından doygun olmayan bölgedeki nem içeriğindeki geçici değişimleri belirlemek için kullanışlı bir yöntem olduğu ve zamanla özdirençte meydana gelen değişimlerin izlenmesine imkan sağladığı belirlenmiştir.

Tanvi ve diğer., (2005) çalışmalarında kısa süreli dolum için özdirenç tomogramlarındaki değişimi görüntülemek için zamana bağlı elektrik özdirenç yöntemini kullanmıştır.

Ogilvy ve diğer., (2009) tarafından zamana bağlı elektrik özdirenç çalışmalarının elle uygulanması maliyetli ve uzun sürmesi açısından tercih edilmemesi üzerine otomatik time-lapse elektrik özdirenç (ALERT) ölçümü geliştirilmiştir. Yöntem; su sistemlerinin tehlikeli duruma girdiği zamanın erkenden belirlenmesini sağlamıştır. Çalışma sistemi, kuyu kaplamasına eklenir veya sığ yüzeye gömülür. Otomatik zamana bağlı elektrik özdirenç görüntüleme sistemi deniz kıyısı akiferlerinin uzun dönem görüntülenmesi için geliştirilmiştir. Andarax Nehir yatağına sabitli otomatik özdirenç sistemi kalıcı olarak kurulmuş ve Kuarternari akifer uzanımında deneme yapmak ve iklim değişikliğinin etkisinin yönetilmesini ve görüntülenmesini amaçlamıştır. Otomatik sistem teknolojisi deniz suyu girişiminde, anizotropik kirlilik ve deniz seviyesinde elektrik görüntüleme çalışmalarında tatlı su ve tuzlu su ara yüzeyinin hidrojeolojik yapıları açısından yorumlanmıştır. Yeraltı su değişimlerinin görüntülenmesi ve belirlenmesinin yanında düzenli sulama ve pompalama planları için de uygulanabilmektedir.

Chambers ve diğer., (2009) heyelan araştırmaları için elektrik özdirenç görüntüleme çalışması yapılmıştır. Bu yöntemin büyük avantajının yeraltındaki hidrolik değişimlere hassas olduğu ve alan ölçeğinde hacimsel-uzamsal bilgiler sağladığı düşünülmüştür. Ukrayna, Kuzey Yorkshire, Malton yakınlarında aktif heyelan bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada, otomatik zamana bağlı elektrik

özdirenç görüntüleme (ALERT) sistemi kurulmuş ve geliştirilmesi tasarlanmıştır. Araştırmanın özneliği, hidrolik hareketinin öncülüğünü gözlemlemek ve heyelanın yeraltı yapısını karakterize edebilmek için 4D gözleme sistemi geliştirilmiştir. Aktif heyelanda ALERT sisteminin kurulumu tamamlanmış ve mevcut ilk sonuçlar heyelanın 3D yapısı ve eğim bozukluğunun aktif-statik durumu arasında ölçülen yeraltı özdirenç değişimlerini göstermiştir. ALERT sisteminin kurulmasından sonra kısa zamanda toplanan verilerden 3D ERT modeli türetilmiştir. Bu model heyelanın 3D yapısını göstermiş ve daha sonraki görüntüleme olayları için bir referans modeli sağlamıştır. Başlangıç görüntüleri Ağustos 2008 ve Şubat 2009 tarihlerinde alınarak, Ağustos 2008 için kuru dönem, Şubat 2009 için ıslak dönem şeklinde sınıflandırılmıştır. Ağustos 2008 ve Şubat 2009 zaman aralığında, üst yüzeyin birkaç metresinde yaklaşık %20 özdirenç artışı gözlenmiştir. Bu kış süresince nem artışının etkisini gizleyen, mevsimsel sıcaklık değişimlerinden dolayı olduğu düşünülmüştür. İki ayda hava sıcaklıkları ortalama 16°C ve 3,5°C'dir. Bu görünür sıcaklığın etkisinin büyüklüğü ve şiddeti yeraltı seviyesinin 5-10 m arasında hava sıcaklık etkileri ile her 1°C'de özdirenç değerinde %2 değişiminin lineer deneysel yaklaşımı Hayley ve diğer., (2007) tarafından gözlemlenen değerlerle tutarlı olmuştur. 5 m derinlik altında Ağustos 2008 ve Şubat 2009 tarihleri arasında özdirenç değeri azalmıştır. Hem özdirenç hem de farklı modellerin değişimi, nem dağılımı ve değişen yeraltı yapısının muhtemelen fonksiyonudur. TL-ERT görüntüleme mevsimsel sıcaklık değişimi, nem bileşimi ve aktif heyelanın kütle içinde yüzey hareketinin değişimi ile ilgili olduğu gösterilmiştir. Nem bileşeninden kaynaklı özdirençteki sığ seviyelerdeki değişimleri sıcaklık etkisiyle ilişkilidir. Mevsimsel hava değişiminin etkisinin minimal olduğu derinlerde nem sabitindeki değişimler, özdirençteki değişimlerdir. Heyelan hidrolojisinin araştırılması sırasında ERT yönteminin imkanlarından 4D görüntüleme işlemi yapılmıştır.

R.de Franco ve diğer., (2009) deniz kıyısında tuzlu su girişim hareketinin görüntülenmesi amacı ile TL-ERT çalışması yapılmıştır. Sistem her gün 10 özdirenç tomogramı elde etmiştir ve 300 m uzunluğunda ve 5 m elektrot aralıklarıyla 50-60 m derine inilmiştir. TL-ERT sistemi uzun dönem sığ akiferlerde tuzlu su girişiminin

gözlemlenmesi için geliştirilmiştir. Nehrin en derin kısmında acı suyun varlığını işaret ederken sığ suların tazeliği gözlenmiştir.

Ranieri ve diğer., (2007) arkeolojik alanlarda yapılan çalışmada yeraltına süzülen yağmur sularının özdirenç değişimine etkisinin Zamana bağlı elektrik özdirenç görüntüleme çalışması ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Yeryüzünden aşağıya periyodik olarak yağmur suyunun süzülmesi süresince ölçülebilen yüksek özdirenç zıtlığı toprağın doymuş koşullarda ölçülene yakın çok kuru olduğu zaman belirlenmiştir. Sızıntının hızı ve derinliği iyi bilinmelidir ve bu nedenle kısa zaman aralıklarında hızlı ölçümlere gerek duyulmuştur. Ancak yağmurun ne zaman meydana geleceğini tahmin etmek oldukça zordur. Bölgede yeraltında ölçülmesi istenen koşulların oluşturulması amacı ile sisteme giren su miktarının dikkatli bir şekilde gözlenmesi için yapay olarak su eklenmiştir. İlk ERT ölçümleri toprak nem içeriğinin çok düşük olduğu yaz mevsiminde yapılmıştır, böylece ölçümler “kuru” olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçta toprak veya arkeolojik kalıntıların içinin ıslatıp/ıslatılmadığına göre yüzeyden farklı değişimlerin nem bileşenini arttırmak için sulanmıştır. Su sızarken, nem zamanla değişir, böylece suyun arkeolojik kalıntılara sızmasına emin olacak kadar uzun süre devam ettirilir. Kısaca, sulamadan sonra (1 saatte 5 dak.’dan), ikinci ERT ölçümü uygulandığında bu ERT çalışması “ıslak” olarak sınıflandırılır. İki yolda veri ters çözümü uygulaması; 1) her veri seti RES2DINV ters çözüm yazılımı kullanılarak bağımsız olarak ters çözüm yapılmıştır (Loke ve Barker, 1996; Loke, 1999) ve böylece iki tomografi arası oranların belirlenmesi için hesaplanan her ölçüm farklılığı Labrecque ve Yang (2000) tarafından önerilen “kuru tomografi” modeli baz alınarak hesaplanmıştır, böylece veriler Daily diğer., (1992) tarafından önerilen ters çözüm işlemi ile yapılmıştır. Ölçümler öncelikle kuru ortamda yapılmış ve böylece modele hafif yağmur suyunun simülasyonu için yaklaşık 2000 litre su eklenmiştir. Modelin hacmi (yaklaşık 20 m³) ve %30 poroziteli sulandırılmış hacim, yaklaşık %50 su doymunluğuna sahip olduğu belirlenmiştir. Temel anomaliler altında düşük özdirenç zıtlığı modelin altına süzülmeyen suyu açıkça göstermiştir. İlk yöntemde arkeolojik yapılarla ilişkili olmayan pek çok sığ anomalileri göstermiştir. Kuru ve ıslak koşullarda görünür özdirenç ölçümleri arası farkın ters çözümü, iki ters çözümün farkından çok daha

etkili görünmüştür. Zamana bağlı görüntüleme ölçümleri kuru ortamlarda yapılan ölçümlerle kolayca belirlenebilmiş ve yağmurdan sonra birkaç saat tekrarlanmıştır.

Arora ve diğer., (2011), elektrik özdirenç görüntüleme kullanılarak Güney Hindistanda küçük ölçekli havzanın sert kayalık bölgelerinde doygun olmayan bölgenin zamana bağlı görüntülenmesinden özdirenç değerleri belirlenmiştir. Elektrik özdirenç görüntüleme veri setlerindeki değişim yağmurdan sonra ve yağmur süresince gözlenmiştir. Bu çalışmada elektrik özdirenç görüntülenmenin sonuçları gözenekli bölgede doğal olarak tekrar dolunun izlenmesi için Güney Hindistanda küçük ölçekli havzadaki doygun olmayan bölgenin zamana bağlı görüntülenmesi için kullanılmıştır. Su hareketi elektriksel ölçümlere dayalı yapıları etkilemektedir çünkü çevrenin elektriksel iletimi su doygunluğuna bağlıdır. Elektrik özdirenç uzamsal değişimi 2D elektrik özdirenç görüntüleme verilerinin tomogram analizi tarafından dökümanlanmıştır. Tomogramlar nem hareketini analiz etmek için elektrik özdirenç verilerinin uzamsal görüntülenmesinde doğru sonuçlar verdiği için önem kazanmıştır. Özdirenç verileri Loke ve Barker (1995) tarafından geliştirilen RES2DINV yardımı ile değerlendirilmiştir ve geliştirilmiştir. Özdirenç değeri 5m boyunca 40m'den 50m derin seviyelere kadar profil doğrultusu boyunca azalmıştır. Mevcut çalışmanın ilk bulguları akifer koşullarında geçerli olmayan tekrar dolun işlemi için piston akışı açıkça göstermiştir. İkincil olarak tekrarlanan elektrik özdirenç görüntüleme yağmur dolun tahminini desteklemiştir.

Cassiani ve diğer., (2006) tuzlu su girişiminin gözlemlenmesine dayalı bir çalışma yapmışlardır. Tuzluluk gözlem testi nehir deltasının bulunduğu bölgede endüstriyel alanda yapılmıştır. Test derin kapalı akifer ve sığ sınırları belirli olmayan akifer arasındaki olası hidrolik etkileşimin tanımlanmasını amaçlamıştır. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi 48 elektrot kullanılarak 45 günlük periyodik aralıklarla yapılmıştır.

Ramirez ve diğer., (2003) jeolojik rezervuarda CO₂ enjeksiyonu ve ayrışması sonucu özdirenç değişimleri üzerine elektrik özdirenç görüntülenmenin geliştirilmesi için nümerik ve sayısal model çalışmaları yapılmıştır. CO₂ süper kritik akışkan

olarak enjekte edilmiş ve enjeksiyon-göçün sebep olduğu formasyon özdirencindeki değişimlerin zamana bağlı haritaları elde edilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarının bazılarını geliştirmek için su tankına eklenen çeşitli materyallerin bölümlerini içeren fiziksel modeller oluşturularak, ERT yönteminin CO₂ kirliliğinin gözlemlenmesine yardımcı olmuştur. CO₂ enjeksiyonu ve göçü sebebi ile formasyon özdirencindeki değişimlerin zamana bağlı haritaları ERT yardımıyla yapılmıştır. Rezervuardaki CO₂ hacim tahmini, akışkan akış yolları, akışkanın yanal yayılımı, CO₂ rezervuar durumlarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Yöntem, CO₂ sıvısı tarafından meydana gelen değişimlere hassastır ve çalışma sonucunda rezervuar içindeki kapatılmış atık olan CO₂ hacminin tahminleri de yapılabilmektedir.

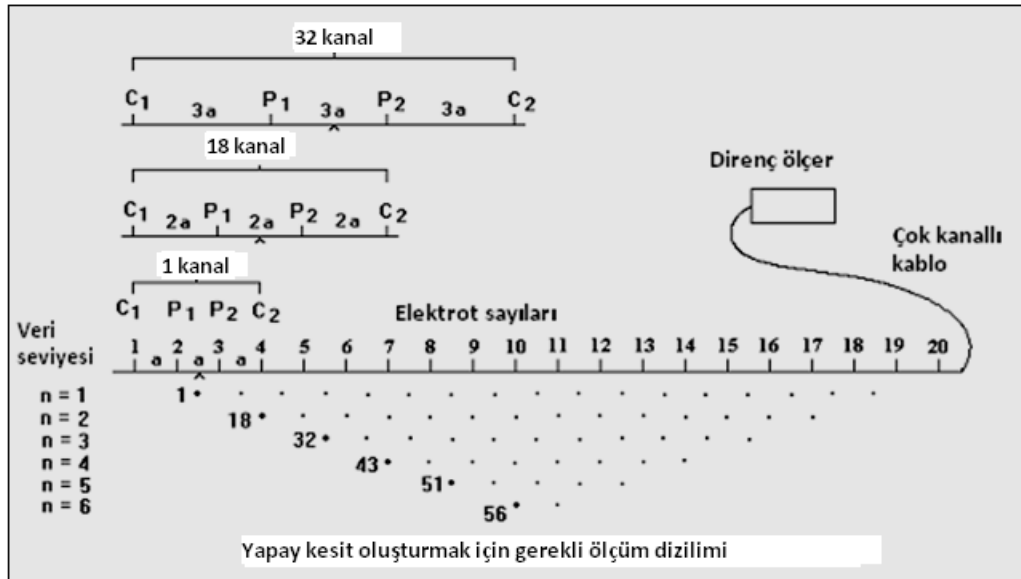
Ramirez ve diğer., (1993) buhar enjeksiyonu süresince toprak özdirencindeki değişimleri gözlemek için ERT uygulamaları gerçekleştirmiştir. Enjekte edilen buhar ile toprak özdirenci, buhar boşluk suyunun iyonik bileşiminin değişimi ve toprak - boşluk su sıcaklıklarının artışı, doğal boşluk suyunun bir kısmının buhar ile yer değiştirmesi sonucu değişim göstermiştir. Boşluk ve zamanın fonksiyonu olarak toprak özdirencindeki değişimlerin haritalanmasıyla buhar dolu formasyonlu bölgeler haritalanır. Tomografiler yatayda zamanla genişleyen buhar baskın bölgeyi göstermiştir. Lawrence Livermore Yeraltının Görüntüleme Projesinin bir kısmı olarak, buhar enjeksiyonu süresince toprağın elektrik özdirencindeki değişimleri görüntülemek için ERT kullanılmıştır. Ölçümler buhar enjeksiyonundan önce ve enjeksiyon süresince dört hafta periyotlarla yapılmıştır. Toprak özdirencindeki formasyona buhar basımı nedeni ile değişimlerin haritalanmasında tomografiler yaklaşık %40 azalış göstermiştir.

BÖLÜM DÖRT

SAHA ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRME

4.1 Veri toplama işlemi

Elektrik özdirenç görüntüleme çalışması yüzeyden kablo ve elektrotlar aracılığı ile yeraltına akım verilerek iletkenlik farklılıkları nedeni ile yeraltındaki yapıların belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Alan çalışmalarında ESC Rezistivite Sistemi ile METZ SAS 503 kullanılmıştır. Akım ve potansiyel elektrotlarının dizilim türlerine göre yerleştirilmesi için bir multibox ve cihazı beslemek için 12 Voltta çalışan akü sistemin gereçleridir. Ölçümde, içerisinde 30 kanal bulunan 2 adet 150 m'lik kablo kullanılmıştır. Kablonun üzerinde 5 m aralıklarla elektrotların bağlanması için bağlantı çıkışları yapılmış ve kablodan geçen akımın elektrota iletimi için ara kablolar hazırlanmıştır.



Şekil 4.1 2-D elektrik özdirenç ölçümü için gerekli ölçüm sistemi

Balçova jeotermal alanında Profil -1 (BD-10) için 44 elektrot, Profil 2 (B-10 kuyusu) ve Profil 3 (BD-7 kuyusu) için 30 elektrot kullanılmıştır. 2010 yılında Mart-Nisan-Mayıs-Eylül ve 2011 yılında Şubat aylarında saha çalışmaları yapılmıştır.

4.2 Meteoroloji ve Kuyu Verileri

Saha çalışmaları sonucunda elde edilen veriler öncelikle Excel programında tablo şeklinde hazırlanarak veri sayıları kontrol edilerek SURFER programında hazırlanan Excel yardımı ile “.dat” dosyası oluşturulmuş ve Res2DINV programında veri dosyası olarak okutulmuş, yeraltının iki boyutlu ters çözüm kesitleri elde edilmiştir. Res2DINV programında elde edilen 2 boyutlu ters çözüm haritaları ölçüm alınan aylara göre verilmiştir. Belirtilen haritalardan yeraltındaki öz direnç değişimin nedenlerini araştırmak için, İzmir Meteoroloji Müdürlüğünden 2009-2010 yılları Balçova (Güzelyalı istasyonuna ait bilgiler) bölgesine ait aylık toplam yağış miktarı (mm), aylık sıcaklık (°C) ve günlük yağış miktarı (mm) sırası ile Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Balçova Jeotermal Sanayi Limited Şirketinden ölçüm profilleri yakınında bulunan BD-10, BD-7 ve B-10 kuyularına ait sıcaklık, debi ve basınç verileri alınmıştır.

B-10 kuyusu için sıcaklık verileri, debi miktarı ve basınç bilgilerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Aynı zamanda Tablo 4.1’de B-10 kuyusuna ait verilerden aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama debi miktarını gösteren grafikler; Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

BD-7 kuyusu için sıcaklık verileri, debi miktarı ve basınç bilgilerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Tablo 4.2’de BD-7 kuyusuna ait verilerden aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama debi miktarını veren grafikler; Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

BD-10 kuyusu için sıcaklık verileri, debi miktarı ve basınç bilgilerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir. Tablo 4.3’de BD-10 kuyusuna ait verilerden aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama debi miktarını veren grafikler; Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’de verilmiştir.

Bölgede günlük yağış miktarı bilgilerine göre,

- 14 Mart tarihinde günlük 14,4 mm,
- 16 Mayıs tarihinde 0,4 mm,
- 20 Mayıs tarihinde 0,2 mm

Aylık meydana gelen yağış miktarına göre,

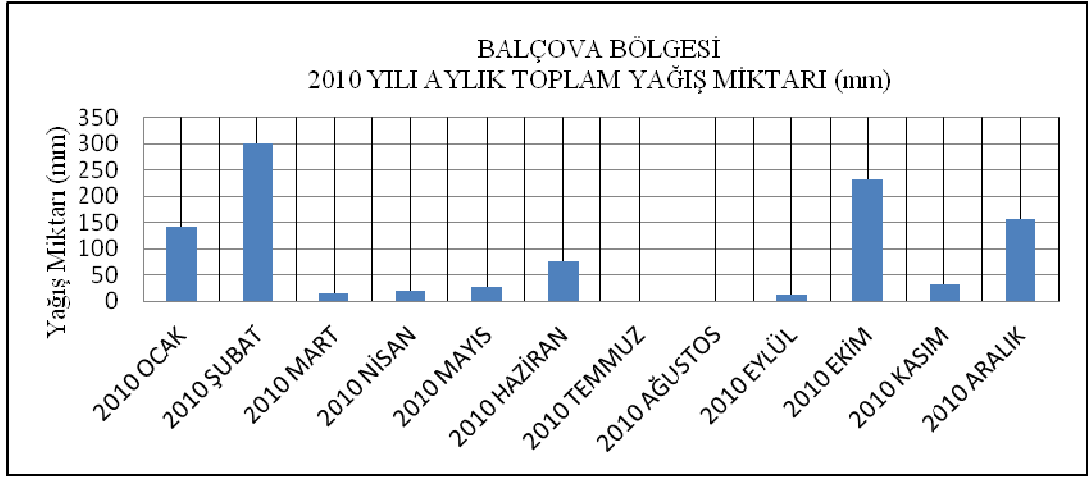
- Mart ayında ortalama 175,7 mm,
- Nisan ayında 20,4 mm,
- Mayıs ayında 27,1 mm,
- Eylül ayında 12,3 mm

Aylık ortalama sıcaklıklara göre,

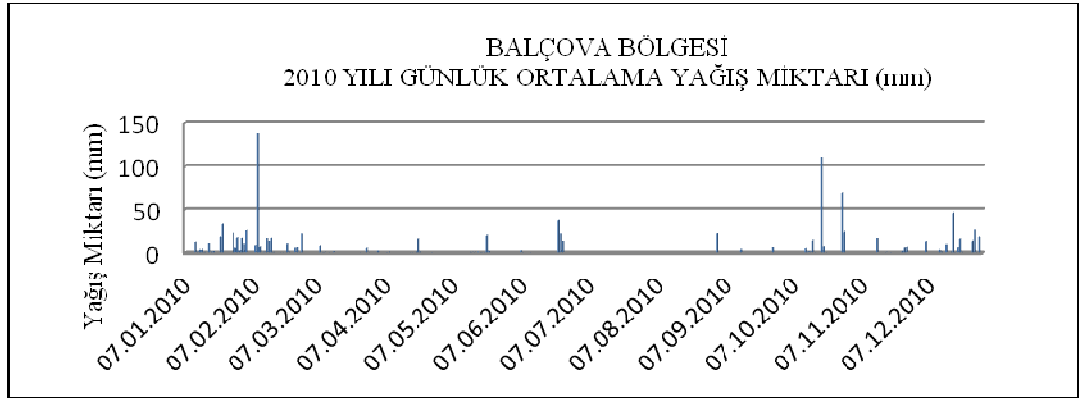
- Mart ayında 13,3°C,
- Nisan ayında 17,4°C,
- Mayıs ayında 21,8°C,
- Eylül ayında 24,8°C

şeklindedir.

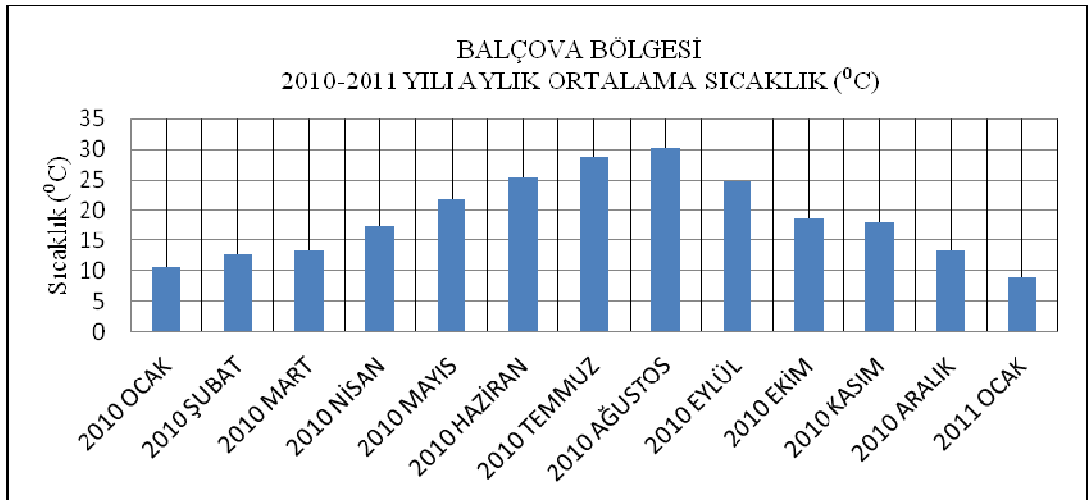
4.2.1 Balçova Bölgesi Meteorolojik Veriler



Şekil 4.2 Balçova Bölgesine ait aylara göre toplam yağış miktarı (mm) grafiği

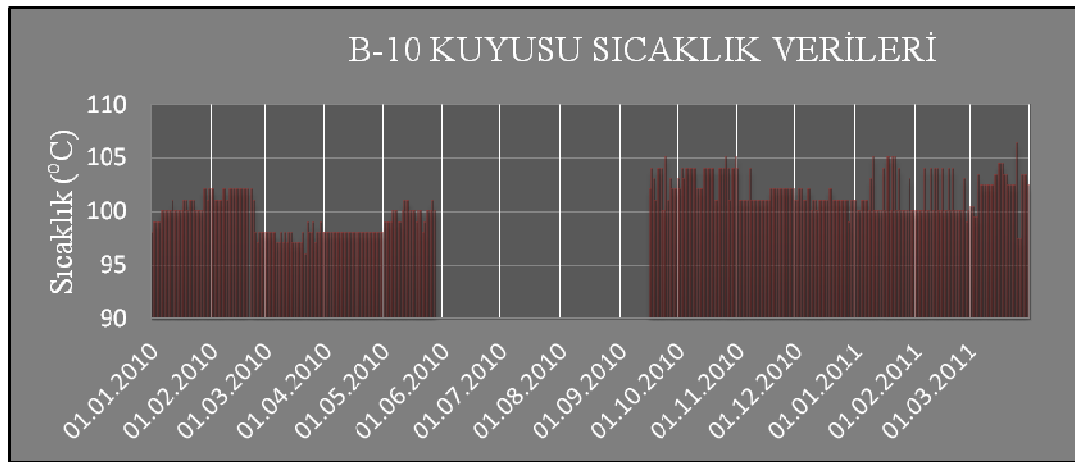


Şekil 4.3 Balçova Bölgesine ait günlük ortalama yağış miktarı (mm) grafiği

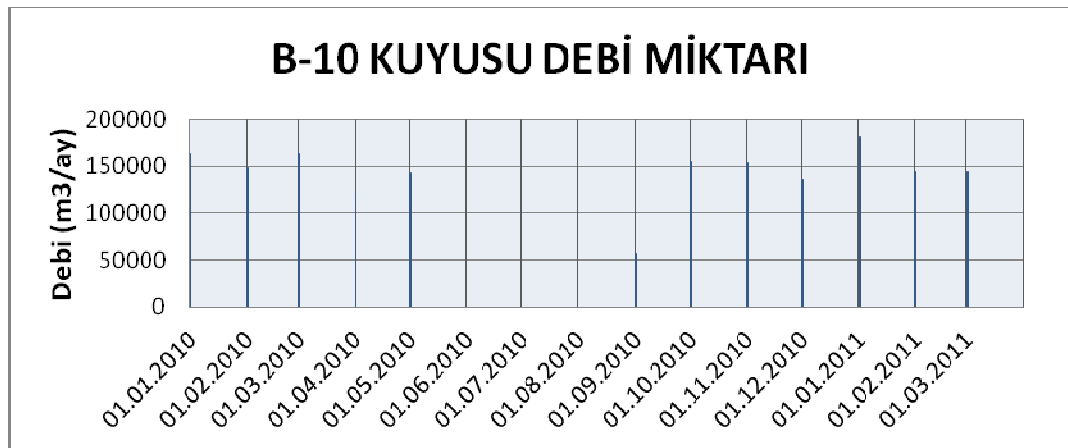


Şekil 4.4 Balçova Bölgesine ait aylara göre ortalama sıcaklık (°C) grafiği

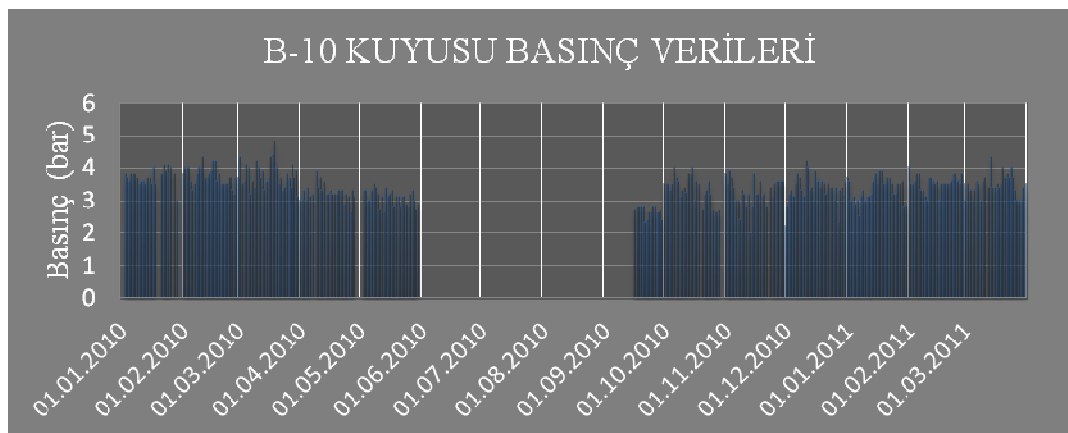
4.2.2 B-10 Kuyusuna Ait Veriler



Şekil 4.5 B-10 kuyusu için aylara göre sıcaklık (°C) grafiği



Şekil 4.6 B-10 kuyusu için aylara göre debi miktarı (m³/ay) grafiği

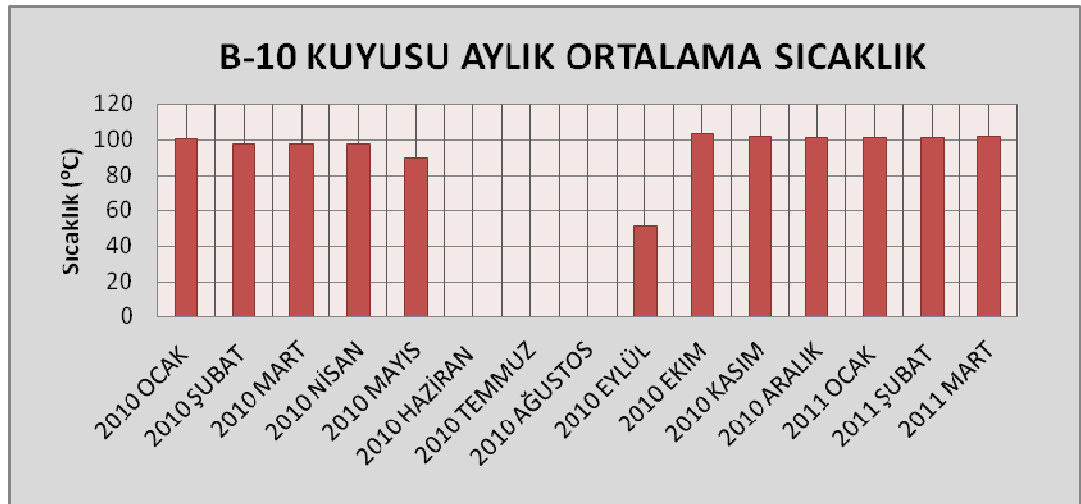


Şekil 4.7 B-10 kuyusu için aylara göre basınç (bar) grafiği

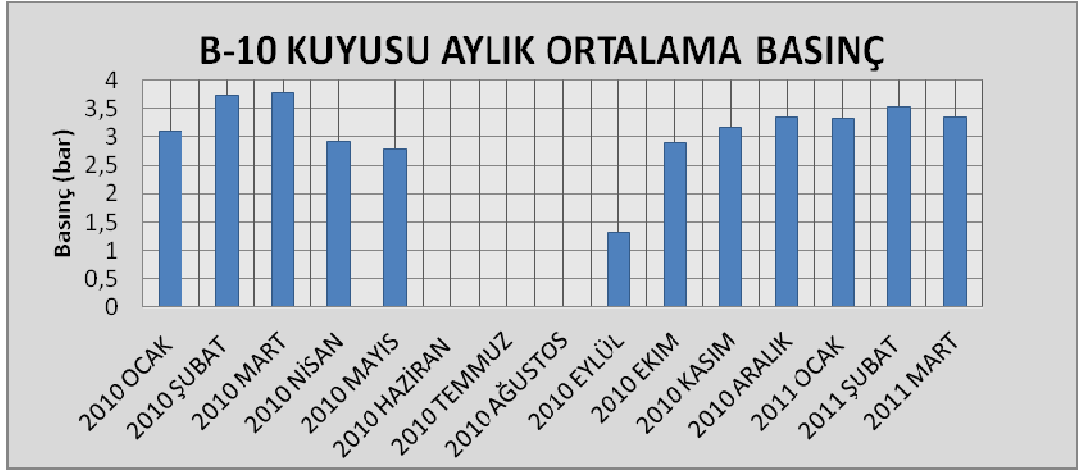
Tablo 4.1 B-10 kuyusu için aylık ortalama sıcaklık ve basınç verileri

	Sıcaklık	Ortalama Basınç
2010 OCAK	100,2258065	3,093548387
2010 ŞUBAT	97,39285714	3,742857143
2010 MART	97,67741935	3,770967742
2010 NİSAN	98	2,91
2010 MAYIS	90,06451613	2,780645161
2010 HAZİRAN	0	0
2010 TEMMUZ	0	0
2010 AĞUSTOS	0	0
2010 EYLÜL	51,23333333	1,323333333
2010 EKİM	103,4516129	2,900967742
2010 KASIM	101,6333333	3,163333333
2010 ARALIK	101,0645161	3,341935484
2011 OCAK	101,4193548	3,316129032
2011 ŞUBAT	101,0714286	3,539285714
2011 MART	102,2709677	3,35483871

B-10 kuyusu için Tablo 4.1.'den elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir.

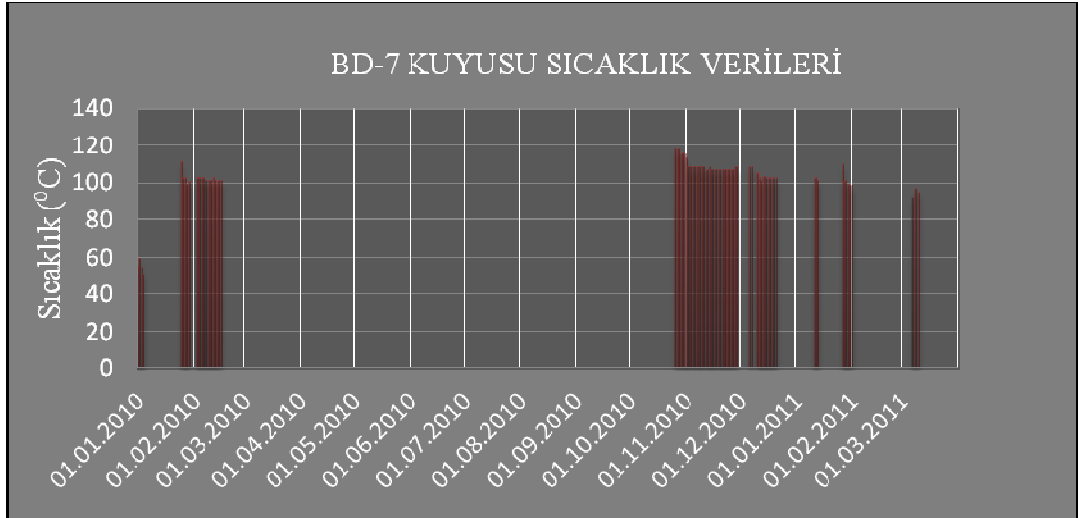


Şekil 4.8 B-10 kuyusu için aylık ortalama sıcaklık grafiği

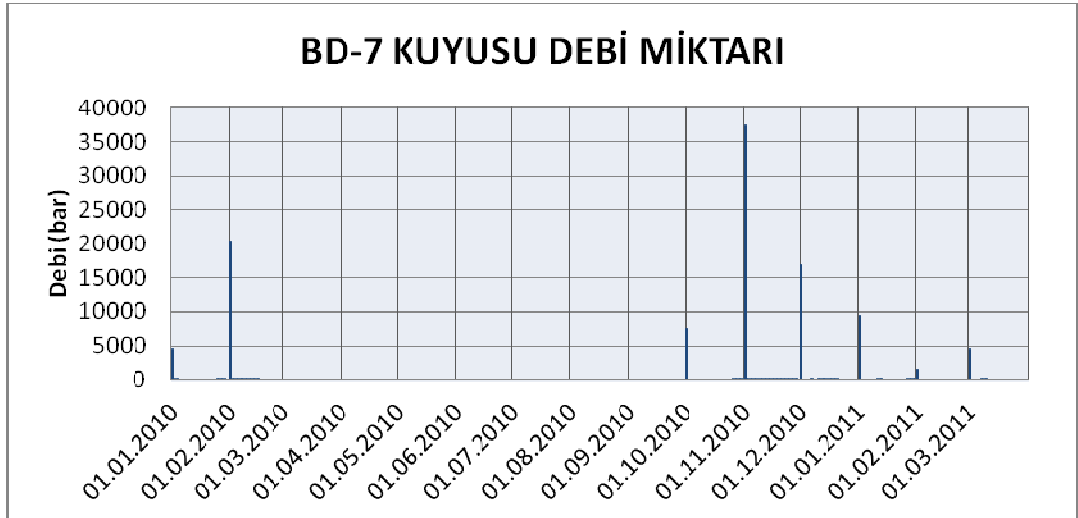


Şekil 4.9 B-10 kuyusu için aylık ortalama basınç grafiğı

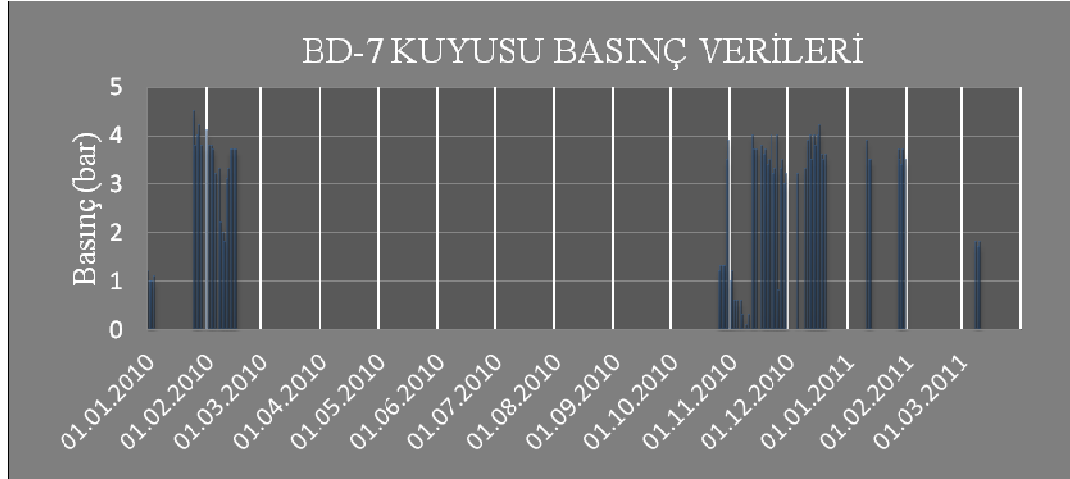
4.2.3 BD-7 Kuyusuna Ait Veriler



Şekil 4.10 BD-7 kuyusu için aylara göre sıcaklık (°C) grafiğı



Şekil 4.11 BD-7 kuyusu için aylara göre debi (bar) miktarı grafiğı

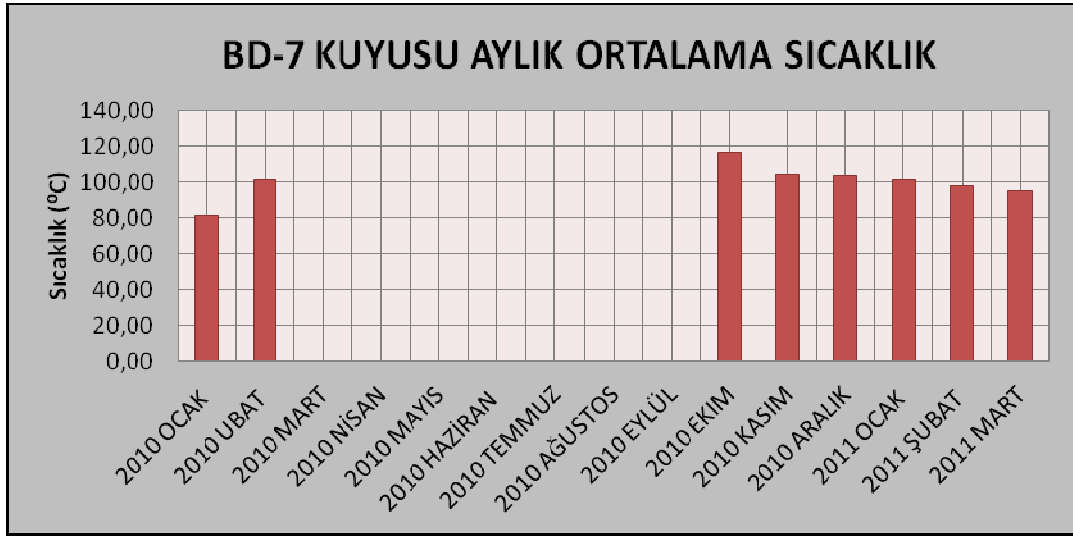


Şekil 4.12 BD-7 kuyusu için aylara göre basınç (bar) grafiği

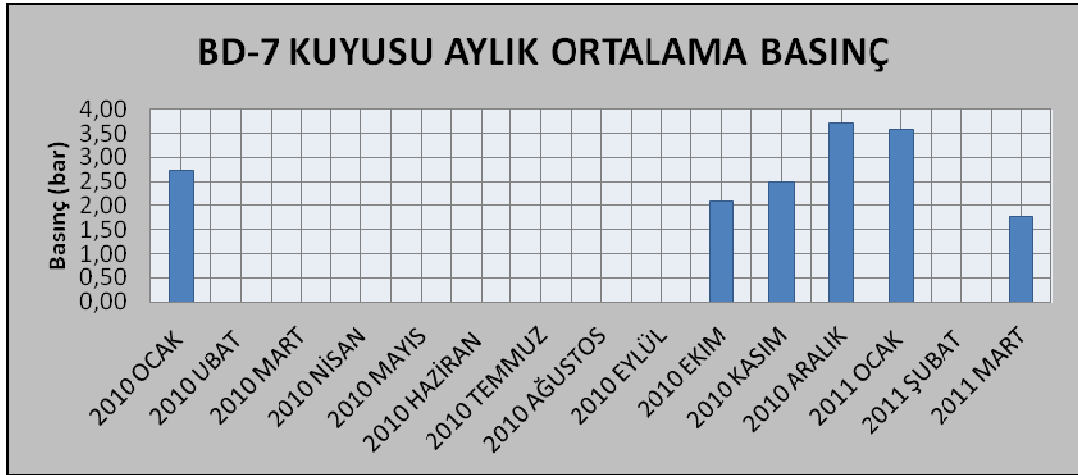
Tablo 4.2 BD-7 kuyusu için aylık ortalama sıcaklık ve basınç verileri

	Sıcaklık	Ortalama Basınç
2010 OCAK	81,40	2,73
2010 ŞUBAT	101,33	0
2010 MART	0,00	0
2010 NİSAN	0,00	0
2010 MAYIS	0,00	0
2010 HAZİRAN	0,00	0
2010 TEMMUZ	0,00	0
2010 AĞUSTOS	0,00	0
2010 EYLÜL	0,00	0
2010 EKİM	116,67	2,08
2010 KASIM	104,03	2,50
2010 ARALIK	103,36	3,72
2011 OCAK	101,63	3,59
2011 ŞUBAT	98,00	0
2011 MART	95,00	1,77

Tablo 4.2.'den elde edilen aylık ortalama sıcaklık ve basınç grafikleri aşağıda verilmiştir.

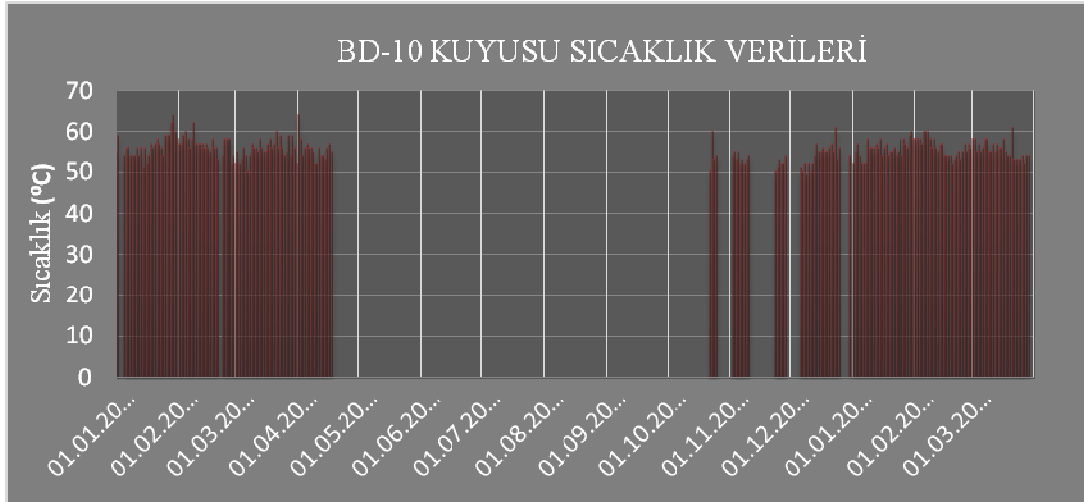


Şekil 4.13 BD-7 kuyusu için aylara göre ortalama sıcaklık grafiği

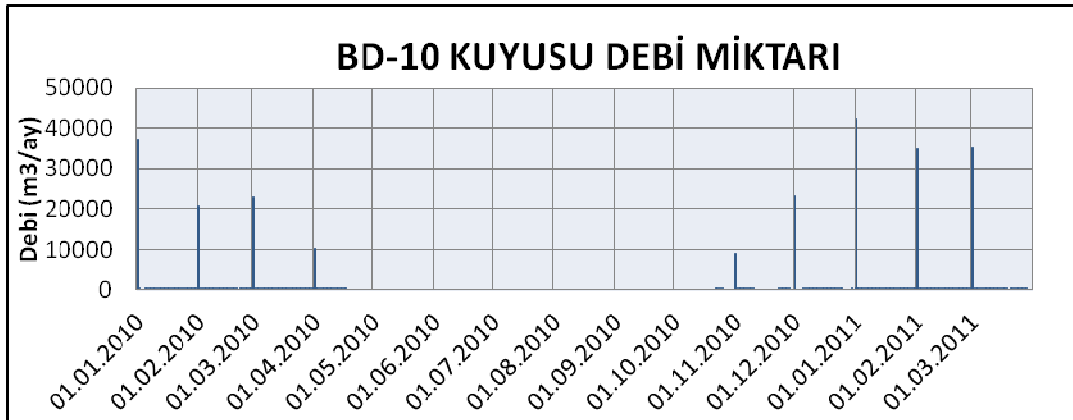


Şekil 4.14 BD-7 kuyusu için aylık ortalama basınç grafiği

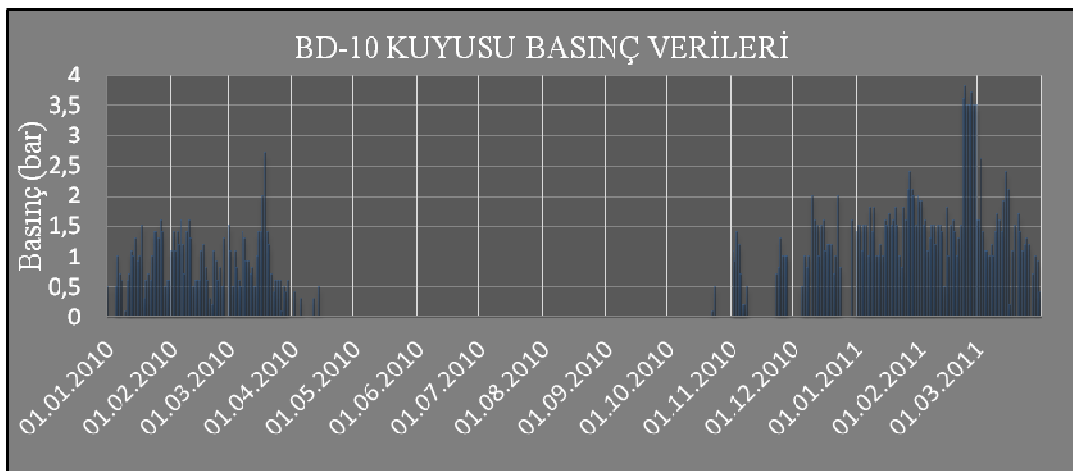
4.2.4 BD-10 Kuyusuna Ait Veriler



Şekil 4.15 BD-10 kuyusu için aylara göre sıcaklık (°C) grafiği



Şekil 4.16 BD-10 kuyusu için aylara göre debi (m³/ay) grafiği

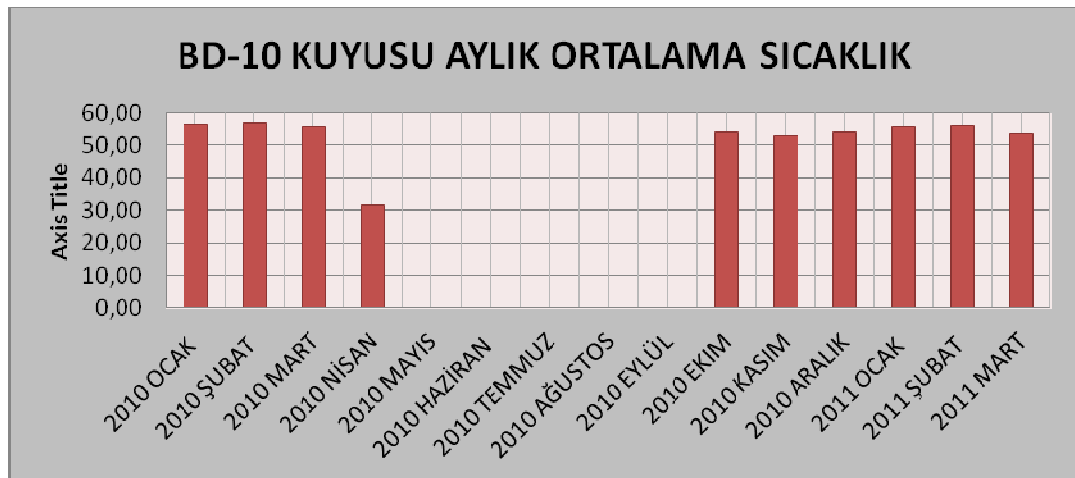


Şekil 4.17 BD-10 kuyusu için aylara göre basınç (bar) grafiği

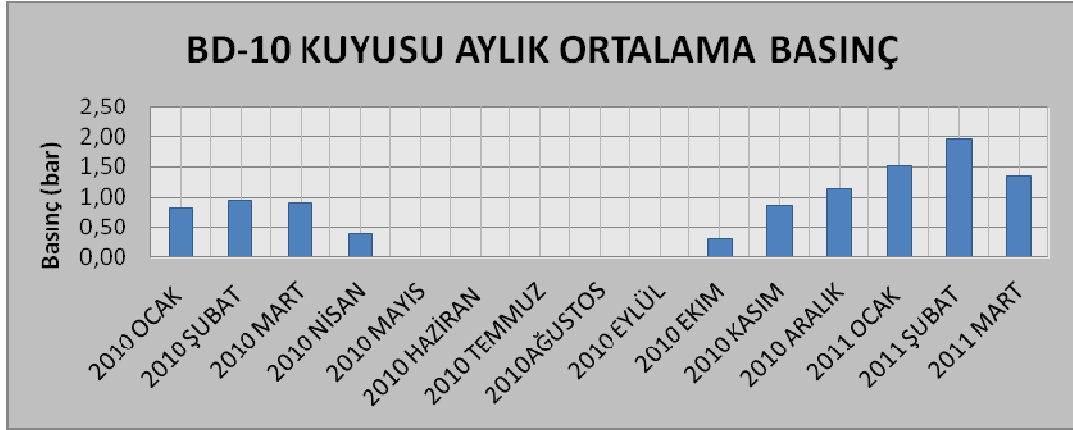
Tablo 4.3 BD-10 kuyusu için aylık ortalama sıcaklık ve basınç verileri

	Sıcaklık	Ortalama Basınç
2010 OCAK	56,45	0,82
2010 ŞUBAT	56,81	0,95
2010 MART	55,55	0,91
2010 NİSAN	31,50	0,38
2010 MAYIS	0	0
2010 HAZİRAN	0	0
2010 TEMMUZ	0	0
2010 AĞUSTOS	0	0
2010 EYLÜL	0	0
2010 EKİM	54,25	0,30
2010 KASIM	52,87	0,86
2010 ARALIK	54,05	1,14
2011 OCAK	55,71	1,52
2011 ŞUBAT	56,11	1,95
2011 MART	53,59	19,40

Tablo 4.3'den elde edilen aylık ortalama sıcaklık ve basınç grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.18 BD-10 kuyusu için aylık ortalama sıcaklık (°C) grafiği



Şekil 4.19 BD-10 kuyusu için aylık ortalama basınç (bar) grafiği

4.3 Saha Verileri ve Değerlendirilmesi

Bu çalışma da konut ısıtılması amacı ile aktif olarak kullanılan Balçova jeotermal alanında jeofizik gözlemlene yöntemlerinden elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilimi için uygulanmış ve aynı bölgede farklı zamanlarda (Mart, Nisan, Mayıs, Eylül 2010 ve Şubat 2011 tarihlerinde) yeraltının iki boyutlu elektrik özdirenç kesitleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda jeotermal alanlarda üretim, geri basım, doğal beslenme, iklim etkilerinden (yağmur, sıcaklık vs.) kaynaklanabilecek değişimlerin yeraltının özdirenç değerlerine etkisinin belirlenmesi ve uzun süreli gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Balçova jeotermal alanında termal tesislerin yakınında bulunan BD-10 re-enjeksiyon kuyusu, BD-7 ve B-10 üretim kuyusu yakınında olmak üzere üç hat üzerinde elektrik özdirenç ölçümleri alınmıştır. BD-10, B-10 ve BD-7 kuyuları yakınından geçen üç ölçüm hattımız sırası ile Profil-1, Profil-2 ve Profil-3 şeklinde tanımlanmış ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Saha ölçümleri RES2DINV programı ile üç profil ve farklı ölçüm zamanları için yeraltının elektrik özdirenç dağılım haritaları elde edilmiştir.

215 m (44 elektrot) uzunluğundaki Profil-1 ölçüm hattımızda Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılarak elektrik özdirenç yöntemi 2010 yılı Mart, Nisan, Mayıs, Eylül ve 2011 yılı Şubat aylarında uygulanmıştır. İki boyutlu elektrik

özdirenç kesitleri ile maksimum 40m derinliğe inilmiştir. Özdirenç kesitleri öncelikle Wenner dizilimi olmak üzere Wenner-Schlumberger dizilim sonuçları incelenmiş ve değişimin nedenleri araştırılmıştır. Wenner dizilimi için Şekil 4.20 ve Wenner-Schlumberger dizilimi için Şekil 4.21’de özdirenç kesitleri verilmiştir. Wenner dizilimine göre Mart 2010 ayına ait özdirenç kesitlerinde yüzeyde yüksek özdirenç değerleri görülmekte ve bu değerlerin alüvyona karşılık geldiği düşünülmektedir (Şekil 4.20).

Mart ayında toplam yağış miktarı 35 mm ve aylık ortalama sıcaklık 13°C’dir. BD-10 kuyusunun kuyu başı sıcaklık değeri 55,5°C, basınç 0,9 bar ve basılan akışkan miktarı 22866 olarak ölçülmüştür. Wenner dizilimi ile BD-10 kuyusunun bulunduğu bölgede 6-18 ohm-m arasında değişen düşük özdirenç değerlerine rastlanmış ve bu değerler akışkanın varlığını işaret etmiştir. Üst tabakanın altında yüzeye göre daha düşük ve 50-70 ohm-m arasında değişen özdirenç değerine sahip KB-GD uzanımlı formasyonun varlığı belirlenmiştir.

Nisan 2010 ölçümlerinde Wenner dizilimi ile yüzeyde tekrar yüksek özdirençli tabaka ve kuyunun bulunduğu bölgede düşük özdirenç değerleri 20-50 ohm-m arasında ölçülmüş, bu değerlerin Mart ayına göre arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.20). Nisan ayında kuyu başı ortalama sıcaklık 55,5°C den 31,5°C’ye kadar yaklaşık 20°C’lik azalım meydana gelmiş ve aynı zamanda basılan akışkan miktarı Mart ayına göre yarı yarıya azalım göstererek 20229 m³/ay olarak ölçülmüştür. Aylık toplam yağış miktarı ise 25 mm olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte kuyu başı basıncı 0,38 bar değerine ulaşarak 0,6 barlık düşüş meydana gelmiştir. Mart ve Nisan aylarında elde edilen özdirenç haritalarında Nisan ayında özdirenç değerlerindeki artışın geri basılan akışkan miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Mayıs 2010 ayında Wenner dizilimi ile kuyu etrafındaki düşük özdirenç değerlerinin yayılım gösterdiği gözlenmiş ve formasyonu çevreleyen yüksek özdirençli değerine sahip tabakaların özdirenç değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Mayıs ayında toplam yağış miktarı 28 mm ve ortalama sıcaklık 22°C’dir. BD-10 kuyusu Mayıs ayından Ekim ayına kadar kullanılmamış ve bu

sebeple sıcaklık, basınç ve debi verileri alınmamıştır. Ancak özdirenç değerlerindeki artışın, mevsim sıcaklıklarının artması ve akışkan basımının yapılmamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

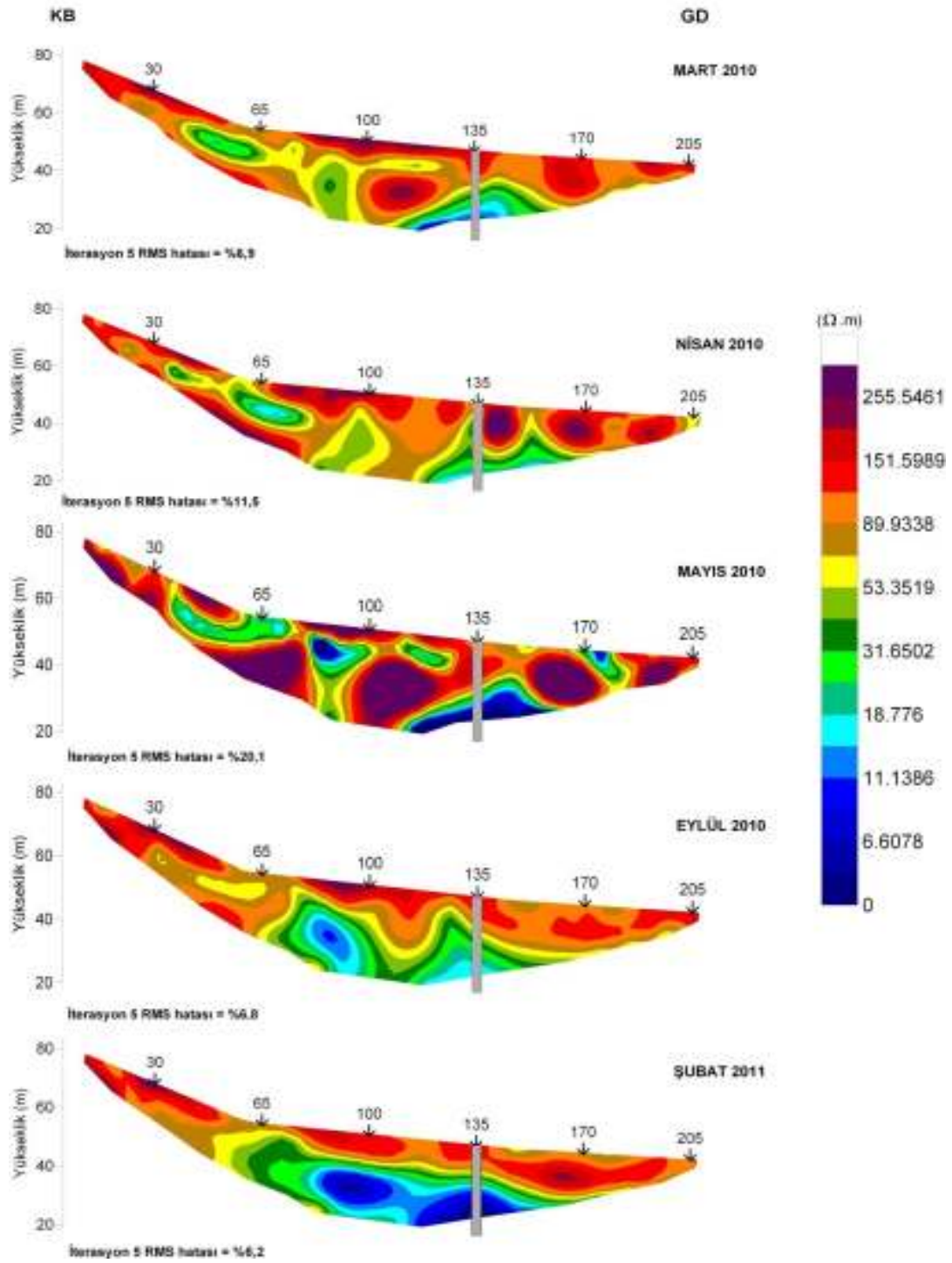
Eylül ayında toplam yağış miktarı 10 mm ve ortalama sıcaklık miktarı 25°C'dir, ancak kuyunun kullanılmamasından dolayı kuyu ile ilgili herhangi bilgi bulunmamaktadır. Wenner dizilimi sonucu Eylül ayındaki ölçüm, Mart ve Nisan ölçümlerine benzer sonuçlar vermiş ancak yüzeydeki yüksek özdirençli tabakanın altında bulunan daha düşük özdirençli KB-GD uzanımlı formasyonun özdirenç değerinin azaldığı ve bu değerlerin 6-30 ohm-m arasında değiştiği belirlenmiştir. Nitekim özdirenç değerlerindeki artışın akışkanın geri-basımının yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Yaz mevsiminin sona ermesi ve havaların soğuması ile konut ısıtılması amacı ile daha fazla akışkan üretilmektedir. Bununla birlikte re-enjeksiyon amaçlı kuyuya basılan akışkan miktarında ve basınç değerlerinde az da olsa bir artış ölçülmüştür.

Şubat 2011 ayında Wenner dizilimi ile yüzeyde yüksek özdirençli KB-GD yönelimli yüzeye paralel formasyon bu kesitte daha belirgin bir biçimde gözlenmiş ve yüzeyin hemen altındaki 18-70 ohm-m özdirenç değerine sahip formasyonun varlığı ile kuyuya yakın bölgede bulunan akışkan varlığına işaret eden düşük özdirenç değerleri yüzeye paralel bir yayılım göstermiştir. Şubat ayında ortalama yağış miktarı oldukça fazladır ve sıcaklık 10°C civarındadır. BD-10 kuyusunun kuyu başı ortalama sıcaklık değeri 56,11°C ve basınç 1,95 bar ve basılan akışkan miktarı yaklaşık 35000 m³/ay olarak ölçülmüştür. Basılan akışkan miktarı yaz mevsimine göre oldukça yüksektir ve bu sebeple Şubat ayında özdirenç değerlerinin kuyu etrafında azalması basılan akışkan miktarından ve yağmur sularının etkisinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Mart 2010 ayından Şubat 2011 ayına kadar yapılan tekrarlı ölçümlerde yeraltı özdirenç değerlerinin, jeotermal akışkanın kullanımı sırasında ve mevsimsel değişimlerden etkilendiği ancak sistemin kapalı olduğu durumlarda sadece mevsimsel değişimlere bağlı olduğu gözlenmiştir.

Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen elektrik özdirenç kesitleri (Şekil 4.21) Wenner diziliminde elde edilen kesitlere benzer değişimleri göstermiştir. Mart ayından Nisan ayına kadar kuyu etrafında bulunan ve akışkan varlığını temsil eden çok düşük özdirenç değerleri azalım göstermiştir. Mayıs ayında yüzeyde bulunan yüksek özdirenç değerleri ve kuyu etrafındaki çok düşük özdirenç değerleri de kapsayan bu tabakadaki özdirenç değerlerinde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bu önemli değişimin sebebi mevsimsel sıcaklık artışı ve akışkanın geri-basım işleminin yapılmamasından kaynaklandığı tahmini yinelenmiştir. Eylül ayında kış mevsimine göre kıyasla daha az kullanılan sistemde özdirenç değerleri artmaya devam etmiştir ve Şubat 2011 ayında sistemin kullanılması ile özdirenç değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

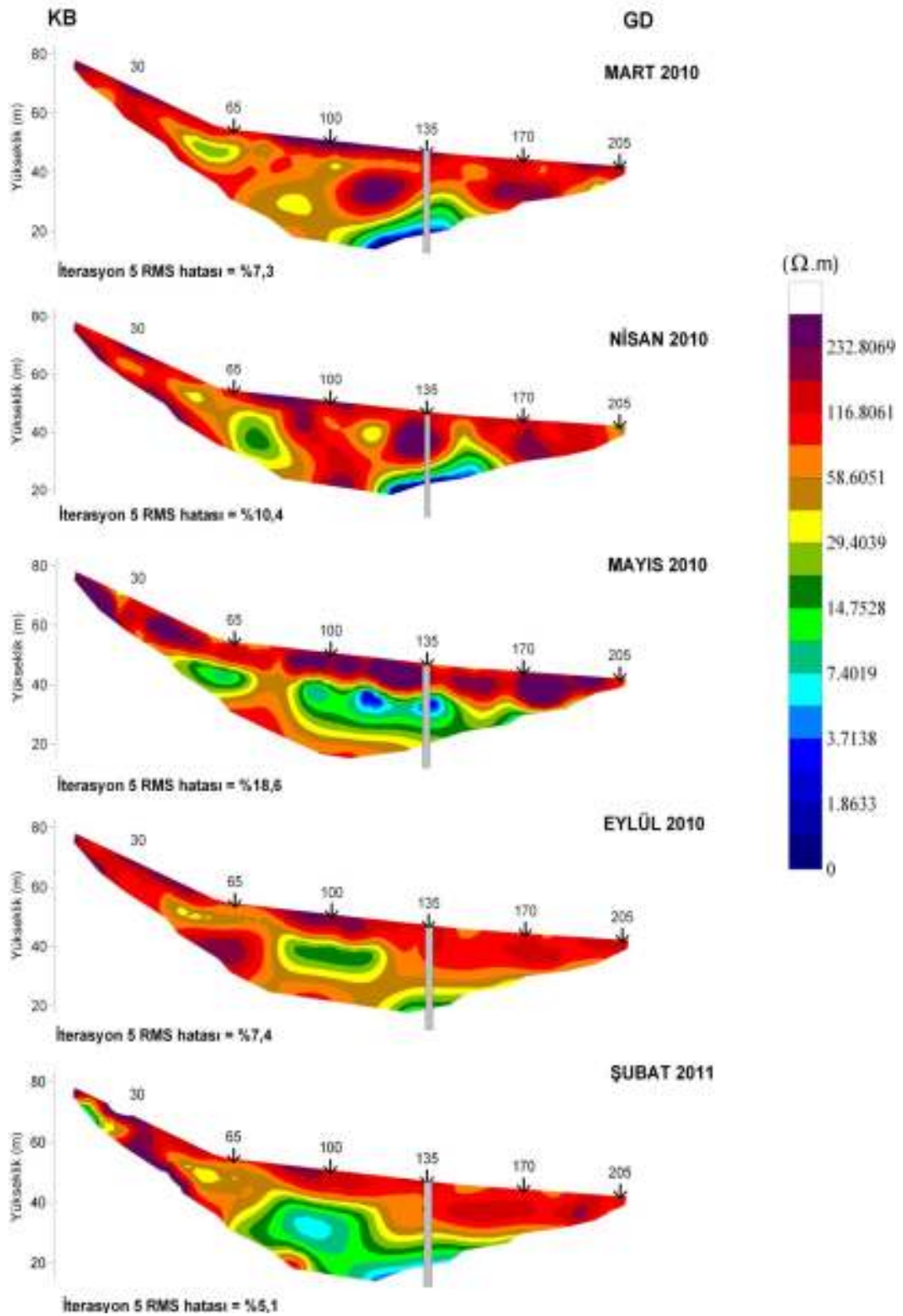
RES2DINV programı kullanılarak Wenner dizilimi için (Şekil 4.20) elektrik özdirenç kesitleri 5 iterasyon için RMS hatası % 6,2-20,1 arasında ve Wenner-Schlumberger dizilimi (Şekil 4.21) için 5 iterasyon için RMS hatası %5,1-18,6 arasında değişmiştir.

PROFİL 1 - WENNER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.20 Balçova jeotermal alanında BD-10 kuyusu yakınında KB-GD doğrultulu Profil-1 için yeraltının Wenner dizilimine ait 2D elektrik öz direnç kesitleri

PROFİL 1 - WENNER-SCHLUMBERGER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.21 Balçova jeotermal alanında BD-10 kuyusu yakınında KB-GD doğrultulu Profil-1 için yeraltının Wenner-Schlumberger dizilimine ait 2D elektrik öz direnç kesitleri

150 m (30 elektrot) uzunluğundaki Profil-2 ölçüm hattımızda Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılarak elektrik özdirenç yöntemi 2010 yılı Mart, Nisan, Eylül ve 2011 yılı Şubat aylarında uygulanmıştır. Ölçüm hattımızı belirlerken amacımız mümkün olduğunca mevcut kuyunun yakınından geçirmektir ancak yerleşim birimi olması nedeni ile birtakım engellerle karşılaşmıştır. B-10 kuyusu Termal Otel ile Kaya Otel arasında sınırı belirleyen bahçe duvarına yakın bir konumdadır. Kuyunun etrafı ve Termal otel otoparkını da kapsayacak şekilde çevre betonlanmıştır. Kaya Otel ile Termal Otel arasında bulunan küçük bahçe içerisinde ölçüm hattı duvar üzerinden geçecek şekilde serilmiştir. İki boyutlu elektrik özdirenç kesitleri ile maksimum 20m derinliğe inilmiştir. Wenner dizilimi için Şekil 4.22 ve Wenner-Schlumberger dizilimi için Şekil 4.23'te özdirenç kesitleri verilmektedir.

Mart ayında toplam yağış miktarı 35 mm ve ortalama sıcaklık 13°C'dir, B-10 kuyusunun kuyu başı ortalama sıcaklığı 97°C, debi miktarı 160000 m³/ay ve basınç 4 bar civarındadır. Elektrik özdirenç kesitleri incelendiğinde Wenner dizilimine göre Mart ayında yüzeyde oldukça yüksek özdirenç değerlerinin varlığı ve alt tabakada iki bölüm şeklinde yüzeye sokulmuş düşük özdirençli formasyon ve bu formasyonun altında daha yüksek bir özdirenç değerine sahip yapı gözlenmiştir. Yüksek özdirenç değerleri duvarın inşaatı sırasında yapılan dolgu malzemedan kaynaklandığı tahmin edilmekte ve bu yapının elektrik özdirenç değerlerini arttığı görülmektedir.

Nisan ayında toplam yağış miktarı 25 mm ve ortalama sıcaklık 31°C'dir, B-10 kuyusunun kuyu başı ortalama sıcaklığı 98°C, debi miktarı 130000 m³/ay ve basınç 3 bar civarındadır. Wenner dizilimi ile elde edilen elektrik özdirenç haritalarında yüzeyin altındaki çok düşük özdirenç değerlerinde Mart ayına göre 2 ohm-m değerinde azalım olduğu ancak tersine bu yapının hemen altındaki yüzeye göre daha yüksek özdirençli yapının yukarı doğru sokulum gösterdiği belirlenmiştir. Özdirenç değerlerindeki değişim Mart ayında mevsimsel ortalama sıcaklık değerinin 13°C'den 31°C'ye kadar 19°C'lik azalımdan ve kuyunun kullanılmamasından kaynaklı yüksek sıcaklıklı yapının yüzeye doğru etkisinin artması şeklinde yorumlanmıştır.

Eylül 2010 ayında toplam yağış miktarı 10 mm ve ortalama sıcaklık 25°C'dir, kuyu başı debi miktarı 52000 m³/ay civarındadır. Wenner dizilim türüne göre hazırlanan özdirenç dağılım haritalarında yüzeyin altındaki düşük özdirenç değerlerinde artış meydana gelmiş ve tabandaki yüksek özdirençli sokulum daha belirgin bir biçimde gözlenmiştir. Özdirenç değerlerindeki artışın özellikle yaz mevsimi olması nedeni ile mevsimsel sıcaklık artışı ve çekilen jeotermal akışkan miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

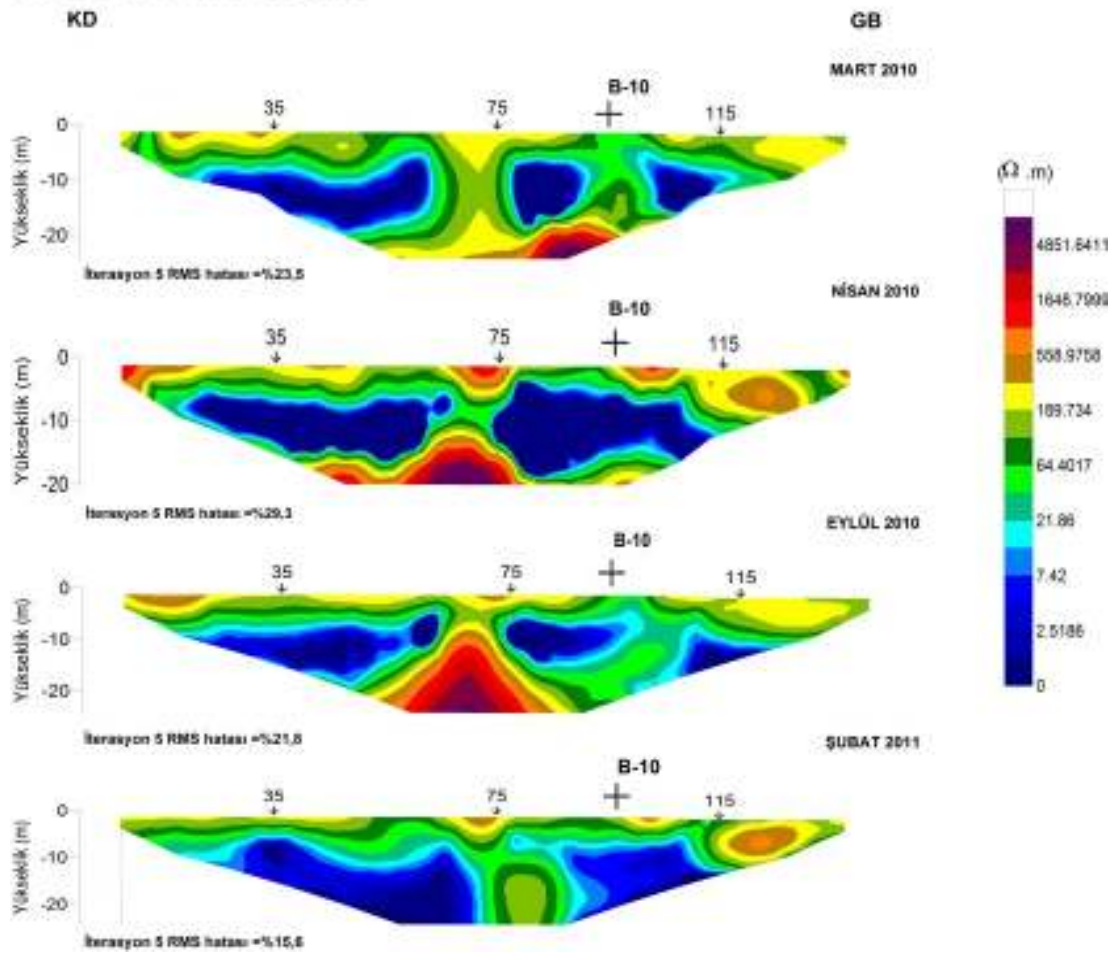
Şubat 2011 ayında ortalama yağış miktarının fazla olması dolayısıyla ortalama sıcaklık değerlerini düşürmüştür. Wenner dizilimine göre elektrik özdirenç dağılım haritalarında yüzey özdirenç değerlerinde herhangi bir değişim gözlenmezken alt tabakada KD-GB yönünde yüzeye paralel şekilde düşük özdirenç değerlerinin yayılımı söz konusu olmuş ve en alttaki yüksek özdirenç değeri azalmıştır. Kuyu başı ortalama sıcaklık değeri Eylül ayından Şubat ayına kadar 50°C ve basınç değeri 2,2 bar artış gözlenmiştir. Ancak özdirenç azalımının nedeni, mevsimsel yağış ile birlikte yeraltına süzülen yağmur sularının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Wenner-Schlumberger dizilimi ile elde edilen özdirenç haritalarında (Şekil 4.23) Mart ayında belirgin olarak 95. metrenin altında yüksek özdirençli yapının yüzeye doğru sokulumu ve ölçüm hattımızda 15-75'nci metreler arasındaki yeraltı yapısının 4-12 ohm-m değerinde düşük özdirençli olduğu ve Wenner dizilimine benzer sonuçları verdiği görülmüştür. Nisan ayında düşük özdirenç değerlerinin tekrar gözlemlendiği ancak aşağıya doğru kayarak hacimsel bir azalım gösterdiği belirlenmiştir ve bu özdirenç değerlerindeki artışı işaret etmektedir. Nisan ayına kadar mevsimsel sıcaklık değerlerindeki azalım ve kuyunun kullanılmamasından dolayı özdirenç değerlerinde artmaya neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Eylül ayına ait özdirenç haritalarında, Nisan ayında gözlemlenen düşük özdirençli değerleri temsil eden tabakaların, özdirenç değerlerinde ve özdirenç dağılım haritasının en altında yüzeye doğru oldukça yüksek özdirenç değerine sahip tabakanın varlığının sahip olduğu özdirenç değerlerinin artışı ile daha belirgin hale gelmiştir. Bu değişiklikler mevsimsel sıcaklık artışı ve kuyudan akışkan çekiminin önceki aylara göre azalmasının sonucu olarak yorumlanmıştır. Şubat ayında yağmur sularının etkisi ve

mevsimsel sıcaklık değerlerinin azalması nedeni ile Wenner dizilimine benzer bir özdirenç dağılım haritası vererek tüm yeraltı yapısının özdirenç değerlerindeki azalımı tekrar göstermiştir. Aynı zamanda 75. metrenin altında 60-66 ohm-m değerlerinde bir yapının varlığını iki tip ölçüm çeşidi ile elde edilen haritalarda gösterilmiştir.

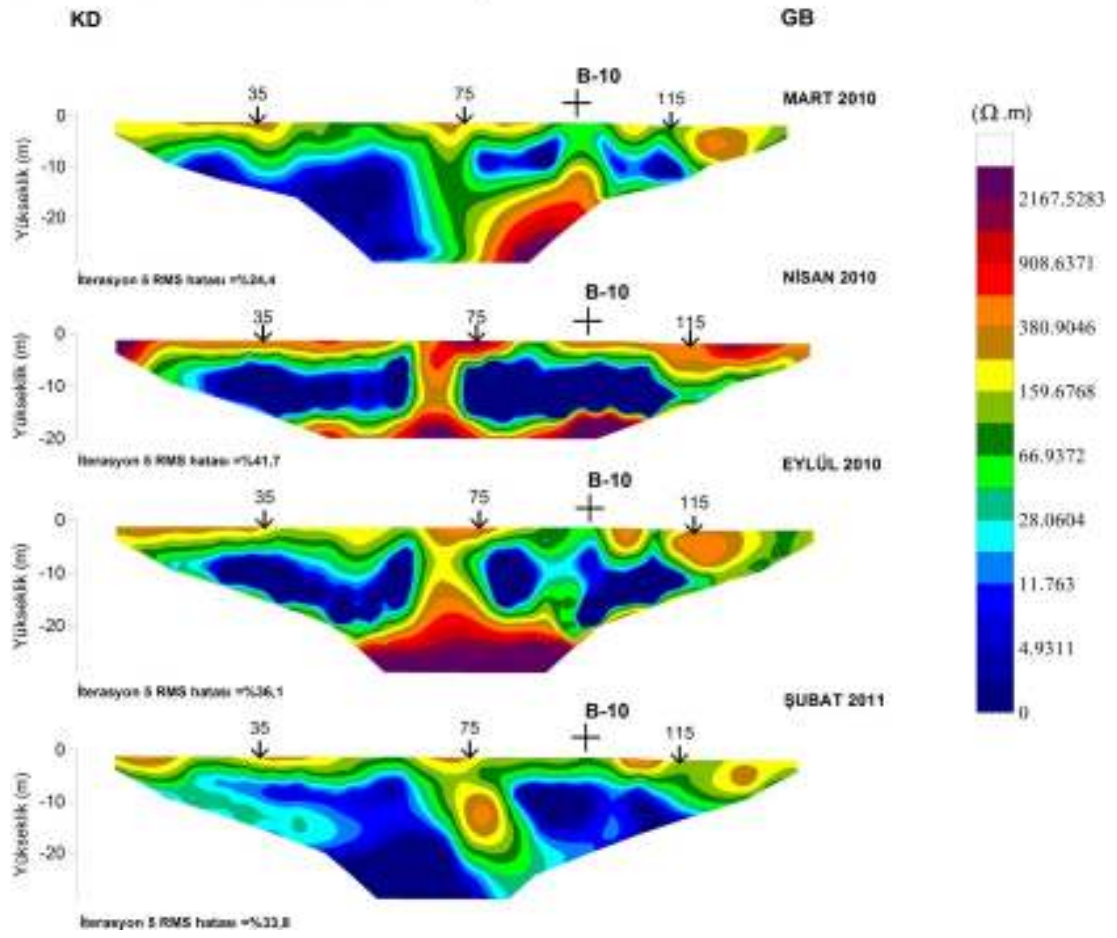
RES2DINV programı kullanılarak Wenner dizilimi için (Şekil 4.22) elektrik özdirenç kesitleri 5 iterasyon için RMS hatası % 15,6-29,3 arasında ve Wenner-Schlumberger dizilimi için (Şekil 4.23) için 5 iterasyon için RMS hatası %24,4-41,7 arasında değişmiştir. RMS hatasının yüksek olmasının nedeni ölçüm hattımızın bulunduğu yapay olarak oluşturulmuş dolgu alanı üzerinde olmasından kaynaklanmıştır, ancak iki ölçüm tipi ile elde edilen özdirenç haritaları benzer sonuçları vermesi saha ölçümlerinin doğruluğunu göstermiştir.

PROFİL 2 - WENNER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.22 Balçova jeotermal alanında B-10 kuyusu yakınında KD-GB doğrultulu Profil-2 için yeraltının Wenner dizilimine ait 2D elektrik özdirenç kesitleri

PROFİL 2 - WENNER-SCHLUMBERGER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.23 Balçova jeotermal alanında B-10 kuyusu yakınında KD-GB doğrultulu ProfİL-2 için yeraltının Wenner-Schlumberger dizilimine ait 2D elektrik özdirenç kesitleri

150 m (30 elektrot) uzunluğundaki Profil-3 ölçüm hattımızda Wenner ve Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılarak elektrik özdirenç yöntemi 2010 yılı Mart, Nisan, Mayıs, Eylül ve 2011 yılı Şubat aylarında uygulanmıştır. İki boyutlu elektrik özdirenç kesitleri ile maksimum 20m derinliğe inilmiştir. Wenner dizilimi için Şekil 4.24 ve Wenner-Schlumberger dizilimi için Şekil 4.25'te özdirenç kesitleri verilmektedir. Ocak ayında kuyu başı ortalama sıcaklık 81,44°C'den Şubat ayında 101,33°C'e kadar yükselmiş ve çekilen akışkan miktarı artmıştır. Mevcut kuyu Mart ayından Eylül ayına kadar kullanılmamıştır.

Mart ayında yağış miktarı 35 mm ve ortalama sıcaklık 13°C'dir. Wenner dizilimine göre Mart 2010 ayına ait elektrik özdirenç kesitlerinde yüzeyde ilk 10 m de yüksek özdirenç değerleri görülmekte ve bu değerlerin alüvyona karşılık geldiği düşünülmektedir. Derinde 10-20 m arasındaki tabakada yüzeye paralel KB-GD uzanımlı formasyonun varlığı belirgin bir şekilde görülmektedir. 10-20 m derinlik arasında 4 ohm-m ile 60 ohm-m özdirenç değerlerine sahip yapılar görülmektedir.

Nisan 2010 ayında yine Wenner dizilimine göre elde edilen elektrik özdirenç kesitlerinde 4-60 ohm-m değerleri arasında değişen bu yapıların özdirenç değerlerinde azalım meydana gelmiş ve 4 ohm-m den düşük özdirenç değerlerinin yüzeye paralel olarak yayılımı gözlenmiştir. Düşük özdirenç değerleri akışkanın varlığına işaret etmiştir. Nisan ayında bölgedeki yağış miktarı 25 mm ve ortalama sıcaklık 31°C'dir (Sistemin kullanılmamasından dolayı kuyu bilgileri bulunmamaktadır). Ancak Şubat ayında toplam yağış miktarı 300 mm ve aylık ortalama sıcaklık 13,3°C değerindedir. Bu mevsimsel etkilerin, Wenner dizilimi kullanılarak elektrik özdirenç dağılım haritalarında Mart ve Nisan ayına kadar devam ettiği ve elektrik özdirenç kesitlerine etkisi olduğu tahmin edilmektedir.

Mayıs ayında Wenner dizilimine göre elde edilen elektrik özdirenç kesitlerinde yüksek özdirençli yapının altında bulunan tabakanın özdirenç değerlerinde artış meydana geldiği ve bu değerlerin 4 ohm-m değerinden 60 ohm-m değeri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Eylül ayında Wenner dizilim türü ile tekrarlanan ölçümler sonucunda, 4-60 ohm-m özdirenç değerine sahip formasyonda değişim gözlenmiş ve artarak 10 ohm-m değerinden 60 ohm-m değerine kadar değiştiği belirlenmiştir. Mevsimsel sıcaklık değerleri Mayıs ayında 21,8°C den Eylül ayında 24,8°C değerine yükselmiş ve yağış etkisinin de olmamasından dolayı özdirenç değerlerini arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Ekim ayında kuyu başı ortalama sıcaklık değeri 116,67°C ve debisi 241,61 m³/ay olarak ölçülmüş ve Eylül ayına kadar bu sıcaklığın arttığı gözlenmiştir. Bahsedilen bu özdirenç artışının aynı zamanda Eylül ayındaki özdirenç değerlerini artırma yönündeki etkisi söz konusudur.

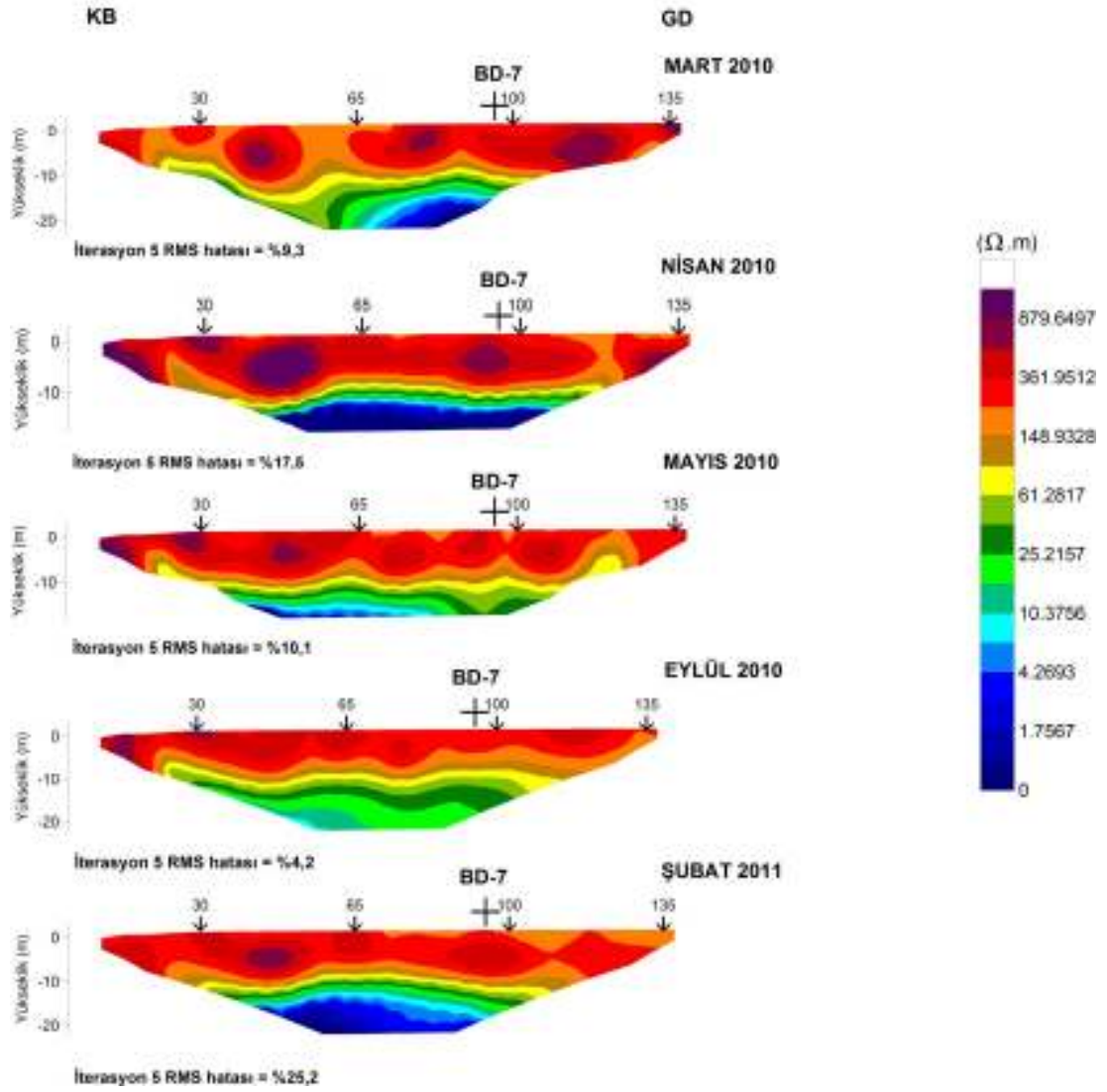
Şubat 2011 ayında aşırı yağın yağmurların etkisi ile yağmur sularının yeraltına süzülmesi, Eylül ayından Şubat ayına kadar sıcaklığın yaklaşık 12°C azalması ve akışkan çekiminin artması ile alt tabakalarda özdirenç değerlerini azaltacak yönde etki ettiği Wenner dizilimi ile hazırlanan elektrik özdirenç haritalarında belirlenmiştir.

Wenner-Schlumberger diziliminde yüzeyde yüksek özdirençli yapının hemen altında 10 m derinliğinden başlayan 1-85 ohm değerlerine sahip dağılımın varlığı gözlenmiştir. Nisan ayında derinde 10-20 m arasındaki özdirenç değerlerinde artış meydana gelmiştir ve bu durum Wenner dizilim türü ile elde edilen değerlerden farklı sonuç vermiştir. Mayıs ayında yüzeye nazaran daha düşük özdirençli (85 ohm-m) alt tabakanın derine doğru ortadan iki parça şeklinde ayrılarak 22 ohm-m ve 2 ohm-m değerine kadar azalan kısımlar gözlenmiştir. Bu değişim özdirenç değerlerindeki azalmayı göstermekte olup yağmur sularının etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Eylül ayında yüzeyde yüksek özdirenç değerine sahip yapının hemen altında Mayıs ayında gözlemlenen 2 ohm-m değerinde çok düşük özdirenç değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu değişimin mevsimsel sıcaklık artışından kaynaklandığı tahmini Wenner dizilim türü ile elde edilen haritaların karşılaştırılması sırasında ulaşılan sonuç ile aynı olmaktadır.

RES2DINV programı kullanılarak Wenner dizilimi için (Şekil 4.24) elektrik özdirenç kesitleri 5 iterasyon için RMS hatası % 4,2-25,2 arasında ve Wenner-

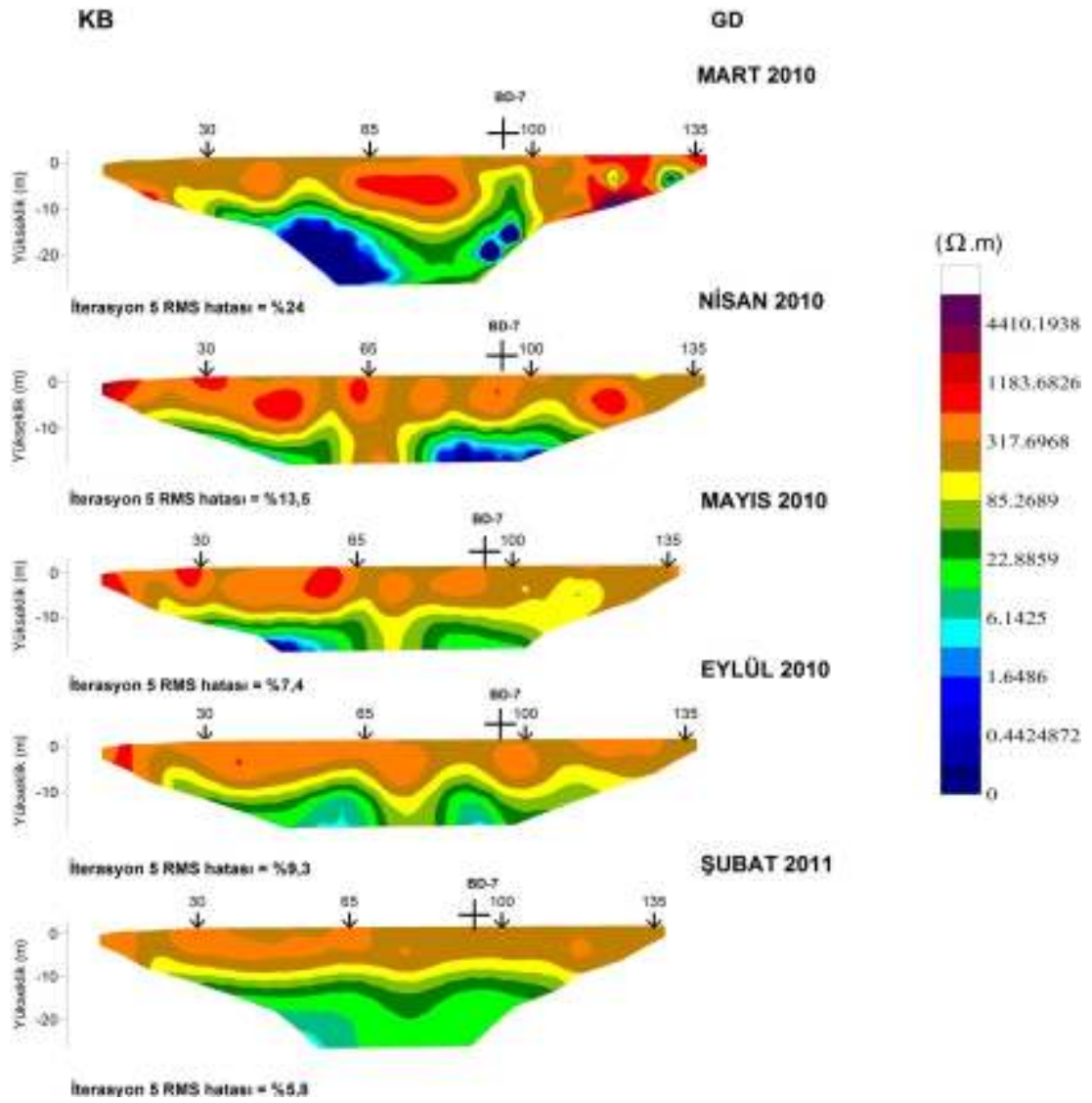
Schlumberger dizilimi (Şekil 4.25) için 5 iterasyon için RMS hatası %5,8-24 arasında değişmiştir.

PROFIL 3 - WENNER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.24 Balçova jeotermal alanında BD-7 kuyusu yakınında KD-GB doğrultulu Profil-3 için yeraltının Wenner dizilimine ait 2D elektrik özdirenç kesitleri

PROFİL 3 - WENNER-SCHLUMBERGER ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.25 Balçova jeotermal alanında BD-7 kuyusu yakınında KD-GB doğrultulu Profil-3 için yeraltının Wenner-Schlumberger dizilimine ait 2D elektrik özdirenç kesitleri

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızın amacı doğrultusunda Balçova jeotermal alanında belirli zaman aralıklarında elektriksel özdirenç gözlemlene çalışması yapılmış ve saha verilerinden RES2DINV programı kullanılarak yeraltının iki boyutlu ters çözüm haritaları elde edilmiştir. Balçova jeotermal alanında belirli dönemlerde yapılan saha çalışmaları sonucunda elde edilen özdirenç haritalarının karşılaştırılması sonucu önemli değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Değişimin nedenlerini araştırılması için İzmir Meteoroloji Müdürlüğünden Balçova bölgesi için aylık toplam yağış miktarı, günlük toplam yağış miktarı ve aylık ortalama sıcaklık bilgileri ile İzmir Jeotermal A.Ş.'den BD-7, BD-10 ve B-10 kuyularına ait sıcaklık, debi ve basınç bilgileri sağlanmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda özdirenç değerlerindeki değişimin genel olarak akışkan üretim-basım işlemi ve yağmurların etkisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Jeotermal akışkanın üretimi ve geri-basım işlemleri belirli dönemlerde yapılmaktadır ve yapılan çalışmalar sırasında herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Jeotermal alanda uygulanan bu yöntemin başlangıç tarihinden yaklaşık bir yıl süre sonunda sistemin başlangıçta elde edilen elektrik özdirenç değerlerine benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sistem maksimum kullanım ihtiyacının olduğu kış mevsiminde akışkan üretim ve geri-basım işleminden dolayı özdirenç farklılıkların meydana geldiği gözlenmiştir. Balçova jeotermal alanında yapılan ölçümler sonucunda herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş ve aksine sistemin kendisini yenilemesi için kuyuların kapatılması işleminin etkili olduğu da bu şekilde belirlenmiştir.

Zamana bağlı elektrik özdirenç görüntüleme çalışmaları, jeotermal sistemde meydana gelebilecek olumsuzlukların çok geçmeden belirlenmesi açısından önemlidir. Jeotermal enerjinin kullanımında ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir ancak jeotermal sistemin özelliğini kaybetmemesi açısından benzer çalışmalar uygulanmalıdır. Jeotermal alanlarda gözlemlene çalışmalarının daha sistematik

olarak uygulanması için otomatik elektrik özdirenç gözleme sistemlerinin kalıcı olarak yeraltına kurulması ve otomatik ölçümlerle sürekli gözlemlenmesi gerekmektedir.

Çalışmamız sonucunda jeotermal alanda belirli zaman aralıklarında elektrik özdirenç görüntüleme yönteminin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Literatür çalışmalarımız sırasında jeotermal alanda elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak uzun süreli gözleme amacı ile yapılmış benzer bir çalışma bulunmamıştır ve çalışmamız bu anlamda bir ilk olma niteliğini taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksoy, N. (2005). Balçova jeotermal Sahası: Rezervuar Gözlemleri 2000-2005, *Jeotermal Enerji Semineri Bildiri Kitabı* (227-246).
- Arslan, S. Darıcı, M. Karahan, Ç. (2001). Türkiyenin Jeotermal Enerji Potansiyeli, *Jeotermal Enerji Semineri*, p21-28.
- Arora, T. & Ahmed, S. (2011). Characterization of Recharge Through Complex Vadose Zone of A Granitic Aquifer by TL-ERT. *Journal of Applied Geophysics*, 73, 35-44.
- Avila, E.A. Brouard, U.M. Iriso, J.V. Benito, J.A.P. Gonzalez, A.B. Garcia, S.I. Pagan P.M. (2004). Electrical Resistivity Tomography As A Technique For Studying And Modelling Saline Water Intrusion, *18. SWIM Cartagena 2004, SPAIN*.
- Chambers, J.E. Meldrum, P.I. Gunn, D.A. ve Wilkinson, P.B. (2009). Hydrogeophysical Monitoring of Landslide Processes Using Automated Time Lapse ERT, 15th. European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Dublin, Ireland. 7-9 September, *Near Surface Geophysics*.
- Cassiani, G. Bruno, V. Villa, A. Fusi, N. Binley, A.M. (2006). A Saline Trace Test Monitored Via Time-Lapse Surface Electrical Resistivity Tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 244-259.
- Creed, B.& Daily, B. (1996). Preliminary analysis of the use of Electrical Resistance Tomography for Injectate Tracking at The Geysers Geothermal Field, *Twenty First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Standfort University Standfort, California*, 433-439.

- Daily, W. Ramirez, A. Labrecque, D. Nitao, J. (1992). Electrical Resistivity Tomography of vadose water movement. *Water Resources Research*, 28,1429-1442.
- Detwiller, R.L. Roberts, J.J. Ralp, W. Bonner, B.P. (2003). Modelling Fluid Flow And Electrical Resistivity in Fractured Geothermal Reservoir Rocks. 28. *Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- Dey, A. & Morrison, H.F. (1979b). Resistivity Modeling for Arbitrarily Shaped Three Dimensional Structures, *Geophysics*, 44, 753-780.
- Dey, A. & Morrison, H.F. (1979a). Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106 -136.
- Dickson, M.H. Fanelli. M. (2004). *What is geothermal energy?*, Istituto di Geoscienze e Georisorse Pisa, Italy, CNR.
- Drahor, M.G. (2008). *Elektrik Özdirenç Yöntemi Uygulama Örnekleri Ders Notları*, 2008.
- Dutta, S. Krishnamurthy, N.S. Arora, T. Rao, V. Ananda, Ahmed, S. (2004). Application Of 2D Resistivity Imaging As A Potential Geophysical Tool For Groundwater Investigation, *Published and Presented at 29th Annual convention of AEG*, Guwahati.
- Erden, O. (2005). Türkiye’de Akuakültür Faaliyetlerinde Jeotermal Enerji Kullanımı, *Ulusal Su Günleri, 28-30 Eylül 2005*, Trabzon.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu’nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi, *TPJD Bülteni*, 2,1 20.

- Hatzichristodulu, V. Barker, R.D. Tellam, J. (2000). 3-D electrical monitoring of the unsaturated zone of a sandstone aquifer. *Proceedings of 67th Meeting of EAGE*, Glasgow, UK. D10, 4pp.
- Hayley, K. Bentley, L.R. Grahbi, M. ve Nigtingmale, M. (2007). Low temperature dependence of electrical resistivity: İmplications for near surface geophysical monitoring. *Geophysical Research Letters*, 34, L18402.
- Karan, A. Özdemir, A. Kargı, Ö. (2008) Çok Elektrotlu Elektrik Özdirenç Yöntemi ile Çamlıdere-Ankara Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması. *Türkiye 18. Uluslar arası Jeofizik Kongresi*, ANKARA, 1-2.
- Kavlakoğlu, S. (1968). *Jeotermal Sahaların Değerlendirilmesinde Rezistivite Etüdlerin Önemi ve Elektrik Sondajlar sonucu, Rezervuar Sıcaklığının Tayini Hakkında Yeni Bir Metod*. 188-199.
- Kaymakçioğlu, F. ve Çirkin, T. (2005). 3. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyum Bildirisi*, Mersin.
- Labrecque, D. & Yang, X. (2000). Difference inversion of ERT data - a fast ,inversion method for 3-D in-situ monitoring. *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 907-914.
- Loke, M.H. & Barker, R.D. (1995). 3D resistivity surveys and data inversion, *57th EAGE Meeting*, 29 May 1995.
- Loke, M.H. ve Barker, R.D. (1996). 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting*, 44, 499-523.
- Loke, M.H. (1999). Time Lapse resistivity imaging inversion. *5. Meeting of the Environmental and Engineering Society European Section*.

- Mondal, S.K. Sastry, R.G. Pachauri, A.K. Gautam, P.K. (2008). High Resolution 2D Electrical Resistivity Tomography to Characterize Active Naitwar Bazar Landslide, Garhwal Himalaya, India. Research Article. *Curren Science*, vol.94, No.7.
- Ogilvy, R.D. Meldrum, P.I. Kuras, O. Wilkinson, P.B. Chamber, J.E. Sen, M. Pulido, A. Gispert, J. Joretto, S. Frances, I. Tsourlos, P. (2009). Automated Monitoring of Coastal Aquifer with Electrical Resistivity Tomography, *Near Surface Geophysics*, 367-375.
- Pridmore, D.F. Hohmann, G.W. Ward, S.H. & Sill, W.R. (1981). An investigation of finite element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions. *Geophysics*, 46, 1009-1024.
- R.de Franco, G. Biella. L. Tosi, P. Teatini, A. Lozej, B. Chiozzotto, M. Giada, M. Rizetto, F. Claudec, C. Mayer, A. Bassan, V. Gasparetto, G.S. (2009). Monitoring the saltwater intrusion by time lapse electrical resistivity tomography: The Chioggia tes site (Venice Lagoon), Italy, *Journal Applied Geophysics*, pp.117-130.
- Raineri, G. Sharpe, L. Trogu, A. Piga, C. (2007). Time lapse electrical tomography to delineate mud structures in archaeological prospections. *Near Surface Geophysics*, 375-382.
- Ramirez, A. Daily, W. LaBrecque, D. Owen, E. Chesnut, D. (1993). Monitoring an Underground Steam Injection Process Using Electrical Tomography, *Water Resources Research*, 29, 73-87.
- Ramirez, A. & Daily, W. (1996). *Detection of Leaks in Underground Storage Tanks Using Electrical Resistance Methods: 1996 Results*. Lawrence Berkeley Laboratory.

- Ramirez, A. Newmark, R.L. Daily, W.D. (2003). Monitoring Carbon Dioxide Floods Using ERT. *Journal Environment Engineering Geophysics* 8, 187.
- Sasaki, Y. (1994). 3-D resistivity inversion using the finite element method. *Geophysics*, 59, 1839-1848.
- Satman, A. Serpen, Ü. Onur, M. (2002). *İzmir-Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahasının Rezervuar ve Üretim Performansı Projesi, Cilt 1-2*. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul 2002.
- Sentenac, P. Montinaro, A. Kulesa, B. (2010). Diesel transport in simulated unconfined aquifers using miniature resistivity arrays. *Environmental Earth Sciences*, 107-114.
- Serpen, U. (2003). Jeotermal Enerji Arama Teknikleri, *Jeotermal Enerji Semineri*, 2003, 21-31.
- Serpen, U. Aksoy, N. Ongur, T. Korkmaz, E.D. (2009). Geothermal energy in Turkey: 2008 update, *Geothermics*, 38, 227–237.
- Şimşek, Ş. (1995). *Sıcak ve Mineralli Sular, HÜ MMF Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ders Notu*, Ankara.
- Şamilgil, E. (1992). *Jeotermal Enerji*, Yıldız Teknik Üniversitesi yayınları, sayı:262, İstanbul.
- Tanvi, A. Krishnamurthy, N.S. Ahmed, S. (2005). *TL-ERT to decipher the unsaturated zone*. Published and presented in the International conference on Hydrological perspectives for sustainable development, 23-25 February, 2005 held at IIT, Roorkee, Allied Publishers Pvt. Ltd., vol. II, 846-852.

Tezcan, K. (1967). *Denizli - Sarayköy Jeotermik Enerji Araştırmaları, Gravite ve Rezistivite Etdleri Raporu*, MTA Rapor No: 3896

Van Nostran, R.G. Cook, K.L. (1966). Interpretation of Resistivity Data, *US Geological Survey Professional Paper* 499.

Zhou, Q.Y. Shimada, J. Sato, A. (2001). Three-dimensional spatial and temporal monitoring of soil water content using electrical resistivity tomography, *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 2, 273-285, 2001.