

TÜRKİYE JEOLJİSİNİN SUNDUĞU ZENGİNLİK: JEOTERMAL ENERJİ .. YA YASASI?

Ersin GİRBALAR

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Türkiye'nin jeotermal kaynakları zengin ancak yasası ne yazık ki bu zenginliği karşılayacak nitelikte değil.....

Yerküre üzerindeki jeotermal sistemler, levhaların çarpışması sonucu aktif kıta kenarlarında, okyanus ortası sırtlarında, aktif kıta yarıklarında (riftlerde) ve volkanik adalar üzerinde bulunuyorlar. Zayıflık zonlarına bağlı olarak oluşan tektonik ve aktif volkanik kuşaklar boyunca kuzey ve güney Amerika kıtasının batı kıyılarında (Amerika, Meksika, El Salvador, Nikaragua, Kostarika, Arjantin), Akdeniz ülkelerinde (Türkiye, Yunanistan, İtalya), doğu ve güneydoğu Asya ülkelerinde (Çin, Tayland, Filipinler, Endonezya), Yeni Zelanda, Japonya, Portekiz'in Azor adalarında, Afrika kıtasında (Kenya, Etopya) ve İzlanda da jeotermal kaynaklar bulunmaktadır.

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Bu aktiviteler sonucunda oluşan graben yapıları ve derin faylar jeotermal sistemlerdeki ısı enerjisinin yeryüzüne taşınması için uygun dolaşım koşullarını sağlamaktadır.

Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu

ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynağın bulunduğu MTA Genel Müdürlüğü tarafından bu güne kadar yapılan çalışmalarla belirlenmiş 186 adet jeotermal saha bulunmaktadır.

Türkiye'de bugüne kadar yapılan araştırmalarla belirlenen 186 adet jeotermal etkinlik gösteren sahadan geliştirilmiş 25 kadar jeotermal saha halen doğrudan amaçlı olarak veya elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Birçok jeotermal alanda ise yerel halkın ılıca, kaplıca gibi banyo amaçlı kullanımı söz konusudur. Bu arada, yeni araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmekte, bazı sahalar geliştirilirken yeni sahalar da bulunmaktadır.

Ayrıca birçok bölgemizde birer fosil jeotermal sistemin ürünü olarak "Doğal Mineralli Sular" bulunmaktadır.

Jeotermal kökenli gaz olarak CO₂ gazı da halen Aratol (Aksaray) ve Kızıldere (Denizli)'de üretilmekte, Salavatlı (Aydın)'da üretim için hazırlıklar yapılmaktadır. Bu ürün bütün gazlı içeceklerde ve sanayide kullanılmaktadır.

Jeoloji mühendisliği jeotermal kaynakların aranmasında etkin ve yoğun bir şekilde yer aldı, yer almakta ve yer alacaktır. Bulunan 173 adet sahanın tümünde jeoloji mühendislerinin imzası vardır.

Günümüzde artan enerji gereksinimi

ve hele artan çevre sorunları karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektriğe dönüştürülebilir yüksek ısı yükü jeotermal kaynakların aranması ve geliştirilmesi daha da önem kazanmıştır.

Jeotermal kaynaklardan enerji üretilmesi sonucunda atmosfere CO₂ salınımının azaltılmasına önemli bir katkı da sağlanmış olmaktadır.

Bir jeotermal kaynağın-sahanın bulunması ona ait jeotermal sistemin bilimsel ve teknik tüm öğelerinin olabildiğince tam olarak belirlenmesi, özellikle sahanın sınırlarının ve üretim potansiyelinin en doğru şekilde ortaya konmasıdır. Bilinmesi gerekenler ISI ve BASINÇ ile KİMYASAL BİLEŞİM ve KİMYASAL BİLEŞİMİN DENGESİ KOŞULLARI'dır. Bunların bilinmesi ayrıntılı jeolojik çalışmalar ile jeotermal sistemi oluşturan rezervuar kaya, örtü kaya ve ısı kaynağının tanımlanması ve sınırları ile boyutlarının belirlenmesi sonucunda olabilecektir. Bunlar yapılmadan zaten yüzey aktivitesi olan bir sahada bir veya birkaç kuyu açılması ve gerekli test ve ölçümler de yapılmadan üretim değerleri belirlenmesi sahanın bütüncül olarak işletilebilmesi için yeterli değildir. Bu şekilde yeterli araştırma ve test-ölçüm yapılmadan yatırım yapılarak işletilmeye başlanan sahaların tümünde kısa sürede verim problemleri yaşanmaya başlanmış, hatta sahadan ekonomik üretim yapılamaz duruma gelinmiş, jeotermal sisteme zarar verilmiştir. Bu sorunlar ancak doğru ve yeterli bir arama çalışmasının yapılması ile giderilebilir.

Jeotermal kaynakların durumu diğer yer altı kaynaklarından farklıdır. Bu da bir doğal yeraltı kaynağıdır, ülkenin bir doğal sermaye ögesidir. Ne var ki, bunlar oluşumu tamamlanmış, artık değişmez ve yerinden alınırsa tükenir hammaddeler değildir. Dinamiktir. Sürekli olarak

akışkan, ısı ve kimyasallarla beslenirken, bir yandan da bunları sürekli olarak yitirmektedir. Daha önemlisi, bunların bütününde yüklenilmiş olan ısı, kaya ortamlarda ışıma, kütle taşıma, vb yollarla ya da akışkanın yeraltında yeraltısuyu akiferlerine karışması sırasında saçınım ile yitirmektedir. Bu kaynak bulunup, tanınıp üretilmese bile sürekli olarak ısı yüklenmekte ve ısı yitirmektedir. Aynı şey ısı taşıyıcısı olarak akışkanlar için de söz konusudur. İnsanlar bu kaynağı üretmese de, sisteme yeni akışkan, su ve gaz katılması ve sistemden dışarıya akışkan göçü olacaktır. Bu nedenle, jeotermal kaynaktan yararlanmamakta bir kamu çıkarı yoktur. Ekonomik olarak yapılabilirliği olan her türlü yolla bu kaynaktan yararlanılması, bunun ısı içeriğinin doğrudan ya da dönüştürülerek kullanılması kamu çıkarı gereğidir. Bütün bunlar göz önüne alındığında jeotermal kaynakların ister kamu eli ile, ister özel yatırımlarla, ya da isterse yabancı yatırımlarla hemen, her yerde ve her türlü kullanım için çıkarılması ve kullanılması kamu çıkarı açısından tartışılmaz yarar taşımaktadır.

Jeotermal kaynaklarımızın etkin ve kamu yararı doğrultusunda aranması ve kullanılmasının sağlanması, buna yönelik yasal düzenlemeler yapılması esastır.

Dinamik sistemler olan jeotermal sistemler doğal koşullarda bile sürekli değişebilir. Depremler dolaşımı ve dolayısıyla var olan basınç koşullarını; beslenme düzenini belirleyen yağışlar ısı ve basınç koşullarını; üretim müdahaleleri bütün koşulları az ya da derinden etkiler ve sistemin basınç-sıcaklık-kimyasal dengeleri değişir. Korunması gereken bu dengedir. Bu ise, akışkan beslenmesi, akışkan dolaşımı, ısı akışı, akışkanın ısı yüklenmesi, doğal ya da yapay boşalimler, bunların içinde yer aldığı jeoloji ortamı, bu or-

tamın yapısal, mineralojik ve alterasyon özellikleri, vb tüm bileşenleri ile bir bütün, bir sistem niteliğindedir. Bütün modellemeler, bütün denge kaygıları, bütün benzeşimler, bütün etkileşim senaryoları hep bu sisteme bütüncül yaklaşımı gerektirir. Sistem bir bütün olarak araştırılır ve bütünü bilinip yönetilebilir. Sistemin bir yerinde denge bozulursa, başka bir yerinde korunamaz. Gerçek bir doğal olgu, değerli bir yer altı kaynağı ve bir ekonomik çıkar ve yasal hak konusu olarak jeotermal kaynak, ancak sistemin bütüncül yönetimi ile olanaklıdır.

“Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular” yasası zengin jeotermal kaynaklarımız, doğal mineralli sularımız ve jeotermal kökenli gazlarımızın aranması, üretimi ve kullanılması konusunda neler öngörüyor.

Öncelikle yasa jeotermal kaynakları ve doğal mineralli suları kullanan ve işleten hemen tüm tarafların karşı çıkmasına, önerdikleri değişiklikler ve görüşleri dikkate alınmadan oluşturulmuştur. Mevcut durum, ülke şartları gözetilmeden, bu konuda öncü ülkelerin yasaları incelenip uygun örnekler alınmadan, çokça benzerlikler içeren “Yeraltısuları Kanunu” düzenlemesine benzer bir düzenleme olması gerekirken, hiçbir şekilde benzerliği olmayan madenlerle ilgili yasa temel alınarak bundan devşirilip hazırlanmıştır. Yasanın yürürlüğe girmesinden bugüne kadar geçen yaklaşık 6 aylık sürede her kesimden ciddi olumsuz tepkiler almaktadır.

En başta yasa kamu yararı ve ulusal çıkar gözetmemektedir. Kötü kurgulanmış, bütünlüğü olmayan, uygulamada büyük sorunlara yol açacak hükümler içermektedir. Belediyeler tamamen devre dışı bırakılmaktadır. Şartları olduğunda zorunlu tutulması gereken entegre kullanım hiç

konu edilmemiş. Jeotermal sistemlerin korunmasına yönelik hiçbir önlem, zorunluluk ve yaptırım yok. Sistemin dengesinin, yenilenebilirlik-sürdürülebilirlik şartlarının bilinerek bunun korunmasına yönelik bir zorunluluk yok. Reenjeksiyonun sadece çevresel etkilerden kurtulma amacıyla yapılması, bunun da bazı durumlarda zorunlu olmaması hükmü getirilmiş. Reenjeksiyonun birincil olarak sistemin basınç dengesinin sağlanması için gerekli olduğu göz ardı edilmiş.

Sahaları, kaynakları bozacak, yenilenebilirliğini büyük ölçüde ortadan kaldıracak bir uygulamaya kapı aralıyor. Soğuk tatlı su akiferleri ile etkileşim olasılığı bulunan sahalarda DSİ Genel Müdürlüğü ile koordinasyon sağlanması ve önlem alınması gerekliliğine hiç değinilmemiş.

Yasanın adında yer alan “Doğal Mineralli Sular”, kapsamında belirtilen “jeotermal kökenli gazlar” ve tanımlarda yer alan “kızgın kuru kaya” ile ilgili detaylı ve yeterli bir düzenleme bulunmamaktadır.

Tanımlamalar çokça yanlış ve eksiklikler içeriyor. En temel kavram olan “KAYNAK” yer parçası olarak tanımlanıyor. Esas olan jeotermal kaynağın ISISI’dır.

Özel idarelerin yasada belirtilen konularda idari ve teknik yeterli donanımları yok. MTA arama ve geliştirme sonrası yatırım için potansiyel belirleme ve entegre planlama yapma, yapılanları değerlendirme-onay verme yetkinliğinde değil. Görevi de değil zaten. Bu konuda belirsizlik söz konusu.

Yatırım yapmak isteyen özellikle yerel yönetimler ve özel sektör için ruhsat ve yatırım için güvence bu haliyle pek olanaklı görünmemektedir. Yasanın geçici 1. maddesi mevcut hakların intibakını düzenliyor. Esas olarak halen jeotermal kaynakları işletenlere alan bazında in-

tibak yapılması öngörülüyor. Ancak bu madde ile yapılan düzenlemedeki haklar geçici 3. madde ile hemen tamamen geri alınmaktadır.

Geçici 3. madde ile hemen tüm sahaların alan bazında intibakının MTA Genel Müdürlüğü adına yapılması ve bu sahalarla ait hakların ihale edilerek devri öngörülmektedir. Birkaç saha dışında tüm sahalar da kullanım hakkı sahipleri, işletmeciler, müktesep hak sahipleri zaten vardır. Bunların intibak işleminde kesin hak sahibi olmaları ve birlikte veya tek başına alan bazında sahada işletme hakkına sahip olmaları gerekir (Kızılcahamam, Bergama, Heybeli, Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Kozaklı...). Zaten yasa bu şekilde kurgulanmıştır. Teminat ile ilgili hesaplama alan bazında, hektar başına yapılıyor.

Çok büyük sorunlar yaratacak bu düzenlemeden vazgeçilmelidir. MTA Genel Müdürlüğü'nün buluculuk ile ilgili hak ve çıkarları kalmalı, ancak bu haklar arama ruhsatına dönüşmemeli ve dolayısıyla bu sahaların ihale edilerek devri yapılmamalıdır. Yasanın esas olarak öngördüğü biçimde geçici 1. maddeye göre alan bazında intibak yapılmalıdır.

MTA Genel Müdürlüğü'nün başkası adına ruhsatlı bir sahada kendi adına çalışma yapmasının gerekçesi anlaşılır değildir. Ruhsat sahibi zaten sahada her türlü çalışmayı yapmak ve sahanın boyutlarını ve potansiyelini belirleyebilecek tüm verileri üretmekle yükümlü olmalıdır. MTA Genel Müdürlüğü kaynaklarını ve insan gücünü yeni sahaların aranması ve geliştirilmesi ile gerektiğinde ücretli işlere yönlendirmelidir. Madenlerde, petrolde, endüstriyel hammaddelerde böyle bir şey söz konusu olabilir mi? Jeotermalde de böyle bir uygulama olmamalıdır. Ayrıca sakıncalıdır da. Her türlü kötüye kullanıma açık bir konu olarak ta görülmektedir.

Yasa temel olarak jeotermal sahaların bütüncül olarak işletilmesini öngörmektedir. Mevcut işletme ve kullanım haklarının intibakı ve bunların bulunduğu sahalarda geliştirme çalışmaları yapılması ile ilgili çok önemli sorunlar oluşturacak düzenlemeler içermektedir. İşletme Ruhsatlarının kuyu/kaynak bazında verilmesi uygulaması sahalarda olabildiğince karmaşaya neden olacaktır. Heybeli'de, Gazlıgöl'de, Dikili'de v.b. diğer pek çok yerde büyük sorunlar yaşanacaktır. Hukuki sorunlar yanında sahaların işletme koşullarını kontrol etmek olanaksızlaşacaktır.

Yasanın en önemli eksikliği, jeotermal sahaların olabildiğince kesin boyutlarının belirlenerek, bu sahalardan üretilebilecek ısı enerjisi miktarının ortaya çıkartılması konusu ile ISI-BASINÇ-KİMYASAL BİLEŞİM DENGESİ şartlarının korunması konusunda izleme ve denetim ile ilgili kesin ve belirgin hükümler içermemesidir.

Dünya yerel kirliliğe ve küresel iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarını sınırlandırma eğiliminde iken Türkiye sera gazı emisyonunu arttıracak yatırımlarda bulunmaktadır. Bunun yerine sera gazı salımının azaltılmasına önemli bir katkı sağlayacak olan jeotermal kaynaklardan enerji elde edilmesi ile ilgili arama, üretim ve işletme faaliyetlerinin desteklenmesi konusunda önemli ve yeterli hükümler yasada yer almamaktadır.

Yasa uygulamada çok önemli sorunlar yaratacak bir başka düzenleme olarak Özel İdare, MİGEM ve MTA kurumlarının hangi yetkileri nasıl kullanacaklarını karmaşık bir biçimde düzenlemiş bulunmaktadır. Bu kurumların işlemler konusunda görev, yetki ve sorumluluğu kesin olarak belirlenmemiştir. Bu konu mutlaka bir çözüme kavuşturulmalı ve yetkili ve

sorumlu tek bir kurum olması sağlanmalıdır. Jeoloji Mühendisleri Odası bu kurumun "Türkiye Jeotermal Enstitüsü" adıyla yeni bir kurum olarak oluşturulmasını önermektedir ve bunu önemsemektedir.

Gerçek potansiyelimiz tam olarak bilinmese de ülkemiz için önemli bir jeolojik zenginlik olan jeotermal enerji kaynaklarının ve mineralli suların, tıpkı akarsu havzalarının entegre kullanımında olduğu gibi, yetkin ve yönlendirici kamu kuruluşları tarafından planlanıp diğer kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektörün kullanımına sunması amacı ile, özerk bir jeotermal enstitünün kurularak, denetimler, planlama ve değerlendirme bu enstitü aracılığı ile yapılmalıdır.

Jeoloji Mühendisleri Odası yasa taslak halindeyken geçen yıl içinde yasa ile ilgili Bigadiç'te bir Çalıştay ve Ankara'da Sempozyum düzenlemiş ve bu konuda ayrıntılı görüş ve öneriler oluşturarak bunları kamuoyu ve tarafların bilgisine sunmuştur.

Gene geçen yıl Dikili'de düzenlenen ve Enerji Bakanımızın da katıldığı jeotermal sempozyumun sonuç bildirgesine de katılım sağlanmış ve odamız görüşlerine uygun bu bildirge desteklenmiştir.

Sonuç olarak tüm bu anlatılanlar ışığında "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" yeniden ele alınarak acilen değiştirilmelidir.

JEOTERMAL KAYNAKLARIN YÖNETİMİNE YÖNELİK YASAL DÜZENLEMELER

Bülent TOKA

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Hasan YILMAZ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

ÖZET

Jeotermal kaynakların yönetimine yönelik yasal ve politik düzenlemeler ülkeden ülkeye değişmektedir. Jeotermal kaynaklara ait düzenlemeler, doğal kaynaklar kanunu, maden kanunu, su kanunu veya jeotermal kanunu içerisinde yer almaktadır. Genellikle bu yasal düzenlemeler, gelecek kuşakların bu enerjiden faydalanmalarını sağlamaya yönelik olmaktadır. Dolayısıyla, jeotermal kaynakların sürdürülebilir veya yenilenebilir konumları; işletme aşamasında üretilecek akışkan miktarı sınırlandırılmakta, rezervuar parametreleri ve çevresel etkileri çeşitli gözlem yöntemleriyle kontrol altında tutulmaktadır.

GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde doğal çıkışa sahip termal kaynaklardan ısıtma, banyo ve sağlık amaçlı olarak binlerce yıl boyunca faydalanılmıştır. Artan enerji ihtiyacı ve gelişen teknoloji ile bu doğal akışa sahip kaynaklardan maksimum fayda sağlamak amacıyla jeotermal sahalarda açılan kuyularla jeotermal gelişim başlamıştır.

Jeotermal sahalarda yapılan arama ve işletme projeleri, akışkan üretiminin rezervuar parametrelerine ve çevreye etkisi ve jeotermal enerjinin kullanıma yönelik teşvik edilmesi nedeniyle oluşturulan yasal düzenlemeler ve politikalar ülkeden ülkeye değişmektedir. Jeotermal kaynaklara ait yasal düzenlemeler, doğal kaynaklar kanunu, maden kanunu, su kullanım kanunu veya jeotermal kanunu içerisinde yer almaktadır. Yasal düzenlemelerde "Devlet kontrolünde mi olacak? Özel sektöre neler açılacak? Jeotermal enerji hangi kanunun içinde yer alacak? Maden Kanunu içerisinde mi? Su kanun da mı? Kim ruhsatlandıracak? Kaynakların işletilmesinde arazi sahibinin hakları nelerdir? Jeotermal enerjiden faydalanma vergisi ne olacak? Teşvik sistemi ne olacak?" gibi sorular ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde de jeotermal kaynakların yönetimine yönelik ilk yasal düzenleme 1926 yılında yapılmış ve 927 sayılı kanun ile il özel idareleri bu kaynakları işletmekle yetkili kılınmıştır. Artan enerji ihtiyacı, gelişen sağlık ve çevre turizmi, endüstriyel uygulamalar ülkemizde 1960'lı yıllardan başından itibaren jeotermal enerji sektörünün gelişimine neden olmuştur. Bu gelişim bazı jeotermal sahalarda kaynakların verimli kullanılmaması ve çevre problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çıkan bu sorunlar nedeniyle yeni bir jeotermal yasa tasarısının hazır-

lanması gereği doğmuştur

Maden İşleri Genel Müdürlüğü (Mİ-GEM) ve İçişleri Bakanlığı tarafından hazırlanan yasa tasarılarından sonra "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" 13/06/2007 tarihinde 5686 sayılı yasa ile yasalaştırılmıştır. Bu yasa ile ruhsatlandırmaya İl Özel idareleri yetkili kılınmıştır. Ayrıca 10.5.2005 tarihli 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"un yürütülmesinde Enerji Piyasa Düzenleme Kurulu (EPDK) yetkili kılınmıştır.

1. JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARAŞTIRMASINDA VE KULLANIMINDA YAŞANAN SORUNLAR

2005 yılında Antalya'da yapılan Dünya Jeotermal Kongresi'nde, jeotermal kaynaklardan yararlanma, elektrik üretimi ve ısıdan doğrudan faydalanma (ısıtma, seracılık, kaplıca vb.) olarak iki kısımda incelenmiştir. Buna göre ısı enerjisi olarak kullanımda ülkemiz ABD, İsveç, Çin ve İzlanda'dan sonra 1,177 MWt kapasite ile beşinci sırada gelmektedir (Lund, 2005). Elektrik enerjisinde de, 1985 yılında 20.4 MWe olarak kurulan Denizli-Kızıldere sahasında 15 MWe üretim kapasitesi ile jeotermal enerjiden elektrik üreten 24 ülke arasında onaltıncı sırada bulunmaktadır (Bertani, 2005). 2006 yılında Aydın-Salavatlı sahasında 8 MWe elektrik üretilmesiyle toplam üretim 23 MWe çıkmıştır.

Ülkemiz jeotermal kaynakların ısısından doğrudan faydalanma (ısıtma, seracılık, kaplıca, vb.) konusunda son yıllarda büyük bir gelişme göstermiştir. Fakat yürürlükteki yasaların yetersiz kalması, jeotermal enerjiden faydalanma konusunda merkezi ve yerel politikaların oluşturulmaması, jeotermal gelişimin olduğu sa-

halarda problemlerin çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan problemlerin en önemlileri; jeotermal kaynakların verimsiz kullanılması ve çevresel problemlerdir. Bugüne kadar jeotermal sondajların çoğu MTA Genel Müdürlüğü'nce açılmıştır. Son yıllarda özel sektör de jeotermal sondajlarla ilgilenmeye başlamıştır. Fakat bazı özel sektöre ait sondaj makine ekipmanlarının yetersizliği ve çalışanların deneyimsizliği ortaya çıkan bu problemlerin artmasına neden olmuştur. Jeotermal sahalarda soğuk su sondajı tekniğiyle açılmış, hiçbir kuyubaşı ekipmanı bulunmayan ve kontrolsüz akış yapan kuyuları görmek olasıdır. Kontrolsüz akan bu akışkanın içerdiği kimyasal maddelerin çevreye olumsuz etki yapması kaçınılmazdır (Toka, 2003).

Jeotermal kaynakların ısıtma ve kaplıca turizmüne uygun sıcaklığı nedeniyle cazibe merkezi olan jeotermal sahalarda gereğinden fazla kuyu açılmış ve jeotermal akışkan hiç tükenmeyecek kaynaklar gibi görüldüğünden rezervuardan gereğinden fazla su çekilmiştir. Bu sahalarda yer altı su seviyesi hızla düşmüş ve bugün hala jeotermal ısıtma yapılan konutlarda ısınamama veya kaplıcalara yeterli su verilememesi gibi problemler yaşanmaktadır. Bu durum aynı zamanda jeotermal akışkanın yüzeyde oluşturduğu doğal güzelliklerin yok olmasına veya yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalmasına da sebep olmuştur.

2. 5686 SAYILI JEOTERMAL KAYNAKLAR ve DOĞAL MİNERALLİ SULAR KANUNU

5686 sayılı "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" 13.06.2007'de kanunlaşarak yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun amacı: Jeotermal ve doğal mi-

neralli su kaynaklarının etkin bir şekilde aranması, araştırılması, geliştirilmesi, üretilmesi, korunması, bu kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması ve hakların devredilmesi, çevre ile uyumlu olarak ekonomik şekilde değerlendirilmesi ve terk edilmesi ile ilgili usûl ve esasları düzenlemektir. Ayrıca, belirlenmiş veya belirlenecek jeotermal ve doğal mineralli su kaynakları ile jeotermal kökenli gazların arama ve işletme dönemlerinde, kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması, devredilmesi, terk edilmesi, kaynak kullanımının ihale edilmesi, sona erdirilmesi, denetlenmesi, kaynak ve kaptajın korunması ile ilgili usûl ve esaslar ile yaptırımları kapsar.

Arama Ruhsatı; talep sahibi tarafından 1/25000 ölçekli pafta adı ve koordinatları belirtilerek beş bin hektarı geçmeyecek şekilde arama projesi ile birlikte idareye yapılır. Müracaatlarda öncelik hakkı esastır. Aynı yer için aynı anda birden fazla talep olması halinde, projeler incelenerek en hızlı ve en fazla yatırımı teklif eden proje sahibinin talebi tercih edilir. Arama ruhsatı süresi 3 yıldır, ancak: faaliyetlerin olumlu gelişmesi ve ilave etütlere ihtiyaç duyulması halinde revize proje verildikten sonra idarece uygun bulunması halinde bir yıl uzatılabilir. Arama ruhsatı sahibinin, arama ruhsat süresinin son günü akşamına kadar işletme projesi ile idareye işletme ruhsatı başvurusunda bulunması halinde "işletme ruhsatı" verilir ve varsa tespit edilen bloke alanıyla birlikte MİGEM'e bildirilir. İşletme ruhsatı süresi otuz yıldır. Süre sonunda ruhsat sahibinin talep etmesi durumunda onar yıllık dönemler halinde uzatılır.

İdareden izin alınmaksızın, projede yer alan herhangi bir kuyunun yenilenmesi, sayısının ve kapasitesinin artırılması, enjeksiyon, reenjeksiyon, üretim amaçlı tüm sondaj faaliyetleri ile diğer proje

değişiklikleri ve revizyonları yapılamaz. İdare, gerekli görülen hallerde, bedelini ödemek kaydıyla, MTA'dan değerlendirme isteyebilir. Arama ve işletme ruhsatı süresince, faaliyetlerin ilgili mühendislik dallarından bir mühendisin sorumluluğunda sürdürülmesi zorunludur. Teknik sorumlu olmaksızın faaliyette bulunması halinde, ruhsat teminatı irat kaydedilerek, faaliyetler durdurulur. Ancak burada hangi mühendislik dalının hangi aşamalarda teknik sorumlu olabileceği konusuna açıklık getirilmemiştir.

Sahalardaki faaliyetler her yıl idare tarafından denetlenir. Gerekğinde idarece talep edilmesi halinde MTA tarafından da denetim yapılır.

Ruhsat sahibi, kullanım sonrası açığa çıkacak akışkanı çevre limitlerini dikkate alarak deşarj edebilir. Akışkan içeriği çevre limitlerine göre deşarja izin vermiyorsa reenjekte etmekle yükümlüdür. Ancak formasyonun fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle reenjeksiyonun gerçekleşmediğinin MTA tarafından onaylanması halinde, çevre kirlenmesini önleyecek tedbirler alınarak deşarj yapılır.

4. 5686 SAYILI YASA ÜZERİNE GÖRÜŞLER

Jeotermal enerji çok fazla kullanım alanına sahip olduğundan değişik bakanlıkların ilgi alanına girmektedir. Jeotermal kaynakların araştırılması ve kullanımı ile ilgili bakanlıkları şu şekilde sıralayabiliriz; Enerji Bakanlığı (Elektrik üretimi), Turizm Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı (kaplıca ve sağlık merkezleri), Tarım ve Orman ve Çevre Bakanlığı (kültür balıkçılığı, seracılık), İçişleri Bakanlığı. Birbirleri arasında sınırlı iletişim ve bağlantısı olan farklı bakanlıkların sorumluluğu altında bulunan jeotermal kaynakların kullanımı

sırasında bakanlıklara arası problemlerin ortaya çıkması mümkün gözükmektedir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) - soğuk su sondajı ruhsatı, Maden İşleri Genel Müdürlüğü - maden arama ve işletme ruhsatı ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PIGEM) ise petrol arama ve işletme ruhsatı vermektedir. Özellikle jeotermal alanlarda yapılacak bu tür aramalar sırasında jeotermal sondaj tekniğine uygun kuyu açılmaması durumunda; jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal maddeler nedeniyle yeraltı sularının, toprağın ve çevredeki akarsuların kirlenmesi veya kirli yer altı sularının da jeotermal rezervuarı kirlenmesi kaçınılmazdır. Bu kanun ile böyle durumları önlemek için DSİ, PİGEM ve MİGEM ile koordinasyonlu olarak çalışması kaçınılmazdır.

Jeotermal kaynakların bulunduğu topraklar, akışkanın yüzeyde oluşturduğu doğal güzellikler ve tarihi yerler bölge halkı için ekonomik bir değer taşıdığı gibi manevi önemde sahip olabilmektedir. Bergama ve Ankara-Temelli'de ortaya çıkan bölge halkının tepkisi, bu jeotermal kaynaklarının gelişimi sırasında da ortaya çıkması mümkündür.

5686 sayılı yasaya göre jeotermal araştırma ve işletme ruhsatları il özel idarelerince verilmektedir. Maden işleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) ise ruhsatlar (ikinci bölüm) ve ortak hükümlerde (üçüncü bölüm) 9 defa "MİGEM'e bildirilir" deyişiyile bilgi verilen bir kurum haline gelmiştir. Kaynakların düzgün kullanımı ve projelerin uygulanmasındaki hataların ortadan kaldırılabilmesi için denetim en önemli konulardan biridir. Ancak, denetim il özel idarelerinin isteğine bırakılmış ve gerektiğinde MTA'dan denetim yapması istenecektir denilmektedir. Denetimin amacı, jeotermal kaynakların yenilenebilirliğini veya sürdürülebilirliğini sağlamaktır.

Jeotermal kaynaklar için sürdürülebilir gelişim, jeotermal kaynakların uzun dönem kullanımlarını ve çevreye olan etkilerini en aza indirmeyi kapsar. Dünyanın birçok yerinde doğal çıkışa sahip termal kaynakların ısılarında ve üretim miktarlarında hiçbir azalma olmadan yüzyıllardır üretim yapması, rezervuara olan ısı ve sıvı akışı ile rezervuardan dışa boşalmanın dengede olduğu durum, akışkanın yüzeyde oluşturduğu kaynak debisinin tamamen yenilenebilir olduğunu göstermektedir. Özellikle sağlık ve turizm amaçlı kullanılan sahalarda jeotermal kaynakların yenilenebilir durumlarının korunması gelecek kuşakların bu enerjiden faydalanmalarını sağlayacaktır. Elektrik ve ısıtma amaçlı kullanılacak sahalarda ise saha modellemeleri ile sahanın sürdürülebilir kullanımı sağlanmalıdır. Yeni Zelanda Devleti'nin kaynak kullanımı kanununa göre gelecek kuşaklara enerji kullanım fırsatı yaratılması için kaynaklardaki azalmayı engellemek amacıyla rezervuardan çekilecek su miktarı sınırlandırılmaktadır (Dickie ve Luketina, 2005). Dolayısıyla jeotermal kaynakların yenilenebilirliğini veya sürdürülebilirliğini sağlamak için jeotermal sahalardan üretilecek akışkan miktarı sınırlandırılabilir.

Yeterli test ve gözlem çalışmaları olmayan sahalarda, kaynakların aşırı kullanımını ülkemizde sorunlara neden olmakta ve jeotermal sistemlerin potansiyelini ortaya çıkarmak için gerekli saha modellemeleri yapılamamaktadır. Uzun dönemli test ve gözlem çalışmaları sonucu yapılacak saha modellemeleri sahanın araştırılması yanında kullanılabilir veya sürdürülebilir enerji potansiyelini de belirleyecektir.

5686 sayılı kanunda çevresel etki değerlendirilmesinden (ÇED) bahsedilmemiştir. Jeotermal enerji ile ilgili yabancı

ülkelerdeki birçok kanunda, araştırma ve işletme aşamasında ÇED istenmektedir. Araştırma aşamasından itibaren yapılacak ÇED çalışmaları, jeotermal kaynakların kullanılması sırasında ortaya çıkacak problemlerin önceden çözümlenmesine neden olabilecektir.

İleride çıkabilecek olası bu problemlere karşı alınabilecek önlemler ile ilgili düşünceler aşağıda sıralamıştır.

a- Jeotermal, madenler, petrol, yer altı ve yerüstü sularının hepsi doğal kaynak olarak görüldüğünden bu kanunların tek bir bakanlığın sorumluluğu altında bulunması doğal kaynakların verimli olarak işletilmesine katkı sağlayacaktır. Özellikle araştırma aşamasında tüm doğal kaynaklara yönelik çok yönlü değerlendirmelerle her bir kaynağa ait her türlü verinin toplanmasına ve işletme yönteminin belirlenmesine önemli katkı sağlayacaktır.

b- Kanunların uygulanmasına bağlı olarak kaynakların usulüne uygun yönetimin gerçekleştirileceği bölgesel sorumluluk sistemine geçilmelidir. Yerel idarelere bağlı olarak çalışacak bölgesel sorumlular bölgesinde bulunan doğal kaynakların yönetimine yönelik olarak oluşturulan politikaları uygulamak ve kaynakların sürdürülebilirlik gelişimini sağlayacak donanıma sahip olmalıdır. Bölgesel sorumluluk sisteminin oluşumu ve görevleri kanunla belirlenmelidir.

c- Bölgesel jeotermal gelişim politikaları oluşturulmalıdır. Jeotermal sahanın büyüklüğü, sıcaklığı, yüzeyde oluşturduğu doğal güzellikler gibi parametreler her bölgede değişik özellik gösterdiğinden her jeotermal sahanın kullanım alanlarına ve yasalara bağlı olarak, kaynağın ve çevrenin korunmasına yönelik bölgesel yönetim planlarını yerel yönetimlerce

geliştirilmelidir.

d- Jeotermal kaynaklar için yenilenebilir ve sürdürülebilir konumlarının sağlanması için saha modellemelerine uygun ruhsatlandırma kuyu bazından çok havza bazında yapılmalıdır. Yenilenebilir jeotermal kaynaklar için sürdürülebilir gelişim modelleri, jeotermal kaynakların uzun dönem kullanımlarını ve çevreye olan etkilerini en aza indirmeyi kapsar. Uygulamalar ve gözlemler jeotermal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için daha düşük oranlarda üretim yapması gerektiğini ortaya koymaktadır.

e- Kanunun uygulamasını gerçekleştirmek için İl Özel İdareleri yeniden yapılandırılmalıdır.

f- MİGEM sadece bilgi verilen kurum konumundan çıkarılarak Kanunun gereklerini yerine getiren kurum olmalıdır.

g- Jeotermal sahaların çevresel etkilerini en aza indirip takip edilmesini sağlamak için ÇED çalışmaları ile ilgili düzenlemeler yapılmalıdır.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

- Jeotermal kanun, su, maden ve petrol kanunlarıyla birlikte tek bir bakanlığın sorumluluğunda olmalıdır.

- Jeotermal kaynakların özelliklerine uygun bölgesel jeotermal kaynaklar yönetim politikaları üretilmelidir.

- Doğal kaynakların araştırma ve işletme aşamasında ilk başvuru yeri olarak yerel idarelere bağlı bölgesel sorumluluk sistemi oluşturulmalıdır.

- Jeotermal kaynakların kullanım ve buldukları ortama uygun yenilenebilir veya sürdürülebilir konumları korunmalıdır.

- Kaynakların verimli kullanımı ve projelerin uygulanmasındaki hataların ortadan kaldırılabilmesi için İl Özel İdarelerinde gerekli teknik yapılanma oluşana kadar denetimin MTA tarafından yapılması gerekmektedir. İl Özel idarelerinin isteğine bırakılması ilerde telafisi olmayacak hatalara sebebiyet verecektir. Ruhsat sahalarının denetimi keyfiyete bırakılmamalıdır.

- İl özel idareleri bu kanunun gereklerini yerine getirebilmek için teknik alt yapılarını hızla kurmalıdırlar. Geçiş döneminde ve gerekirse sonrasında jeotermal konusunda birikimi olan ve teknik personel alt yapısı bulunan MTA'nın desteklerini almalıdırlar.

- Kanuna bağlı olarak jeolojik araştırmadan derin araştırma kuyularının sondajına kadar tüm aktiviteleri içeren uygulama yönetmeliği ivedilikle çıkarılarak uygulama esasları belirlenmelidir.

- MİGEM bilgi verilen kurum olmaktan çıkarılarak uygulayıcı kurum konumuna gelerek maden ruhsatları ile koordineli olarak sahaları takip etmelidir. İl Özel İdareleri MTA'nın jeotermal altyapısını kullanmalı ve her aşamada teknik destek almalıdır.

KAYNAKLAR

1. Armannsson H., and Kristmannsdottir H., 1992: Geothermal Environmental Impact, Geothermics 21 (1992) 869-880

2. Axelsson G., Stefansson V., Björnsson G. and Jiurong L. 2005: Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100-300 Years, Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey April 2005.

3. Bertani R, 2005, "World Geoter-

mal Generation 2001-2005: State of the Art", Dünya Jeotermal Kongresi, Antalya.

4. Dickie B. N., and Luketina K. M., 2005: Sustainable Management of Geothermal Resources in the Waikato Region, New Zeland, Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey April 2005.

5. Lund J. W., Freeston D. H., Boyd, T. L., 2005 "Worl-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005", Dünya Jeotermal Kongresi, Antalya.

6. Toka B., Tuğran M., Toralıoglu M., 2003, Jeotermal ve Çevre, 3. Sondaj Sempozyumu, İzmir

JEOTERMAL ENERJİNİN TARIM SEKTÖRÜNDE KULLANILMASI VE SORUNLARI

Gazanfer HARZADIN

TMMOB Makina Mühendisleri Odası

ÖZET

İnsanların beslenme , giyinme ve sosyal ihtiyaçlarını karşılayan tarım sektörü her geçen gün daha fazla üretim yapma gereğini duymaktadır. Üretimin artırılmasında en önemli girdilerden biri olan enerjiye olan ihtiyaç da artacaktır. Bu enerjilerin elde edilmesinde kullanılan yakıt ve elektrik enerjisinin fiyatlarının diğer ülkelere göre ülkemizde pahalı olması, tarımsal ürün fiyatlarının düşük olması nedeniyle enerji kullanımını sınırlı kalmakta ve bu durum düşük verim alınmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada alternatif ve yenilenebilir enerjilerden olan jeotermal enerjinin tarım sektöründe kullanılma olanakları ve sorunları incelenmiştir.

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun ve gelir düzeyinin artması , beslenme ile ilgili konulardaki araştırmalar ve gelişmeler gıdaya olan ihtiyacı artırmaktadır.Bu artış birim alandan daha fazla ürün alma isteğini körüklemekte , bunun sağlanması için de bitki ve hayvan fizyolojisinde olağan üstü gelişmelere neden olmaktadır. Geni ile oynanmış ürünler buna bir örnektir. Küresel ısınmanın tarımsal yapı ile ilişkisi de gözden uzak tutulmamalıdır. Konumuz tarım olduğuna göre , bu sektörün ülkemizdeki durumunu kısaca bilmekte yarar vardır. Ülke nüfusunun yaklaşık %34 ünün istihdam edildiği bu sektörde kişi başına GSMH 1384\$ dir. Ortalama işletme büyüklüğü 6,1 hektar olup , işletmelerin %65 i bu ortalamanın altındadır. Yasalarımızın arazi bölünmesine imkan vermesi nedeniyle, işletmelerin %95 den fazlasının işletme denecek büyüklükte olmadığını söylemek mümkündür. Bunun sonucu, bu küçük arazilerde geçimini sağlama imkanı bulamayan insanlar büyük şehirlere veya şehir merkezlerine göçmek zorunda kalmışlardır (1). Bu, işsizlik ve çarpık şehirleşme sonucunu getirmiştir. Üretici olan insanlar tüketici olmuş, işsizler ordusuna katılmış, iş bularlarda şehir hayatına olan uyumsuzluklar nedeniyle mutlu olamamışlardır. Üretim on yıl içinde %10 düşmüş gübre ve ilaç kullanımı azalmış, bütün bu olumsuzluklar nedeniyle 450.000 hektar alan tarım dışı kalmıştır. Bütün bu olumsuzluklara ek olarak 2007 yazında yaşanan kuraklık ürünlerin verimlerini %10-20 arasında düşürmüştür , bunun sonucu fiatlar artmış ve buğday gibi bazı ürünlerin dış alımı gerekli hale gelmiştir. Tarıma yapılan destekler ülkemizde azalırken AB ve ABD de bu destekler artmıştır. AB kırk yıldan beri yılda tarıma verdiği destek 50 milyar EURO , ABD de ise bunun üç katı kadardır.

DTÖ de anlaşmaya varılamayan tek konunun tarımsal destek konusu olması, AB ve ABD nin geri kalmış ülkelere tarıma destek verilmesini istememesi (kendileri verdiği halde) böylece geri kalmış ülkelere kendi tarımsal ürünlerini satabilmesini sağlaması da üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur. Beslenmedeki tercihlerin durmadan değişmesi, destekler, göçler, küresel ısınma ekolojik ve geniyile oynanmış ürünler gibi değişkenler nedeniyle tarımsal üretim dinamik ve sosyo ekonomik bir yapı oluşturmaktadır.

2.JEOTERMAL ENERJİNİN KULLANIMI

2.1.Sera Isıtmada Kullanılması

Sera yetiştiriciliği örtü altı yetiştiriciliğidir. Örtü olarak , ışık geçirgenliği fazla , ucuz, ısı iletim katsayısı az, antistatik , antikondens , IR katkılı olan plastik veya cam malzeme kullanılmaktadır. Çelik konstruksiyon kısmı en az gölge yapacak narinlikte korozyona dayanıklı sıcak galvanizli profiller ve alüminyum profillerden yapılmalıdır. Üstte boydan boya açılan tek veya çift sıra havalandırma pencereleri olmalıdır.

Örtü altında yetiştirilen bitkilerden arzu edilen miktar ve kalitede ürün alabilmek için bitkinin yetişmesi için gerekli konfor şartının sağlanması gerekmektedir. Konfor şartı sıcaklık, relatif nem, ışık , CO₂ ve hava hızıdır. Bu konfor şartları sağlanarak ve üretim mevsim dışına alınarak miktarı ve kalitesi yüksek ürün elde edilmektedir.

Serada üretim ülkemizde altmış yıl kadar önce başlamıştır. Örtü altı tarım yapılan alan Dünya'da 1.701.340 ha , Avrupa'da 398.090 ha , ülkemizde 53.603 ha (bunun %43 ü alçak plastik tunel) dir.

Bu alanlar ülkemizde yıllık yüzde on gibi bir artışla devam ettiği tahmin edilmektedir. Genelde üretim alanı olarak %95 i sebze, %3 kesme çiçek, %1,5 i meyve ve %5 i iç ve dış mekan bitkileridir(2). Mevcut seralarımızın çok az bir kısmı (binde 0,5 i) ısıtılmaktadır. Bunun nedeni iklim ve ürün fiyatı değişikliği, ısıtma için kullanılan yakıt fiyatının ve tesis fiyatının yüksekliğidir. Yöresine göre değişmekle birlikte yakıtla ısıtılan seralarda maliyetin girdilerinden %60 ı yakıt giderleridir. Bu nedenle jeotermal enerjinin sera ısıtmada kullanılması gündeme gelmiş ve hızla yayılan bir şekilde kullanma olanağı bulunmuştur.

Mevcut jeotermal kaynaklarımızın büyük kısmı kırsal alanlardadır. Kullanılabilen su çıkış sıcaklıklarının 40 °C, 60 °C ve 140 °C olması durumunda ise hid-

rotermal kapasiteleri 2461, 1637 ve 385 MWt dir. Yer altında depolanmış jeotermal enerjinin 31500 MWt olarak verildiği çalışmalar da vardır(3).

Şu anda ülkemizde kullanılan jeotermal enerji, elektrik üretimi için 19,5 MWt, konut ısıtılması için 253 MWt, sera ısıtılması için, 294 MWt dir.

Ülkemizde jeotermalle ısıtılan seralar Tablo 1 de verilmiştir. Bu seralarda genellikle domates, biber gibi sebze üretimi yapılmaktadır.

Düşük sıcaklıklı jeotermal suların toplam kapasitenin %65 ini oluşturması 1200 kadar kaynağın bulunması, ısıtma borularında kolaylıklar sağlanması, teşvik edilmesi gibi avantajları nedeniyle sera ısıtmada kullanılması hızla artacak-

YER	SERA ALANI DEKAR	TAHMİNİ KAPASİTE MWt
Dikili	640	112,00
Urganlı	105	18,37
Salihli	190	33,25
Gümüşköy	110	19,25
Edremit	60	10,50
Tuzla	50	8,75
Gediz	9	1,57
Afyon	20	3,50
Alaşehir	20	3,50
Urfa	60	10,50
Balçova	150	26,25
Kozaklı	30	5,25
Simav	180	31,50
Sandıklı	10	1,75
Kızıldere	15	2,63
Denizli	35	6,13
Toplam	1.684	294,70

TABLO 1. Ülkemizde jeotermal enerjinin kullanıldığı seralar



Şekil 1. Jeotermal ısıtmalı bir seranın genel görünüşü

tır. Jeotermal suların pek çoğundaki korozyon ve kireç bağlama etkisi nedeniyle ısıtıcı metal borulara (seralarda ısıtıcı yüzey olarak kullanılmaktadır) doğrudan verilememekte ve plate tipi ısı eşanjörleri kullanılmaktadır. Ancak 70 °C ve bunun altındaki sularda ısıtıcı yüzey olarak 0,2-0,9 mm kalınlığında polietilen veya polipropilen borulara jeotermal sular doğrudan verilebilmekte ve bu borularda kireç bağlama veya korozyon bir etki söz konusu olmamaktadır. Bu plastik boruların ısı iletiminin iyileştirilmesi için imalatçıların ilgisine gereksinim vardır. On yıl kadar önce jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde toprağın üretime uygun olmaması sınırlayıcı bir engeldi. Ancak topraksız tarımın uygulamaya konulması ile bu sakınca ortadan kalkmıştır ve bugün jeotermal enerji ile ısıtılan seraların tamamında topraksız tarım (toprak yeri-

ne kaya yünü , Hindistan cevizi kıyılmışı ve perlit) uygulaması yapılmaktadır (Şekil 1). Bu uygulama Hollanda , Japonya ve diğer pek çok ülkede bütün seralarda yapılmaktadır.

Şekil 1 de görüldüğü gibi ısıtmada metal boru kullanılması halinde bu borular aynı zamanda bakım ve hasat arabalarının rayı olarak kullanılmaktadır.

Seranın ısı ihtiyacı iklim koşullarına bağlı olarak çok değişik olmakla birlikte Ege Bölgesi için ve sıcaklığın en fazla -2 °C düştüğü koşullarda 175.000 W/dekar h dir.

Jeotermal enerji ile ısıtılan , topraksız tarım yapılan , bir serada maliyet yerine ve şartlarına göre 60-90 €/m² arasında değişmektedir. Karlılık bakımından geri dönüşü ürün fiyatlarına bağlı olarak 4-9 yıldır. Son beş yıldır geri dönüşü en fazla

4 yıldır ve karlı bir yatırım olduğunu söylemek mümkündür.

2.2. Ürün Kurutmada Kullanılması

Ülkemizde iklim koşullarının uygun olması nedeniyle çok çeşitli sebze , meyve ve tıbbi ve aromatik bitkiler yetiştirilmektedir. Taze olarak tüketilemeyen ürünle-

aflotoksin taşımaları gibi sakıncaları bulunmaktadır. Bu nedenle ürünlerin değeri daha kurutma aşamasında düşmekte ve ihracatta ürünlerin geri gönderilmesi gibi olaylarla sıkça karşılaşmaktadır. Kurutulmuş ürünlerde hijyen koşullarının sağlanması açık sergi yerine atmosferik koşullardan etkilenmeyen kurutma sistemlerinin kullanımı gerekmektedir. Tab-

Ürün	Sıcaklık (°C)	Ürün	Sıcaklık(°C)
Elma	74	Kayısı	71
Lahana	63	Havuç	79
İncir	71	Vişne	71-77
Üzüm	71	Soğan	88
Şeftali	66	Armut	63
Patates	66	Erik	74-77
Muz	70	Sarmısak	55
Tıbbi bitkiler	35-50	Biber	55
Kırmızı biber	35-40	Hindistan Cevizi	35-40
Fasulye	75		

Tablo2.Güvenilir Kurutma Havası Sıcaklıkları

rin dayanım süreleri çeşitli yöntemlerle uzatılmaktadır.Yaş olarak tüketilemeyen ürünler kurutulmaması nedeniyle bozulmaktadır. Ülkemizin bu nedenle olan ürün kaybı %40 lar civarındadır.Özellikle ürünlerin bol olduğu yıllarda satılmıyanlar tarlada kalmakta veya dökülmektedir. Ürünün ihtiva ettiği yüzde su miktarını belli seviyeye düşürmek suretiyle enzim ve mikrobiyolojik faaliyetlerin engelenmesi ve ürünün bozulmasını önlemek mümkündür. Bu amaçla uygulanan tekniklerden biri de kurutmadır. Ülkemizde sebze , meyve aromatik ve tıbbi bitkiler yaygın olarak güneşte kurutulmaktadır. Ancak bu yöntemde kurutma işleminin dış atmosferik etkilere açık olması ve ayrıca ürüne yabancı madde (toz , böcek atıkları ve yumurtaları vb.) karışması gibi olumsuzluklar yanında kanserojen olan

lo 2 de güvenilir kurutma havası sıcaklıkları verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi kurutma için kullanılan sıcaklıklar düşük sıcaklıklardır ve kurutma mevsiminde jeotermal sular sera ısıtmada kullanılmamaktadır.Bu bakımdan jeotermal enerjinin tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılması çok yönlü olarak önem arz etmektedir.

Kurutmada geleneksel enerji kaynaklarının kullanımı , ürün maliyetinde önemli artışlara neden olmaktadır. Enerji giderlerini açık sergi kurutmacılığı ile rekabet edebilir düzeye indirmek , ancak ürün kalitesini yükseltmek için jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılan enerjinin etkin kullanıldığı sistemleri öne çıkarmakla mümkündür. Kurutma işlemi , Türk ekonomisine hem iç pazarda hem dış pa-

zarda büyük mali kazanç sağlamaktadır. Yaklaşık yüz ülkeye yapılan kuru meyve , sebze , tıbbi ve aromatik bitkilerin miktarı 550.000 tona ulaşmaktadır. Bu bilgiler

Tablo 3de kurutulmuş meyve , Tablo 4 kurutulmuş sebze ve Tablo 5de aromatik ve tıbbi bitkiler ihracatı verilmiştir.



Şekil 2. Jeotermel enerji ile ısıtılmalı kurutma cihazı

ışığında ekonomiye olan etkileri ve kuru gıdaya olan talep göz önüne alındığında uygun kurutucu sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Şekil 2 de geliştirilmiş böyle bir prototip görülmektedir.

Üzüm	244202
İncir	54233
Fındık	49366
Şeftali	90
Kayısı	113947
Elma	1962
Dut	83
Ayva	0,5
Erik	993
Armut	163
Diğer sert kabuklu	3353
Diğer Meyveler	1058

Tablo 3. Kurutulmuş Meyve İhracatı (ton)

Tablo 4. Kurutulmuş Sebze İhracatı (ton)

Domates	16873
Patlıcan	91
Tatlı mısır tohumluk melez	7
Agaricus cinsi mantarlar	34
Havuç	0,1
Pırasa	89
Ispanak	0,1
Soğan	21
Kabak	105
Diğer sebzeler ve sebze karışımları	277
Karnabahar	11
Bamya	9
Sarımsak	7

Tablo 5. Kurutulmuş aromatik ve tıbbi bitkiler ihracatı (ton)

Kekik	11850
Defne	7100
Nane	52
Vermut otu	25
Likör otu	0,09
Kına , kına kabukları	0,689
Yabani güvey otu	0,102
Sinseng kökü	0,08
Ihlamur	154
Adaçayı	1730
Meyan kökü	392
Diğerleri	1132

2.3 Su Kültüründe Kullanılması

Deniz ürünlerinin deniz dışında havuzlarda da üretilmesi hızla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Sağlıklı beslenme bakımından her geçen gün önemi artan bu ürünlerin üretiminde ısıtma verim artışı sağlamaktadır. Balık , yavru ve balık yemi üretimi için kullanılan havuzlarda su sıcaklığının belli değerlerde tutulması (yaklaşık 25 °C-28°C) verimi en az ikiye katlamaktadır. Bu ısıtmanın özellikle kış aylarında yapılmasında jeotermal enerjiden yararlanılması ekonomik olacaktır.

2.4. Kanatlı Üretiminde Kullanılması

Beslenme bakımından sağlıklı bir ürün olarak üretimi hızla artan beyaz et üretiminde (özellikle piliç üretiminde) kümeslerin ısıtılması söz konusudur ve bu gayeyle jeotermal enerjiden yararlanılabilir.

2.5. Gıda Üretim Tesislerinde Kullanılması

Gıda üreten tesislerde yıkama , pas-

torize ve sterilize amaçlı olarak jeotermal enerji kullanılabilir.

3. SORUNLAR

“Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” TBMM de 5686 sayı ile 13.06.2007 de kabul edilmiştir. Yasa da ön görülen yönetmelik henüz yayınlanmamıştır. Yasa ve yönetmelikte bu enerjinin kullanılmasını engelleyecek hususların izlenerek kısa sürede giderilmesinde yarar vardır.

Jeotermal enerjinin sera ısıtmada ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmasını teşvik eden (belli sınırlarda % 50 si hibe olarak verilmektedir) uygulamadaki bürokratik engellerin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Sera ile ilgili olarak İmar yasasındaki caydırıcı hususların kaldırılması uygun olacaktır.

Sanayicilerimizin tarımsal teknolojiye yönelik araştırmalarına ve imalatlarına önem vermeleri konunun önünü açacaktır.

İş çevrelerinin tarımsal yatırımlara daha fazla sermaye koyması için teşvikler yeniden gözden geçirilmelidir.

SONUÇ

Nüfusun %34 ünün geçimini , tüm ülke nüfusunun yiyecek , giyecek , içecek ve sosyal ihtiyaçlarını karşılayan kırsal kesimin üretimde en önemli sorunlarından biri olan enerjinin ucuz ve kolay temini bu sektörün üretiminde kalite ve kantite bakımından gelişmeler sağlayacaktır. Bu bakımdan jeotermal enerjinin bu kesimde kullanılmasını geliştirecek araştırma, geliştirme ve teşvik etme konularında her mesleğin üzerine düşeni yapmasında büyük yarar vardır.

KAYNAKLAR

1)GÜNAYDIN, G., "6. Teknik Kongreyi Sunarken", TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası VI. Teknik Kongresi 2005

2)TİTİZ, K.S., Modern Seracılık Ansiad. Antalya 2004.

3)SATMAN, A., 'Türkiyenin Jeotermal Enerji Potansiyeli'. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Seminer Kitabı 2007. TMMOB, MMO yayın No:E/2007/437

4)KARABAĞLAR, A. 'Bazı Gıda Maddelerinin Koruma Korektenestiklerine Uygulanan Ön İşlemlerin Etkisinin Belirlenmesi'. E.Ü. Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü , Diploma Projesi , İzmir 2005.

ÖZGEÇMİŞ

1937 Çorum-Harzadın doğumludur. 1957 yılında A.Ü.Z.F.Z Makinaları Bölümünü bitirmiş, 1962 de doktor 1967 de doçent 1972 de profesör olmuştur.1974-1976 de T.Z. Donatım Kurumu Genel Müdürlüğü, 1976-1979 da E.Ü. Makina Fakültesi Dekanlığı yapmış ve 1984 yılında emekli olmuş ve o yıldan beri kendi kurduğu şirkette çalışmaktadır.

VLF-ELEKTROMANYETİK YÖNTEMİN JEOTERMAL ALAN ARAŞTIRMALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİ: DEMİRCİ ÖRNEĞİ

Mine DOĞAN,

Gülçin ÖZÜRLAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi,

Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Ülkemiz jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengin olmakla birlikte halen bu kaynaklardan yapılan üretim, enerji ihtiyacımızı karşılamaktan uzaktır. Gelişme ve kalkınma çabası içinde olan ülkemiz için mevcut kaynakların en iyi biçimde değerlendirilmesi, korunması ve yeni kaynakların bulunması büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji niteliği ile kalkınmada önemli rol oynama potansiyeline sahip jeotermal kaynakların araştırılması için jeoloji, jeofizik ve jeokimya disiplinlerinin sonuçlarının ortaklaşa değerlendirilmesi kapsam ve maliyet açısından büyük önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, genel olarak sığ bölgelerde bulunan cevher zonları ve yeraltı suyu kirliliği araştırmalarında kullanılan Çok Alçak Frekans Elektromanyetik (VLF-Elektromanyetik) Yöntemin hızlı ve düşük maliyetli biçimde sığ jeotermal alan araştırmalarında kullanılabileceği ortaya konmaktadır. Jeotermal alanların oluşumunda önemli rol oynayan ana fay sistemleri ve alterasyon zonları ile sıcak akışkan taşıyan kırık-çatlak bölgeleri, derin yapıların araştırılması için uygulanan temel jeofizik yöntemlerden biri olmamasına rağmen VLF-Elektromanyetik yöntem ile haritalanabilmekte ve bu unsurların izleri veya etkileri belirlenebilmektedir. İki boyutlu modelleme ile elde edilen sonuçlar ile ölçülen veriler ve bu verilerin süzgeçlenmesi ile hazırlanan kesitler uyumlu sonuçlar göstermektedir.

1 GİRİŞ

Ülkemiz, jeotermal alanlar bakımından oldukça zengin olmasına rağmen bu alanlardan enerji dönüşümü açısından benzer kaynaklara sahip ülkelere kıyasla son derece geri düzeydedir.

Jeotermal alanların aranması ve araştırılması amacıyla jeofizik yöntemler uzun yıllardır tüm dünyada başarı ile uygulanmaktadır. Jeotermal alanlarda yapılan araştırmalarda amaç, sondaj öncesinde jeotermal sisteme ait mümkün olabildiğince çok bilgiye sahip olmaktır. Bu nedenle, jeofizik yöntemlerin sonuçlarının kendi içinde ilişkilendirilerek değerlendirilmesinin yanısıra jeofizik, jeoloji ve jeokimya araştırmalarının sonuçları ile entegrasyonu kompleks özelliklere sahip jeotermal alanların özelliklerinin ortaya çıkarılmasında önemli bir yer tutmaktadır.

Yerkabuğunun sığ bölgelerindeki yanal öz direnç/iletkenlik değişim ve dağılımlarının haritalanması amacıyla kullanılan VLF-Elektromanyetik yöntem literatürde çok sayıda örneğine rastlanacağı gibi çeşitli problemlerin çözümünde uygulama alanı bulmuştur (McNeill ve Labson, 1990). Genel olarak büyük derinliklerde bulunan jeotermal alan araştırmalarında kullanım alanı bulamamış olmasına rağmen son yıllarda jeotermal alan araştırmalarında (Lagios ve Apostolopoulos, 1995; Şahin, 2002; Özürkan ve Şahin, 2006; Drahor ve Berge, 2006, Baranwal ve Sharma, 2006) ve volkanlarda hidrotermal aktivitenin araştırılmasında (Zlotnicki ve diğ., 2006) uygulanmıştır.

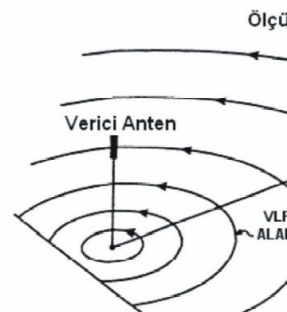
Jeotermal alanlarda rezervuar ve ortamın jeolojik yapısının ortaya çıkarılmasında elektrik ve elektromanyetik yöntemler doğrudan sıcak akışkanın var-

lığı nedeniyle oluşan elektrik öz direnç/iletkenlik değişim ve dağılımının belirlenmesine olanak sağladığından bu tür araştırmalarda kullanılan temel jeofizik yöntemlerdir.

2 YÖNTEM

VLF-Elektromanyetik yöntem, kaynak alan olarak tüm dünyada yayın yapan radyo istasyonlarını kullandığından, ölçümler sırasında sadece alıcı cihaza gereksinim duyulmaktadır. Bu durum VLF-Elektromanyetik yöntemin son derece düşük maliyetli ve hızlı bir yöntem olmasını sağlamaktadır. Fizik esasları nedeniyle özellikle iletken yapılara duyarlı olan VLF-Elektromanyetik yöntem, sığ, iletken, yanal yönlü süreksizliklerin (fay, dayk, cevher damarı gibi) belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Verici istasyondan yayınlanan elektromanyetik sinyal, yerinde düşük öz dirençli bir ortamdan geçerken ikincil manyetik alanlar indüklemekte ve yöntemde kaynak alan ile bu ikincil alan arasındaki oranın gerçel ve sanal bileşenleri ölçülmektedir (Şekil 1). Ayrıca ortamdaki toplam manyetik alan şiddeti ve polarizasyon elipsinin eğim açısı da ölçülebilmektedir.



Şekil 1 : VLF anteni ve oluşturduğu birincil alanın şematik gösterimi (Reynolds (1997)'den değiştirilerek alınmıştır).

Halen kullanımda bulunan iki farklı cihaz türünden Scintrex, Envi VLF aynı anda üç farklı frekans için ölçüm yapabilmektedir. Böylece bir noktada ölçülen veri sayısı onikiye çıkmaktadır. Bu durum yöntemin değerlendirilmesi aşamasında çok büyük veri setleriyle çalışılması zorunluluğunu doğurmaktadır.

Ölçülen verilerden özellikle birincil alanın ikincil alana oranının gerçel bileşeni (in phase, IP), ortamdaki özdirenç değişim ve dağılımına doğrudan bağımlı olduğundan, değerlendirme aşamasında etkin olarak kullanılmaktadır. VLF-Elektromanyetik yöntem verilerinin değerlendirilmesi çoğunlukla kalitatif olarak yapılmakta ve çizilen grafik ve kontur haritalarıyla iletken yapının yeri ve sınırları belirlenebilmektedir. Yöntemin kantitatif değerlendirmesi aşamasında ise çeşitli sayısal süzgeçler kullanılmaktadır (Fraser, 1969; Karous ve Hjelt, 1983; Chouteau, 1996). Bu süzgeçler, ortamdaki iletken yapının derinlik ve yönelimini, ortamdaki akım yoğunluğu ve göreceli özdirenç dağılımını yaklaşımsal olarak belirlemeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak iki ve üç boyutlu modelleme ve ters çözüm çalışmaları da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

2.1 VLF-Elektromanyetik Yöntem ile Sığ Jeotermal Alan Unsurlarının Modellenmesi

VLF-Elektromanyetik yöntem, kaynak alan frekansı bakımından sığ araştırmalara uygun olmakla birlikte, sığ ve orta derinlikteki jeotermal alanların araştırılmasında dolaylı olarak kullanılabilir. Bir jeotermal alan araştırmasında VLF-Elektromanyetik yöntem ile ortaya çıkarılması planlanan hedefler şunlardır:

(1) jeotermal alanı sınırlayan veya sıcak akışkanın yukarıya taşınmasını sağlayan kırık ve çatlak zonlarının belirlenmesi, (2) sıcaklığın veya kayaç içerisinde dolaşım halindeki sıcak akışkanın varlığı nedeniyle oluşan özdirenç/iletkenlik değişim ve dağılımının haritalanması, (3) geçirgen ve gözenekli jeotermal rezervuarın ortaya çıkarılması.

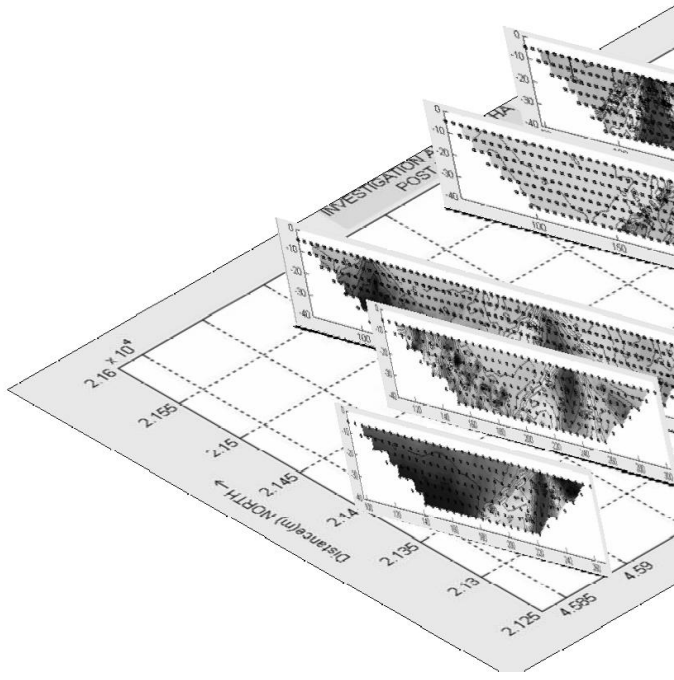
Ülkemizde, sağlık turizmi amacıyla kullanılan ve sıcaklıkları 30-50 °C civarında olan jeotermal alanların yanısıra 300-2000 metrelere varan kuyu derinlikleriyle enerji üretimi amacıyla kullanılan ve sıcaklıkları 100 °C'yi aşan jeotermal alanlar bulunmaktadır.

Sığ jeotermal alanlardan olan Manisa-Demirci sahası için kuyu derinlikleri ve su sıcaklıkları tabloda verildiği gibidir (Tablo 1). Tablodan anlaşıldığı gibi bölgede sıcak akışkanın dolaşım derinliği 100 metreye kadar ulaşmaktadır.

Tablo 1: Manisa-Demirci jeotermal alanındaki kuyu derinlikleri ve sıcaklıkları.

KUYU NO	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)
1	42	112
2	38	116
3	38	272
4	30	300

Manisa-Demirci jeotermal alanında sıcak akışkanın derinliği VLF-Elektromanyetik yöntemin nüfuz edileceği derinliklerde olduğundan, yöntem doğrudan jeotermal rezervuarın sınırlarının belirlenmesine yönelik olarak uygulanmıştır. VLF-Elektromanyetik yöntem verilerinin sayısal süzgeçlerle işlenmesi sonucu elde edilen derinlik kesitleri Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2: Manisa Demirci jeotermal alanında ölçülen VLF-Elektromanyetik yöntem anomalilerinden süzgeçleme ile elde edilen derinlik kesitleri (ölçüm alanı 400x500 metre boyutlarında ve kesitlerin derinliği 35 metredir).

Kesitler gerçel bileşen (IP) verilerine Fraser süzgeci uygulanarak elde edilmiştir. Sahada jeotermal alanı sınırlayan Demirci kırığı ve kaplıca alanında sıcak akışkanın neden olduğu düşük öz dirençli zon (koyu renk) açıkça izlenebilmektedir.

Jeotermal rezervuarın VLF-Elektromanyetik yöntemin araştırma derinliğinden daha derinlerde oluşması durumunda, yöntemin hedef yaklaşımı değişmektedir. Bilindiği gibi, jeotermal alanlarda, ortamın jeolojik yapısının yanı sıra çeşitli jeokimyasal süreçler önemli rol oynamaktadır. Özellikle yer kabuğunun görece sığ kesimlerindeki hidrotermal alterasyonlar jeotermal kaynağın belirlenmesinde önemli ipuçları vermektedir. Bir jeotermal alanda hidrotermal alterasyonun miktarı ve özelliği; sıcaklık, porozite, ortamdaki kayaç türü, jeotermal akışkanın bileşimi, toplam basınç ve reaksiyon zamanına bağlı olarak değişmektedir. Alterasyon sonucunda killeşme, pirit-

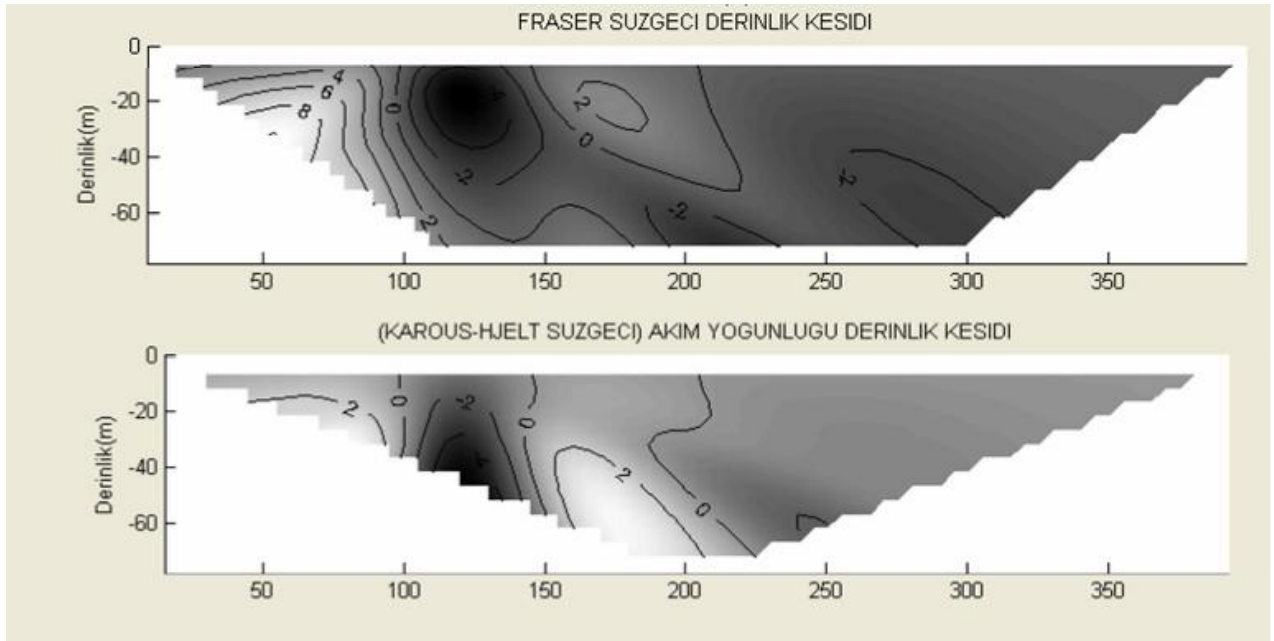
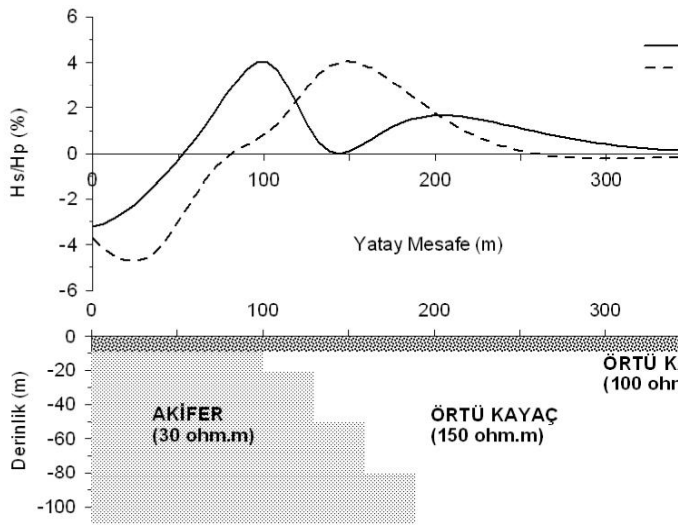
leşme gibi mineralojik değişimler gözlenmektedir. Bu tür değişimlerin büyük çoğunluğu kuşakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu çalışma için seçilen VLF-Elektromanyetik yöntem pek çok sahada dolaylı bir yöntem olarak alterasyon kuşakları, jeolojik birim sınırları ve kırıkların yerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bir jeotermal alandaki unsurları modellemek amacıyla VLF-Elektromanyetik yöntem anomalileri hesaplanmıştır. Bu yapı modelleri; (1) jeolojik birim sınırı, (2) kırık, çatlak ve hidrotermal alterasyon zonedir. Bu çalışmaya konu olan yapı modellerinden ilkinde, akifer ve örtü kayaç arasındaki jeolojik birim sınırı ele alınmıştır. Akifer yapısının yüksek elektrik iletkenliği ile örtü kayacın görece daha düşük elektrik iletkenliği arasındaki kontrast sonucu yüzeyde elde edilebilecek karakteristik VLF-Elektromanyetik eğrisi Şekil

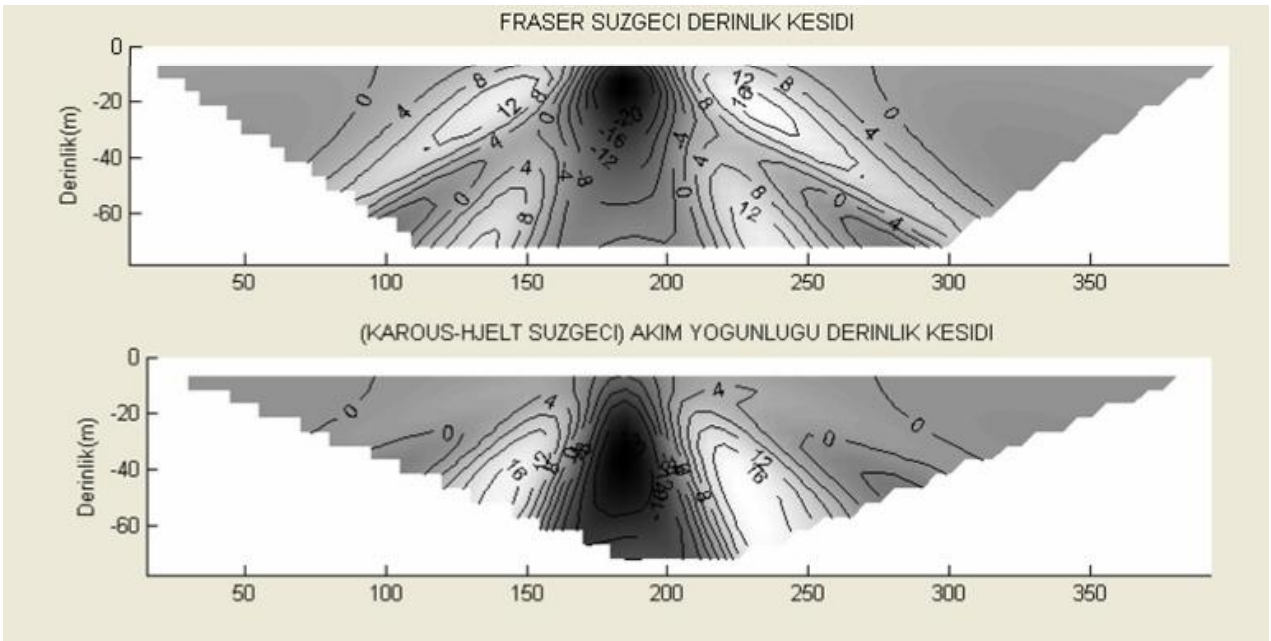
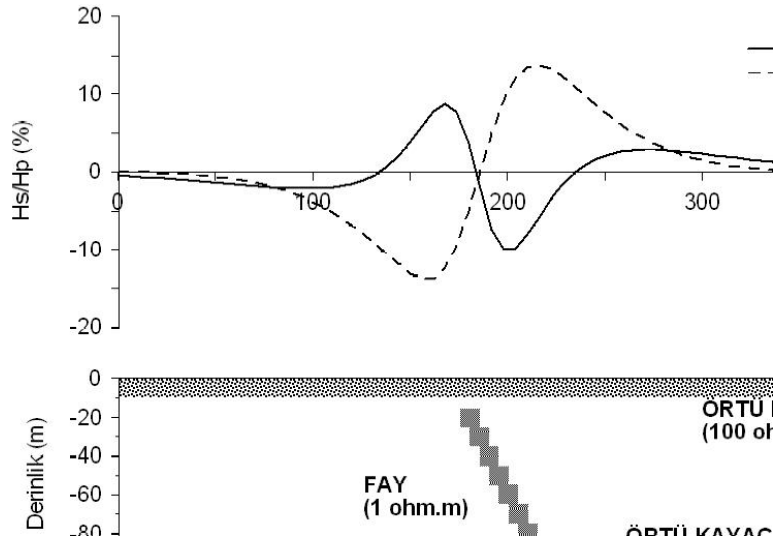
3'de görülmektedir. Şekilde anomali ve kullanılan yapı modelinin yanı sıra VLF-Elektromanyetik yöntem verilerine yaygın olarak uygulanan iki sayısal süzgeç kullanılarak hesaplanan iki derinlik kesidi görülmektedir. Bu kesitlerden ilki (c) yatay yöndeki değişimlerin derinlikle ilişkisini ortaya koymaktadır, ikinci ise (d) ampirik bir yaklaşımla ortamdaki eşdeğer akım yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Jeolojik birimler arasındaki yanal değişim ve eğimli yapı,

gerek VLF-Elektromanyetik anomalisinde (a) gerekse süzgeçler ile oluşturulan derinlik kesitlerinde (c ve d) net olarak izlenmektedir.

İkinci yapı modeli olarak seçilen eğimli fay, pek çok yöntem için sıklıkla hesaplanan ve jeotermal alanlarda karşılaşılan yapı modellerinden biridir. Şekil 4'de örtü kayaç içinde gelişmiş elektrik iletkenliği yüksek bir fay üzerinde ölçülebilecek VLF-Elektromanyetik yöntem anomalisi görülmektedir. Bir jeotermal alanda ge-



Şekil 3: Bir jeolojik birim sınırı üzerinde ölçülebilecek VLF-Elektromanyetik yöntem anomalisi (a), jeolojik model (b), Fraser süzgeci ile elde edilen derinlik kesidi (c), Karous-Hjelt süzgeci ile elde edilen eşdeğer akım yoğunluğu derinlik kesidi (d).



Şekil 4: Bir eğimli fay üzerinde ölçülebilecek VLF-Elektromanyetik yöntem anomalisi (a), jeolojik model (b), Fraser süzgeci ile elde edilen derinlik kesidi (c), Karous-Hjelt süzgeci ile elde edilen eşdeğer akım yoğunluğu derinlik kesidi (d).

lişebilecek fay türünü karakterize eden bu yapı, sıcak alanı sınırlayan veya sıcak akışkanı yukarılara taşıyan bir kırığı temsil etmektedir. Sıcak akışkanın yüzeye çıkmadığı ancak ortamdaki ısı ve su buharı nedeniyle altere olmuş bir kırık yüzeyini temsilen de kullanılabilir yapı modelinde kırığın genişliği 10 metre olarak seçilmiştir. Anomali ve kesitlerde kırığın eğimli yapısı açıkça izlenebilmektedir.

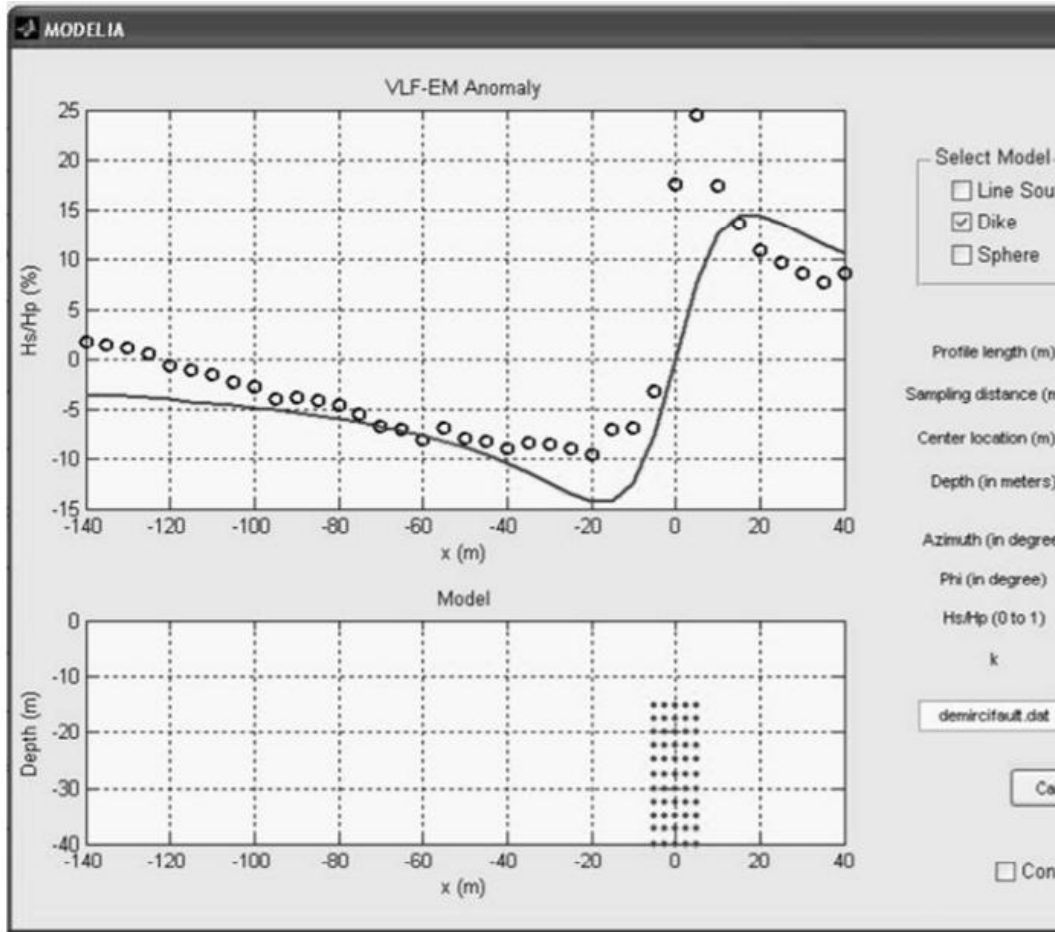
Yukarıda verilen sığ jeotermal alan unsurları ile ilgili model yapılar için kuramsal eğriler, iki boyutlu modelleme yazılımı VLFMOD (Edsen ve Nissen, 1997) kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak daha önce sözü edildiği gibi VLF-Elektromanyetik yöntem doğası gereği büyük veri setleri ile çalışmayı zorunlu kılan son derece hızlı bir yöntemdir. İki boyutlu modelleme çalışmaları çoğu zaman yüksek kapasiteli bilgisayarlar ve hesaplamalar için fazlaca

zamana gereksinim duyduğundan yöntemin doğasına uygun olarak hızlı bir biçimde verilerin işlenmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Böylece yapılan ölçümlerin anında izlenebilmesi ve ölçü planında gerekli değişikliklerin yapılabilmesi de mümkün olabilmektedir. Bu amaçla, interaktif arayüzü aracılığıyla kullanıcının veri setine ve veri işlem aşamalarına doğrudan müdahale edebilmesini mümkün kılan VLFINTERP yazılımı (Doğan, 2007) geliştirilmiştir. Yazılım, aynı anda üç farklı frekans için ölçülen verilerin kalitatif değerlendirilmesine yönelik grafik, kontur ve kat haritalarının yanısıra kantitatif değerlendirme için yaygın olarak kullanılan sayısal süzgeçleri ve derinlik kesitlerini içermektedir. Değerlendirme amaçlı bu süzgeçlerin yanısıra verilerdeki çevresel

etkileri yok edebilmek amacıyla iki farklı sayısal süzgeçle çalışmaya da imkan vermektedir.

VLFINTERP yazılımı, vericilerin ve çalışma alanının lokasyonlarını ve birbirlerine göre durumlarını görebilmeyi sağlayan bir modül ile bir de modelleme modülünü içermektedir. Bu modül basit yaklaşımlarla (Fraser, 1969) küre, dayk ve çizgisel kaynak için VLF-Elektromanyetik model eğrilerinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada konu edilen jeotermal alanlarda sıklıkla rastlanan yapı modeli olan kırık zonları bir iletken düşey sokulum modeliyle karakterize edilebilmektedir. Bu amaçla VLFINTERP yazılımının modelleme modülü kullanılarak he-



Şekil 5: VLFINTERP yazılımının modelleme işleci ile hesaplanmış VLF-Elektromanyetik yöntem kuramsal (düz çizgi) ve ölçülen (içi boş daireler) eğriler (üstte) ile yapı modeli (altta).

saplanmış bir model eğri (düz çizgi) ile Manisa-Demirci sahasında ölçülmüş bir saha verisi (içi boş daireler) Şekil 5'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, sığ bir jeotermal alanda görülebilecek iki farklı yapı modeli için VLF-Elektromanyetik yöntem kuramsal eğrileri hesaplanmış ve incelenmiştir. VLF-Elektromanyetik yöntemin maliyet ve zaman açısından sahip olduğu avantajlar kullanılarak bir jeotermal alanın aydınlatılmasına yönelik çalışmalarda ön araştırma ve hedef bölge seçimi amacıyla kullanımının yüksek doğrulukla sonuçlara ulaşılmasına olanak sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca yöntemin bu biçimdeki kullanımının jeotermal sahaların araştırılmasında sıklıkla ihtiyaç duyulan yüksek maliyetli ve zaman alıcı ayrıntılı elektrik ve elektromanyetik prospeksiyon çalışmalarının doğru yönlendirilmesine katkı koyabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Baranwal, V. C., Sharma, S. P., 2006. Integrated geophysical studies in the East-Indian geothermal province, *Pure and Applied Geophysics*, 163, 209-227.

Chouteau, M., Zhang, P. ve Chapellier, D., 1996. Computation of apparent resistivity profiles from VLF-EM data using linear filtering, *Geophysical Prospecting*, 44, 215-232.

Doğan, M., 2007. Çok Alçak Frekans Elektromanyetik Yöntem İnteraktif Veri İşleme ve Değerlendirme Programı; VLFINTERP, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90 sayfa.

Drahor, M. G., Berge, M. A., 2006.

Geophysical investigations of the Seferihisar geothermal area, Western Anatolia, Turkey, *Geothermics*, 35, 302-320.

Edsen, N. A., Nissen, J., 1997. VLFMOD, a free forward modelling software package, <http://home1.swipnet.se/~w-11019/ABEM-ftp/>.

Fraser, D. C., 1969. Contouring VLF-EM data, *Geophysics*, 34, 958-967.

Karous, M., Hjelt, S. E., 1983. Linear filtering of VLF Dip-Angle measurements, *Geophysical Prospecting*, 31, 782-794.

Lagios, E., Apostolopoulos, G., 1995. Integrated geophysical study of the geothermal system in the southern part of Nisyros island, Greece, *Journal of Applied Geophysics*, 34, 55-61.

McNeill, J. D., 1990. Use of electromagnetic methods for groundwater studies. In: S.H. Ward (ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics*, SEG, 1, 191-218.

Özürlan, G., Şahin, M. H., 2006. Integrated geophysical investigations in the Hisar geothermal field, Demirci, western Turkey, *Geothermics*, 35, 110-122.

Reynolds, J. M., 1997. An introduction to applied and Environmental Geophysics, John Wiley & Sons, New York.

Şahin, H., 2002. Aydın-Germencik sahası jeotermal enerji aramaları jeofizik-öz direnç etüdü raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 93 sayfa.

Zlotnicki, J., Vargemezis, G., Mille, A. ve diğ., 2006. State of the hydrothermal activity of Soufriere of Guadeloupe volcano inferred by VLF surveys, *Applied Geophysics*, 58, 265-279.

RADYOJENİK ISI ÜRETİMİNİN YÜZEY ISI AKISINA KATKISI: KUZEY BATI ANADOLU ÖRNEĞİ

Nurdan SAYIN

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak. Jeofizik Müh. Böl. İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada karmaşık tektonik özelliklere sahip Kuzey Batı Anadolu Bölgesi örneklerinden ölçülmüş Uranium Toryum ve Potasyum değerleri kullanılarak radyojenik ısı üretimi değerleri hesaplanmıştır. Yüzeğe yakın kuyulardan ölçülen ısı akısı değerlerine bu radyoaktif elementlerin de katkı yaptığı bilinmektedir. Bu çalışmada Kuzey batı Anadolu'da radyojenik ısı üretimi değerlerinin kabuksal ısı akısı değerlerine katkısının ne oranlarda olduğu araştırılmıştır.

1.GİRİŞ

Sıcaklık, kayaların mekanik özelliklerini etkileme yoluyla litosferik deformasyonun şekillenmesinde önemli bir yol oynar. Kıtasal kabuktaki sıcaklık dağılımı başlıca iki faktöre bağlıdır. Bunlar, yerin derinliklerinden yüzeye yayılan ısı ve kabukta bulunan radyoaktif elementlerin bozunması sonucu etrafa yaydıkları ısı olarak bilinir. Radyojenik ısı olarak adlandırılan, yerin üst kabuğunda bulunan Uranyum, Toryum ve Potasyum'un oluşturduğu ısı kaynakları, kıtasal bölgelerde yüzey ısı akısına %40 'a varan oranlarda katkı yapabilmektedir. Bu da radyojenik ısıyı kabuk sıcaklık dağılımını saptamada önemli bir eleman haline getirir. Bu çalışmada Kuzey Batı Anadolu bölgesinde ölçülmüş olan U, Th ve K değerlerinden hesaplanan radyojenik ısı üretiminin, yine bölgede ölçülmüş yüksek ısı akısı değerlerine katkısının ne oranda olduğu irdelenmiş ve bu bölgede 70 mWm^{-2} ile 125 mWm^{-2} arasında değişen ısı akısı değerlerinin elde edilmesinde radyojenik ısının da katkısının olduğu sonucuna varılmıştır.

2. KUZEYBATI ANADOLU'NUN JEOLJİSİ

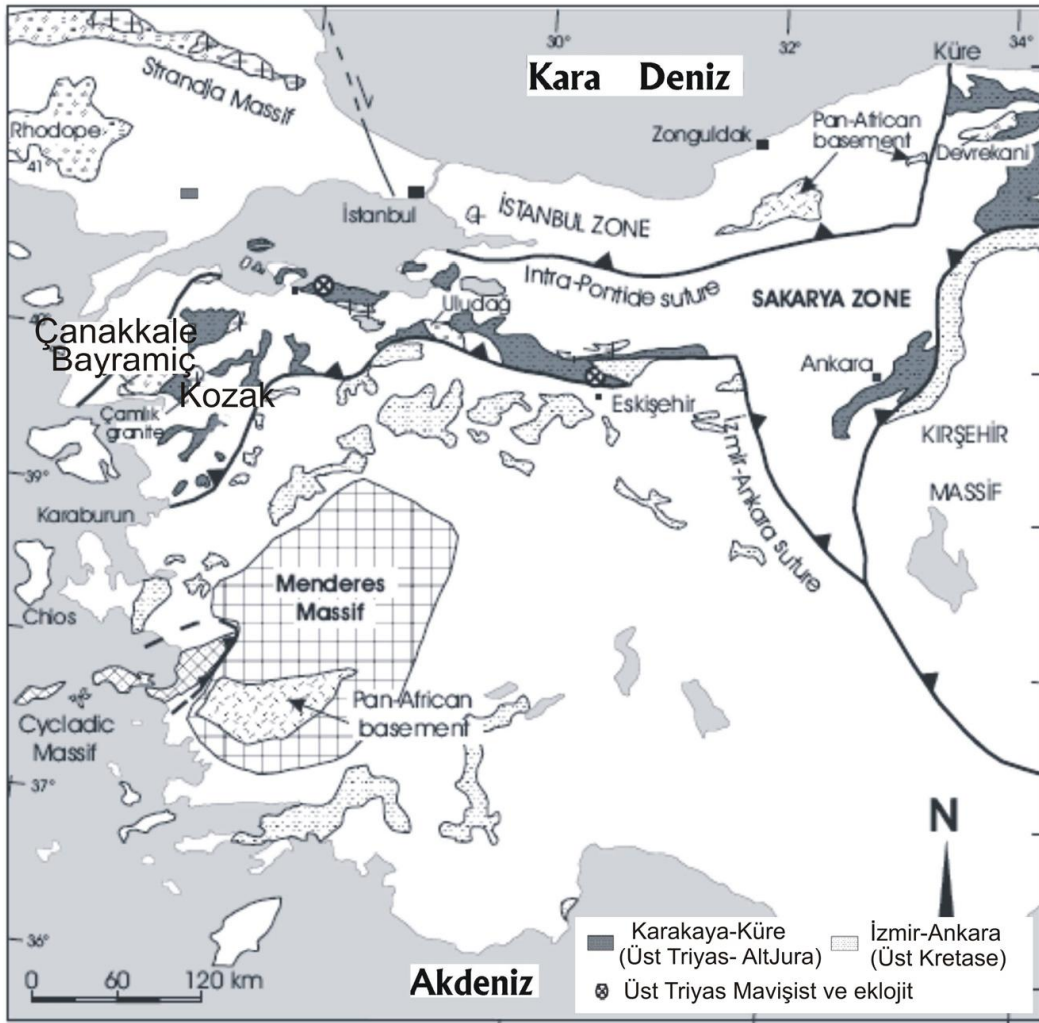
Kuzeybatı Anadolu'nun tektonik gelişimi, Afrika ve Arap levhasının Avrasya levhasıyla çarpışması sonucunda oluşmuştur. Anadolu ve Arap levhasında meydana gelen çarpışma, doğu Türkiye'nin kısalması ve yükselmesi ve astenosfer üzerinde yüzen kıtasal bir parça gibi davranan Anadolu'nun da batıya doğru itilmesinin başlıca sebebi olarak gösterilmektedir.

Kuzey Anadolu Fay'ı boyunca olan D-B yönlü sağ yanal doğrultu atımlı hareketin etkisi aslındaki Anadolu levhasının Avrasya levhasının etkisi altındaki hareketi, batı yönlüden güneybatı yönlüye değiştirirken, doğu ve orta kısımları boyunca olan doğrultu atımın ve batı kısımlarda sağ yanal ve genişlemeli mekanizmaların birleşiminden oluşan deformasyonuna neden olmuştur. Bu da sağ yanal trans-tensional tektonik rejimle birlikte, Kuzeybatı Anadolu'da KD-GB yönlü, doğrultu atımlı faylarla ilintili, küçük çek ayır havzaların oluşmasına sebep olmuştur.

Kuzeybatı Anadolu'daki granit soku-lumlar devir ve petrolojideki benzerliklerine göre 3 sınıfa ayrılır (Bingöl ve diğ. 1982). Bu üç grup, kuzeyden güneye doğru aşağıdaki gibidir,

- Paleozoik- Kretase granitleri Kuzey Anadolu Fay hattının kuzeyinde bulunmaktadır.
- Pre-Liassic(?) granitleri Kuzey Anadolu Fay hattı ve Eskişehir-Bursa-Edremit hattı arasında bulunmaktadır.
- Miyosen granitleri Eskişehir-Bursa-Edremit hattının güneyinde bulunmaktadır.

Bingöl ve diğ. (1982) K_2O bolluğu/ fazlalığının kuzeyden güneye doğru arttığını önermiştir. Bu yüzden granitleri K_2O içeriğine göre üç gruba ayırmak mümkündür. Paleozoik başkalaşan veya başkalaşmayan kayaların grubunda sayılan Kozak grandiyoritleri üçüncü gruba dahil edilmektedir.



Şekil 1, Batı Anadolu tektonik haritası (Okay ve diğ. 2004 ve Duru ve diğ. 2005'den değiştirilerek alınmıştır).

3. YÖNTEM

Yeryüzeyinde ya da sığ derinliklerde ölçülmüş olan ısı akısı değerlerine iki ana faktörün etki ettiği bilinmektedir, bunlar üst kabukta yoğun olarak bulunan U, Th ve K gibi radyoaktif elementlerin oluşturduğu ısı üretimi ve astenosferden yüze doğru yayılan ısıdır. Isı akısının bu iki bileşenin ayrımının yapılabilmesi, ısı akısı ve ısı üretimi arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğunun belirlenmesi ile mümkün olmuştur (Birch, 1968, Roy ve diğ. 1971). Bu doğrusal ilişki,

$$Q=Q_0+Ab \quad (1)$$

şeklinindedir. Burada Q , yüzey ısı akısı, Q_0 kesme değeri, kalınlığı b ile ilişkili olan radyojenik ısı üretiminin yoğun olduğu üst kabuğun altında kalan tabakalardan yayılan ısı (indirgenmiş ısı olarak da bilinir), A plütonik kayalardaki radyoaktif elementlerin oluşturduğu radyojenik ısı üretimidir. Fountain ve diğ. (1987), bu ilişkinin karmaşık heterojen kabuk modeli için de geçerli olduğunu ve doğru sonuçlar verdiğini, farklı birkaç bölgeye ait örnekler üzerinde ortaya koymuştur.

A , radyojenik ısı üretimi değerleri Ryback (1988)'de verilen deneysel bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağıntı,

$$A = \rho(9.52C_U + 2.56 C_{Th} + 3.48C_K) \times 10^5 \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada A radyojenik ısı üretiminin birimi $\mu\text{W}/\text{m}^3$ olup, ρ yoğunluğu (kg/m^3), C_U ve C_{Th} (ppm biriminde) Uranyum ve Toryum konsantrasyonlarını ve C_K (yüzde ağırlık olarak) Potasyum konsantrasyonunu gösterir. Yoğunluk $2700 \text{ kg}/\text{m}^3$ olarak alınmıştır.

4. BATI ANADOLU ISI AKISI VERİLERİ

Batı Anadolu'da ısı akısı ölçümlerini içeren çalışmalar arasında 1991 yılında yayınlanan Tezcan ve Turgay'ın çalışmasını sayabiliriz. Bu çalışmada verilen harita

(Şekil 2), kuyulardan elde edilen sıcaklık gradyanlarının, $2.1 \text{ W}/\text{mK}$ ' lik sabit ısı iletkenlik katsayısı ile çarpılması ile elde edilmiştir.

Isı akısını klasik olarak sıcaklık gradyanları ve ısı iletkenlik katsayıları ile çarparak elde etme yöntemi dışında, başka bir yolu da, jeotermal kaynak sularının Na, Si gibi kimyasal içeriklerine bakarak hazne kaya sıcaklığını hesaplamak şeklindedir. Batı Anadolu jeotermal kaynaklarının Si içeriklerinden elde edilen ısı akısı çalışması ise Batı Anadolu için İlkışık, 1995 tarafından yapılmıştır ve Şekil 3'de görülmektedir.

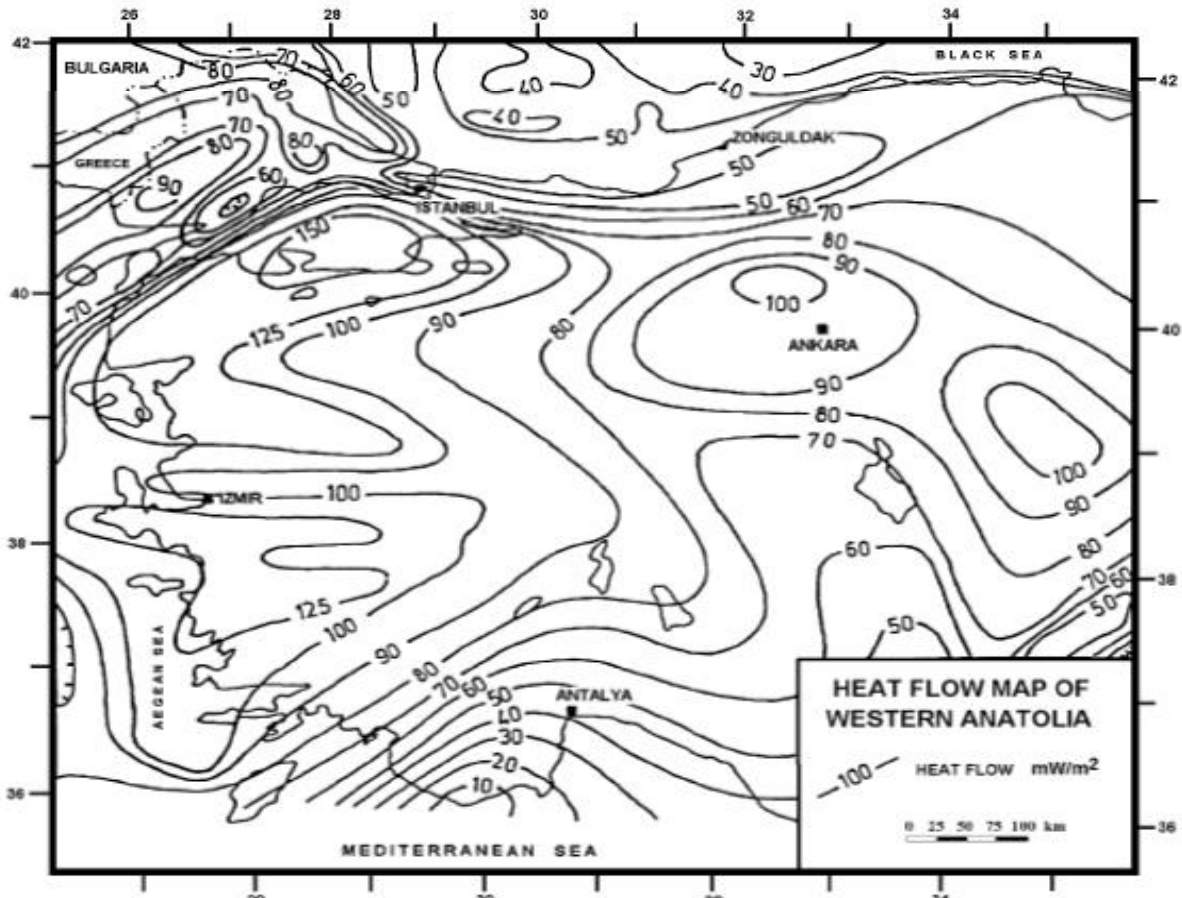
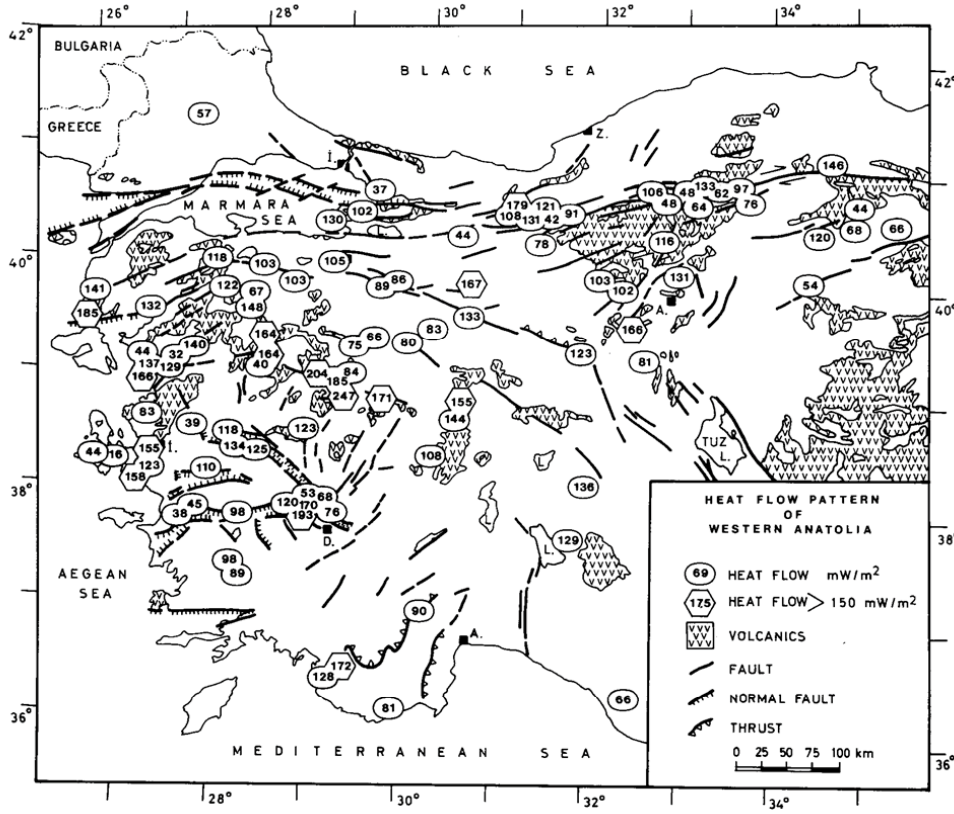


FIG. 2. Heat flow map of western Anatolia (from Tezcan and Turgay, 1991), calculated using geothermal gradients in exploration wells and assuming a constant thermal conductivity ($k = 2.1 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

Şekil 2 Batı Anadolu Isı Akısı Haritası (Tezcan ve Turgay 1991).



Şekil 3 Batı Anadolu Silika jeotermometresi yöntemi ile elde edilen ısı akısı haritası (İlkışık, 1995)

Her iki harita da Batı Anadolu için ısı akısı değerlerinin oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Marmara Bölgesinde yüksek duyarlılıklı ısı akısı ölçüleri sonucu ısı akısı değerlerinin 35 -115 mW/m² arasında değiştiğini ve çalışma bölgesine yakın alanlar için, Gönen'de 130 mW/m² Bandırma'da 51 mW/m², Biga'da 54 mW/m² ve İnkaya'da 95 mW/m² olduğunu ortaya koymuştur (Pfister ve diğ., 1995)

5. RADYOJENİK ISI ÜRETİMİ

Bu çalışmada kullanılan Uranium Toryum ve Potasyum değerleri bölgede yer alan kayalarından yapılan jeokimyasal analiz çalışmalarından derlenmiştir. Bu amaçla Çanakkale bölgesi Aldanmaz ve diğ. 2006'dan Tablo 1, Bayramiç bölgesi Genç, 1998 Tablo 2 ve Kozak bölgesi Akal ve Helvacı 1999 Tablo 3

Ur, Th ve K değerlerinden yararlanılmıştır.

Tablo 2. Bayramiç Bölgesi Uranyum, Toryum ve potasyum içerikleri ve A radyojenik ısı üretimi değerleri (Genç, 1998'den alınmıştır).

	TE-4 B	TE-14 B	TE-41 B	TE-19 LVA	TE-13 UVA	TE-43 UVA	TE-19 LVA
K ₂ O	1,61	1,56	1,57	2,95	3,36	2,71	2,95
U	1,09	2,65	1,29	4,86	5,22	6,61	4,86
Th	3,9	8,53	4,66	16,28	27,1	34,81	16,28
K	1,3363	1,2948	1,3031	2,4485	2,7888	2,2493	2,4485
A	0,6753	1,3924	0,7761	2,6045	3,4769	4,3164	2,6045

Tablo 1 Çanakale Bölgesi Uranyum, Toryum ve potasyum içerikleri ve A radyojenik ısı üretimi değerleri (Aldanmaz ve diğ. 2006'dan alınmıştır).

Lokasyon Örnek no Kaya tipi	C.kale EA531		C.kale EA534		C.kale EA528		C.kale EA259		C.kale EA260		C.kale EA242		C.kale EA264	
	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas
K ₂ O	1,58	1,55	1,23	1,46	1,42	1,57	1,68	1,44						
U	3,2	2,6	3,11	2,98	2,32	1,98	1,87	1,2						
Th	8,16	7,93	8,01	7,56	7,22	4,72	4,42	4,27						
K	1,3114	1,2865	1,0209	1,2118	1,1786	1,3031	1,3944	1,1952						
A	1,509766	1,337305	1,448969	1,402387	1,20612	0,957625	0,917193	0,715891						

Lokasyon Örnek no Kaya tipi	C.kale EA252		C.kale EA533		C.kale EA528		C.kale EA254		C.kale EA527		C.kale EA529		C.kale EA415		C.kale EA262	
	Alk-Bas	Basanite	Basanite	Basanite	Alk-Bas	Basanite	Alk-Bas	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas
K ₂ O	1,52	1,58	1,62	1,57	1,58	1,48	1,51	1,62	1,51	1,67	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
U	2,23	1,7	1,9	1,9	1,8	1,5	1,13	1,61	1,98	1,61	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
Th	5,53	5,29	5,25	5,24	5,11	5,18	5,01	4,77	4,83	4,77	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83
K	1,2616	1,3114	1,3446	1,3031	1,3114	1,2284	1,2533	1,3861	1,3446	1,3861	1,3446	1,3446	1,3446	1,3446	1,3446	1,3446
A	1,073973	0,925832	0,977595	0,973004	0,939094	0,859022	0,754506	0,873775	0,969127	0,873775	0,969127	0,969127	0,969127	0,969127	0,969127	0,969127

Lokasyon Örnek no Kaya tipi	C.kale EA247		C.kale EA525		C.kale EA523		C.kale EA524		C.kale EA255		C.kale EA532		C.kale EA249		C.kale EA530	
	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas	Alk-Bas
K ₂ O	1,61	1,57	1,59	1,65	1,64	1,59	1,63	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
U	1,67	1,4	1,2	1,6	1,32	0,9	1,1	1,25	0,9	1,25	0,9	1,25	0,9	1,25	0,9	1,25
Th	3,95	3,91	3,83	3,71	2,88	2,69	2,53	2,65	2,75	2,65	2,75	2,65	2,75	2,65	2,75	2,75
K	1,3363	1,3031	1,3197	1,3695	1,3612	1,3197	1,3529	1,3446	1,2948	1,3446	1,2948	1,3446	1,2948	1,3446	1,2948	1,2948
A	0,82784	0,752554	0,697177	0,796377	0,666257	0,541268	0,584736	0,630807	0,543075	0,630807	0,543075	0,630807	0,543075	0,630807	0,543075	0,543075

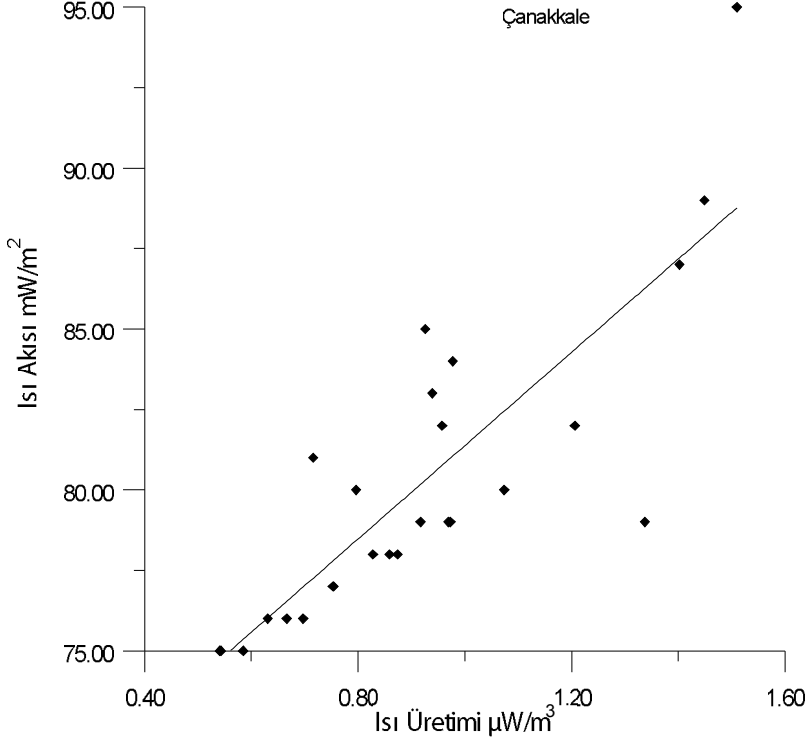
**Tablo3 Kozak Bölgesi Uranyum, Toryum ve potasyum içerikleri ve A radyo-
jenik ısı üretimi değerleri (Akal ve Helvacı, 1999'den alınmıştır).**

	K ₂ O	U	Th	K	A
3	3,63	4	1,3	1,079	1,219399
6-A	3,6	0	3,5	2,905	0,514874
7	3,68	21,3	19	15,77	8,269981
8	3,77	2,2	0	0	0,565488
9	3,74	0	6,4	5,312	0,941484
13	3,87	4,7	28,9	23,987	5,459475
14-A	3,81	5	14,1	11,703	3,359406
15-A	3,69	0	11,1	9,213	1,632885
17	3,59	3,7	16,6	13,778	3,393021
18	3,58	6,1	4,1	3,403	2,171082
19	4,07	19,9	12,6	10,458	6,968642
25	3,47	0	8	6,64	1,176854
26	3,68	5,6	16,9	14,027	3,925529
27-A	4,28	16,7	31,9	26,477	8,985275
28	4,44	12,9	16,9	14,027	5,801921
33	3,5	14,2	12,5	10,375	5,488803
34	3,57	11,9	16	13,28	5,412485
35	4,19	0,2	2,1	1,743	0,360332
1--1	3,47	8	0	2,8801	2,326934
1--2	3,07	0	0	2,5481	0,239419
1--3	3,51	2,7	0	2,9133	0,967742
1--4	3,93	0	0	3,2619	0,306488
1--5	2,98	0	0	2,4734	0,232401
1--6	3,19	6,9	0	2,6477	2,022354
1--7	2,4	0	0	1,992	0,187168
1--10	3,37	8,4	0	2,7971	2,421952
1--D	3,17	0	5,7	2,6311	0,641202
1--E	2,51	25,9	11,4	2,0833	7,641051
1--F	3,8	0	1,7	3,154	0,413854
15--C	3,04	0	1,7	2,5232	0,354584
16--B	7,61	7,2	10	6,3163	3,135368
19--B	4,85	3,8	0	4,0255	1,354988
19--D	4,22	2,4	0	3,5026	0,946
20--B	2,99	0	2,4	2,4817	0,399069
40--1	2,52	0	0	2,0916	0,196527

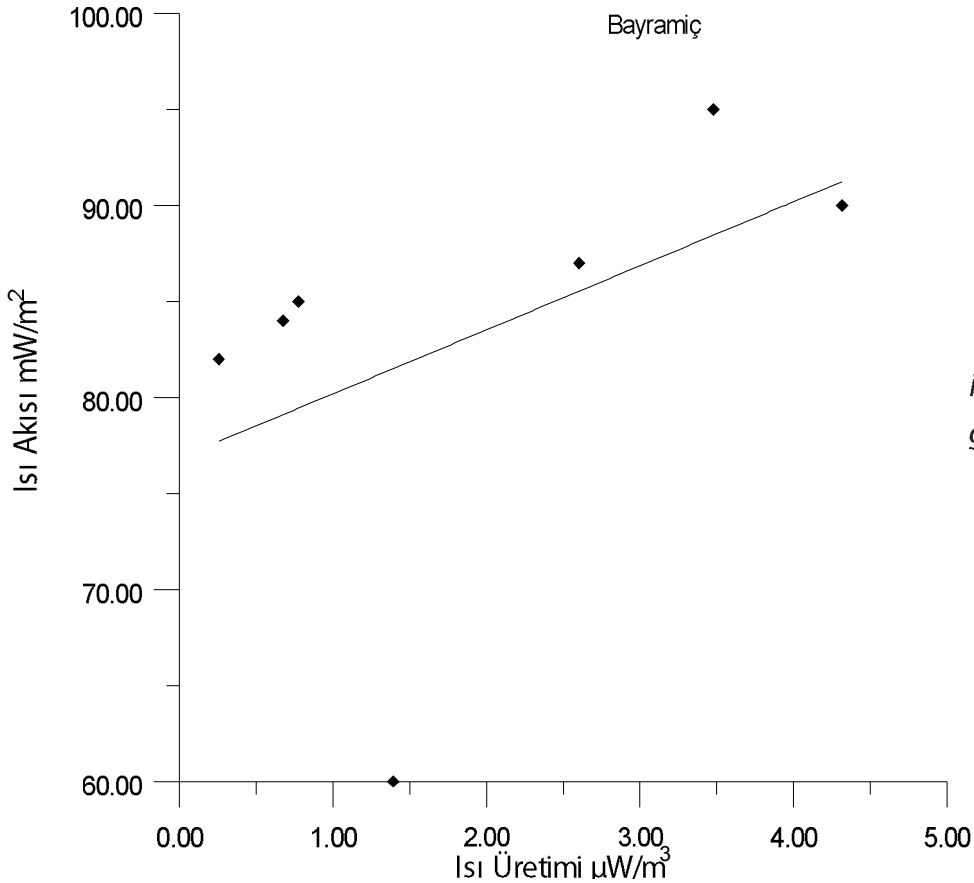
BULGULAR

Kuzey Batı Anadolu'dan üç bölgeye ait radyojenik ısı üretimi değerleri elde edilerek, bölgede ölçülmüş ısı akısı değerlerine karşı grafiklenmiştir.

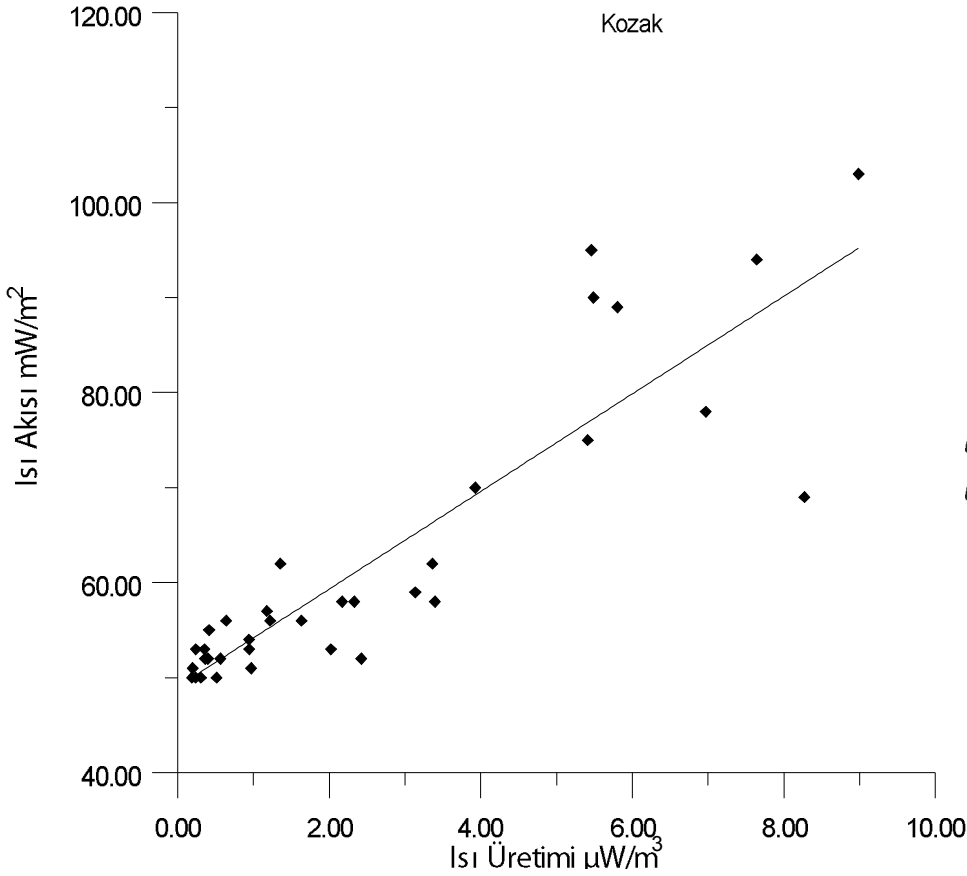
Çanakale, Bayramiç ve Kozak bölgelerine ait grafikler sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 de görülmektedir.



Şekil 4. Çanakale için ısı akısı-ısı üretimi grafiği



Şekil 5. Bayramiç için ısı akısı-ısı üretimi grafiği



Şekil 6. Kozak bölgesi için ısı akısı-ısı üretimi grafiği.

SONUÇ

Yüzey ısı akısı değerlerine manto'dan gelen ısının en fazla katkı yaptığı bölge Bayramiç bölgesi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölge için manto katkısı 75 mW/m² civarında olduğu görülmektedir. Bu yüksek değeri bölgesel bir manto yükseliminin ya da daha lokal olarak magmatik bir sokulumla mı ilişkili olduğunun saptanması için daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim vardır. Diğer iki bölgede manto katkısı 50-60 mW/m² düzeyinde olup yine de ortalamaların üzerindedir. Bu çalışma ayrıntılı ısı akısı ölçümleri ve bölgesel kabuk yapısı arasında korelasyona duyulan ihtiyacı da bir kez daha ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Akal, C. ve Helvacı, C., 1999, Mafic Microgranuler Enclaves in the Kozak Graniorite, Western Anatolia, Turkish Journal of Earth Sciences, 8, 1-17, Tübitak.

Aldanmaz, E., Köprübaşı, N., Gürer, Ö.F., Kaymakçı, N. ve Gourgaud, A., 2006, Geochemical constraints on the Cenozoic, OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: Implications for mantle sources and melting processes, Lithos, 86, 50-76.

Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G., 1982, Granitic intrusions in western Anatolia, a contribution to the geodynamic study of this area. Eclogae Geol. Helv., 75/2, 437-446.

Birch, F., R. F. Roy, ve E. R. Decker, 1968, Heat flow and thermal history in New England and New York, in studies of Ap-

palachian Geology: Northern and Maritime, edited by E-an Zen, W. S. White, J. B. Hadley, and J. B. Thompson, Jr., pp. 437-451, Interscience, New York.

Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Ş., Yavaş, F. and Kar, H., 2004, New Results on the Lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in Northwest Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 177-186, Tübitak.

Fountain, D. M., Salisbury, M. H. And Furlong, K. P., 1987, Heat production and thermal conductivity of rocks from Pikwitonea-Scachigo continental cross section, Central Manitoba: implication for the thermal structure of Archaean crust., Can. J. Earth Sci., 24, 1583-1594.

Genç, Ş. C., 1998, Evolution of the Bayramic magmatic complex, northwestern Anatolia, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 233-249

İlkışık, O. M., 1995, Regional heat flow in Western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs, Tectonophysics 244, 175-184,

Okay, A.Ü., Satır, M. and Siebel, W. 2004. Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. In: Gee, G.G. & Stephenson, R.(eds), European Lithosphere Dynamics, Geological Society, London, Special Publications

Pfister, M., Rybach, L. And Şimşek, Ş., 1998, Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea region (NW Turkey): surface heat flow density in an area of active continental extension, Tectonophysics, 291,77-89.

Roy, R. F., D. D. Blackwell, and E. R. Decker, 1971, Continental heat flow, in Nature of the Solid Earth, edited by E. C. Robertson, McGraw-Hill, New York.

Rybach, L., 1988, Determination of heat production rate. In:Haenel, R., Rybach, L., Stegena, L. (Eds.), Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination. Kluwer, Dordrecht, 125-141.

Tezcan, A.K. and Turgay, M. I., 1991, Geothermal atlas of Europe, catalogue of heat flow density data: Turkey, in:Geothermal Atlas of Europe, edited by: E. Hurtig, V. Cermak, R. Haenel and V. Zui, 84-85.

ALIAĞA JEOTERMAL SAHASININ MANYETOTELLÜRİK YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI

Cemal KAYA¹,

Ahmet Tuğrul BAŞOKUR²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. B, SİVAS

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. B, ANKARA

ÖZET

Batı Anadolu'da birçok sıcak su kaynağı bulunmaktadır ve yeni kaynakların bulunma olasılığı yüksektir. Örneğin, Aliağa dolaylarında yürütülen jeolojik çalışmalar, bölgenin jeotermal enerji üretimi açısından önemli bir potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Jeofizik yöntemler ayrıntılı arama çalışmaları kapsamında, hazne kayanın, fayların yerlerinin saptanmasında ve diğer yeraltı yapılarının ortaya çıkarılmasında rutin olarak kullanılmaktadır. Aliağa jeotermal sahasında, 21 ölçü istasyonundan oluşan bir profil üzerinde manyetotellürik (MT) ve geçici elektromanyetik (TEM) yöntemleri uygulanmıştır. Profili 5 km uzunluğundadır.

Çalışma alanı, çevrede bulunan petro-kimya ve metalürji tesislerine yakındır. Bu nedenle, MT verisi yönlü gürültü tarafından bozulmuştur. Gürültü, "V" türünde ve 10 Hertz civarındadır. Verinin doğrultu eksenlerine döndürülmesinden sonra, gürültünün büyük oranda, elektrik alanın profil doğrultusuna dik olan bileşeninde olduğu gözlemlenmiştir. Yönlü gürültü sorununun üstesinden gelebilmek amacı ile bir yuvarlatma tekniği geliştirilmiştir. Yöntem, frekans-düzgünlenmiş empedans fonksiyonunun davranışına uyan çakıştırma fonksiyonlarının doğrusal bileşimini hesaplamaya dayanmaktadır. Veri noktalarına atanan ağırlık katsayıları, hem rasgele hem de sistematik gürültülerinin etkilerini temsil etmektedir. Yuvarlatılmış görünür özdirenç veri kümeleri iki-boyutlu yorumlama algoritmalarına giriş olarak verilmiş ve elde edilen gerçek özdirenç dağılımı bölge jeolojisi göz önüne alınarak yorumlanmaya çalışılmıştır. Bölgenin yapısal özellikleri, ana fayların genel karakterleri ve çalışma alanının jeotermal enerji için umutlu olan bölümleri ortaya çıkarılmıştır.

GİRİŞ

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20 °C den fazla olan ve çevresindeki sulara göre daha fazla mineral, gaz ve tuz içeren akışkanların yeryüzüne çıkarılarak kullanılması jeotermal enerji olarak tanımlanabilir. Yeryüzüne çıkarılan jeotermal enerji, elektrik üretiminde, konut ve sera ısıtımında, sanayi kuruluşlarında ve kaplıca turizminde kullanılabilir. Ayrıca diğer enerji kaynaklarına göre temiz, ucuz, yenilenebilir ve çabuk devreye girme özellikleri bulunmaktadır.

Jeotermal enerji alanının oluşabilmesi için aşağıdaki dört ögenin bir arada bulunması gerekir. Bunlar; ısı kaynağı (soğumakta olan mağma), gözenekli bir hazne kaya, geçirimsiz örtü kaya ve yeterli su beslenmesidir. Ülkemizde genç tektonik ve volkanik etkinliklerin sonucu olarak, yukarıdaki koşulları içeren çok sayıda jeotermal saha bulunmaktadır. İzmir'in kuzeyindeki Aliağa jeotermal sahası da bunlardan biridir.

Aliağa jeotermal alanı, jeolojik olarak Menderes masifi paleotoktonu ile bunu tektonik olarak üzerleyen Mesozoyik yaşlı kayalardan oluşan allokonlar arasında gelişen İzmir – Ankara zonu kenet kuşağının kuzey batısında olup, Ege denizine doğru basamaklaşan KB-GD doğrultulu geniş bir grabenin olduğu tektonik bölge içerisinde yer almaktadır. Aliağa volkanikleri ile ilgili olarak; Paola ve Innocenti (1969), Innocenti ve diğ. (1977), Eşder (1978), Savaşçın (1975), Savaşçın ve Dora (1977), Yılmaz (1978), Ercan (1979), Ercan ve diğ. (1984), Ercan (1982), Ercan (1985), Ercan (1986), Ögdüm (1983), Kaya

(1982), Eşder (1988) önemli çalışmalar yapmışlardır. Yörede bulunan sıcak ve soğuk su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde belli anyon ve katyonlar kullanılarak yapılan araştırmalarda jeotermal akışkan sıcaklığının 200 °C olabileceği ileri sürülmektedir.

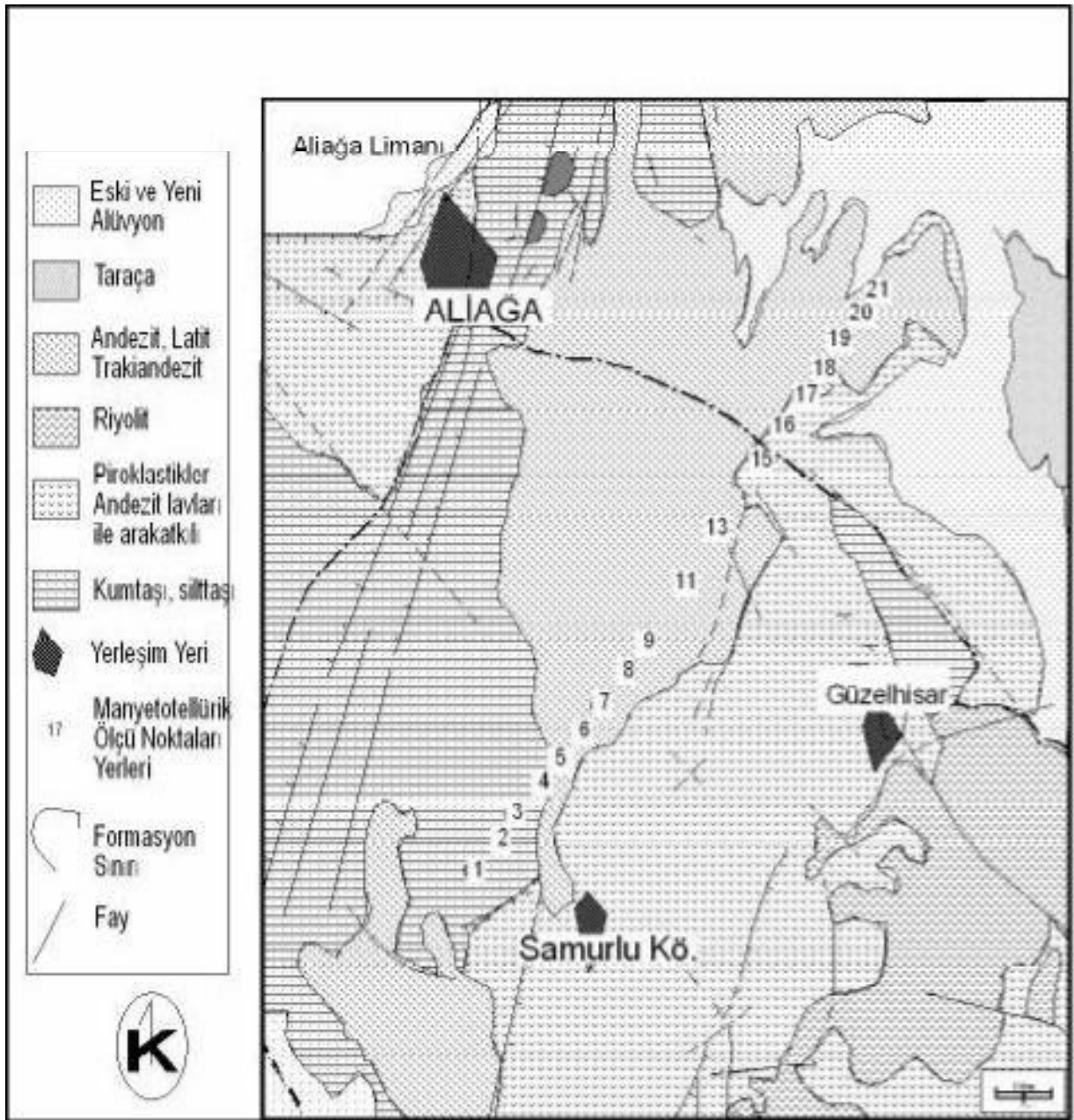
Jeofizik yöntemler, jeotermal alandaki yapıyı ortaya çıkarmak, örtü kalınlığını saptamak, jeotermal sistemin yerini ve dağılımını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Bu çerçevede, bölgede daha önce MTA tarafından yapılan jeofizik çalışmalar, 800 metre derinlikte bir jeotermal kaynağın bulunmasını sağlamıştır. Bu kaynak önemli olmakla birlikte, sanayinin gereksinimlerine yanıt verebilecek büyüklükte değildir. Daha büyük potansiyellerin saptanması amacı ile derin jeofizik çalışmalara gerek duyulduğundan, arama çalışmalarında en büyük araştırma derinliğini sağlayan manyetotellürik (MT) yöntemin kullanılmasına karar verilmiş ve 21 istasyonda doğal manyetotellürik (MT) ölçüsü alınmıştır. Bu ölçülere statik-kayma düzeltmesi uygulayabilmek için her MT istasyonunda ayrıca geçici elektromanyetik (TEM) yöntemi de uygulanmıştır. Arazi çalışmaları MTA ve Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nce Eylül 1999 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı ve civarının jeolojisi hakkında burada verilen özet bilgi Genç ve Yılmaz (2000) ile Eşder ve diğ. (1991) çalışmalarından derlenmiştir. Şekil 1'de bölgeye ait stratigrafi kesiti ve Şekil 2'de

Orta Miyosen'de bölge genellikle kara halinde olup, zaman zaman derinliği çok az olan sığ sularla kaplanmıştır. Bu süreç içerisinde andezit lavları ile ara katkılı piroklastikler oluşmuştur. Bunlar Aliğa piroklastikleri (Tap) olarak adlandırılmıştır (Eşder ve diğ., 1991). Kalınlıkları 350 metre dolayındadır. Orta Miyosen yaşlı Aliğa piroklastikleri (Tap) üzerine gelen ve Üst Miyosen olarak yaş verilen Hatundere dasitleri (Tdst), Sarıkaya riyolitleri (Tryl), Bozdivlit bazaltik andezitleri

(Tba) ve Dumanlıdağ andezitleri (Tand), Aliğa Volkanitleri'nin en önemli volkanik kayalarıdır. Sialik kökenli, kalkalkelin karakterdeki bu volkanitler, Aliğa piroklastikleri üzerinde kısa ve kalın lav akıntıları şeklinde yer almaktadır. Bunlardan ilk oluşan ve geniş alanlar kaplayan Hatundere dasitleridir. Hatundere dasitlerinin oluşumundan sonra volkanizmada bir duraksama olmuş ve bu süreç içerisinde bölgede bir erozyon oluşmuştur. Dasitlerin volkanik yamaçlar üzerindeki



Şekil 2. Aliğa ve çevresinin jeoloji haritası (Eşder ve diğ., 1991)

ve MT ölçü noktaları.

kalınlığı 75-300 metre arasında değişmekte olup, erozyondan önceki kalınlığı 750 m civarındadır.

Kuvaterner, alüvyonlar ile yamaç molozlarından oluşmuştur. Vadilerde geniş alüvyon düzlükleri bulunmaktadır. Alüvyonu oluşturan kayaların büyük çoğunluğu, akarsu ve derelerin taşıdığı volkanik çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Yamaç molozları ise volkanik yükseltelerin çevresinde gelişen volkanik bloklardan oluşmaktadır (Eşder ve diğ., 1991).

YAPISAL JEOLAJİ

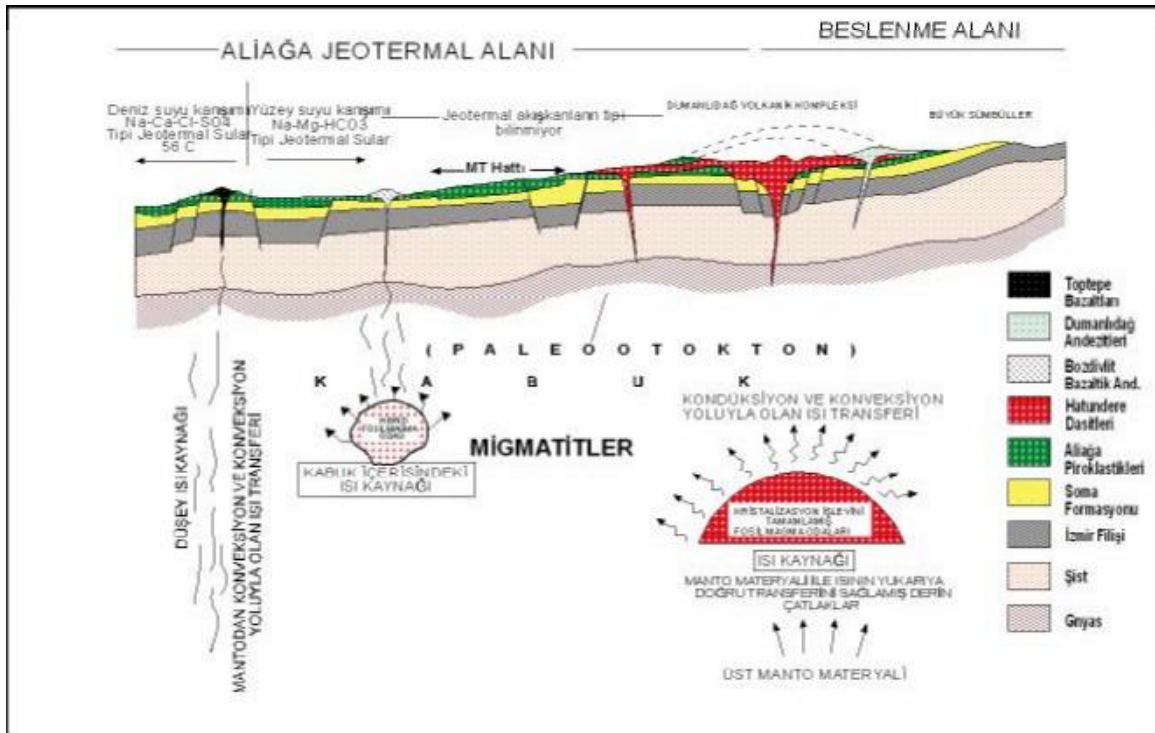
VE JEOTERMAL MODEL

Araştırma alanını tektonik açıdan paleotektonik ve neotektonik evrelere ayırarak incelemek olasıdır. Paleotektonik evrede paleotokton ve allokton birimlerdeki kıvrımlanma, kırılma, paleotoktonun GD'dan, KB'ya doğru dalması, bindirme olayları oluşmuştur. Neotektonik devrede ise kıvrılma, kırılma ve graben-

leşme gibi yapısal şekillerin ve hareketlerin oluşmasında Anadolu ve Ege bölgelerini etkileyen büyük ölçekli plaka hareketleri önemli ölçüde etkili olmuştur. Paleotektonik olaylar daha çok paleotoktonun alta dalması şeklinde olup, bu hareket duraksamalar ile günümüze kadar devam etmiştir.

Geçmişteki magmatizma ve volkanizmayı bu tektonik hareket denetlemiştir. Bugün, Ege bölgelerinde devam eden açılma ve buna bağlı olarak gelişmesini sürdüren grabenleşme nedeniyle sıkışma hareketi ile birlikte alta dalma hareketi de durmuştur. Paleotokton, allokton ve neotoktonların tümü Kuzey Anadolu plakası adı altında günümüzde GB'ya doğru hareket etmektedir. Bölgesel tektonik hareketler Batı Anadolu'daki volkanizmaların karakterlerini, başlangıç ve bitiş zamanlarını belirlemektedir.

Neotektonik evredeki tektonik gidişler eskiden yeniye doğru izleyen şekilde sınıflandırılmıştır:



Şekil 3. Aliağa jeotermal alanı kavramsal jeotermal sistem (Eşder ve diğ., 1991).

1) KD-GB doğrultulu tektonik gidişler (Orta Miyosen-Üst Miyosen),

2) KB-GD doğrultulu tektonik gidişler (Alt Miyosen-Kuaterner),

3) BKB-DGD doğrultulu tektonik gidişler (Alt Miyosen-Kuaterner).

KB-GD doğrultulu tektonik çizgiler, günümüzde devam eden grabenleşme rejimi ile ilgili olması nedeni ile genç bir morfoloji oluşturmakta, tektonik, deprensellik ve jeotermal yönden çok daha aktif bir durumda bulunmaktadır. Depremlerde grabenleşmeye bağlı olarak, KB-GD doğrultulu tektonik hatlar üzerinde oluşmaktadır. Sismik yoğunluk Dumanlıdağ volkanik merkezi ile çakışmaktadır. Depremlerin odak derinlikleri genellikle 6.5-20 km civarındadır. KB-GD doğrultulu tektonik hatlar halen etkin olup, jeotermal akışkanları yüzeye taşımaktadır.

Bölgede yapılan jeolojik araştırmalardan elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi ile Aliğa jeotermal sahası için tahmini bir jeotermal sistem modeli geliştirilmiştir. Alan içerisindeki meteorik sular, sahanın doğu ve güneydoğusundan sisteme girmekte, Dumanlıdağ volkanik merkezinin altında ısıtıcı kaynak tarafından ısıtılmakta, önce yer yüzeyine doğru daha sonra yanal olarak hareket ederek sistem içersine yayılmakta ve uygun geçirgen zonlarda yerleşmektedir. Son olarak, Biçer kaplıcasında ve Ilacaburun kaynağında sıcak su olarak boşalım yapmaktadır. Jeotermal akışkanların bu şekildeki hareketi güneydoğudan, kuzeybatıya doğru olduğu kabul edilmiştir.

Aliğa Jeotermal Sistemi'nin olası modeli Şekil 3 de verilmiştir. Dumanlıdağ

volkanik merkezi KB-GD uzanımlı tali horst, graben yapısı içerisinde yer almakta olup, bu merkez KB-GD uzanımlı tektonik gidişe dayanmakta, tektonik olarak çok aktif bir noktada yer almaktadır. Asidikten bazıya doğru birbiri üzerinde yeralan volkanik kayalar, büyük bir olasılıkla Dumanlıdağ volkanik merkezinin altında büyük bir ısı kaynağı ile ilişkili olmalıdır. Bu ısı kaynağının dışında, KD-GB doğrultulu horstlar üzerine yerleşmiş, ısı kaynağı olarak rol oynayan hibrid fosil magma odaları bulunmaktadır. Jeotermal akışkanların oluşmasına neden olan büyük çaptaki meteorik sular beslenme alanından sisteme girmekte, ısıtıcı kaynaklar tarafından ısıtılmakta, volkanik lav örtüleri altında kalan İzmir Flişi ve Soma Formasyonu'ndaki geçirgen zonlara girerek, kısmen faylara bağlı olarak kısmen yanal hareketler yaparak jeotermal sistemlere yerleşmektedirler.

MT çalışmasının gerçekleştirildiği Samurlu Jeotermal Alanı ise güneybatıdan Helvacı-Türkeli, Biçer ve kuzeydoğudan Güzelhisar vadisinden geçen büyük tektonik zonlar arasında kalmakta olup, kuzeybatı ve güneydoğudan KD-GB doğrultulu faylarla sınırlanmıştır. Jeotermal alan sırtını güneydoğudan Dumanlıdağ volkanik merkezine dayamakta, yine güneydoğu sınırında riolit ve andezit çıkış merkezleri bulunmaktadır. Bu yönüyle önemli bir jeotermal alan olma niteliği taşımaktadırlar. Önceki yıllarda yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucunda bu alan için, 1300-1400 metre derinliklerde sondaj düşünülmüştür.

ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmalarına Eylül 1999 başında

başlanarak, yerleşim sorunlarının çözülmesi ve ölçü aygıtlarının test edilmesini takiben 9-30 Eylül 1999 tarihleri arasında 21 adet MT, 33 adet TEM ve 2 adet derin MT ölçüsünün alınması tamamlanmıştır. Arazi çalışmalarında Phoenix firması tarafından üretilen 7 kanallı V-5 adlı ekipman kullanılmıştır. Bir MT istasyonunda ölçülen beş ana bileşenden (E_x, E_y, H_x, H_y, H_z) başka iki adet manyetik alan (R_x, R_y) bileşeni de uzak- başvuru (remote-reference) verisi olarak ölçülebilmektedir. Phoenix MT cihazı ölçüleri ikisi yüksek ve biri alçak frekanslar olmak üzere üç bantta kayıt etmektedir. Yüksek frekans bandları 320 Hz - 5 Hz arasında, alçak frekans bandı ise 6 Hz ile 0.00055 Hz arasında değişmektedir.

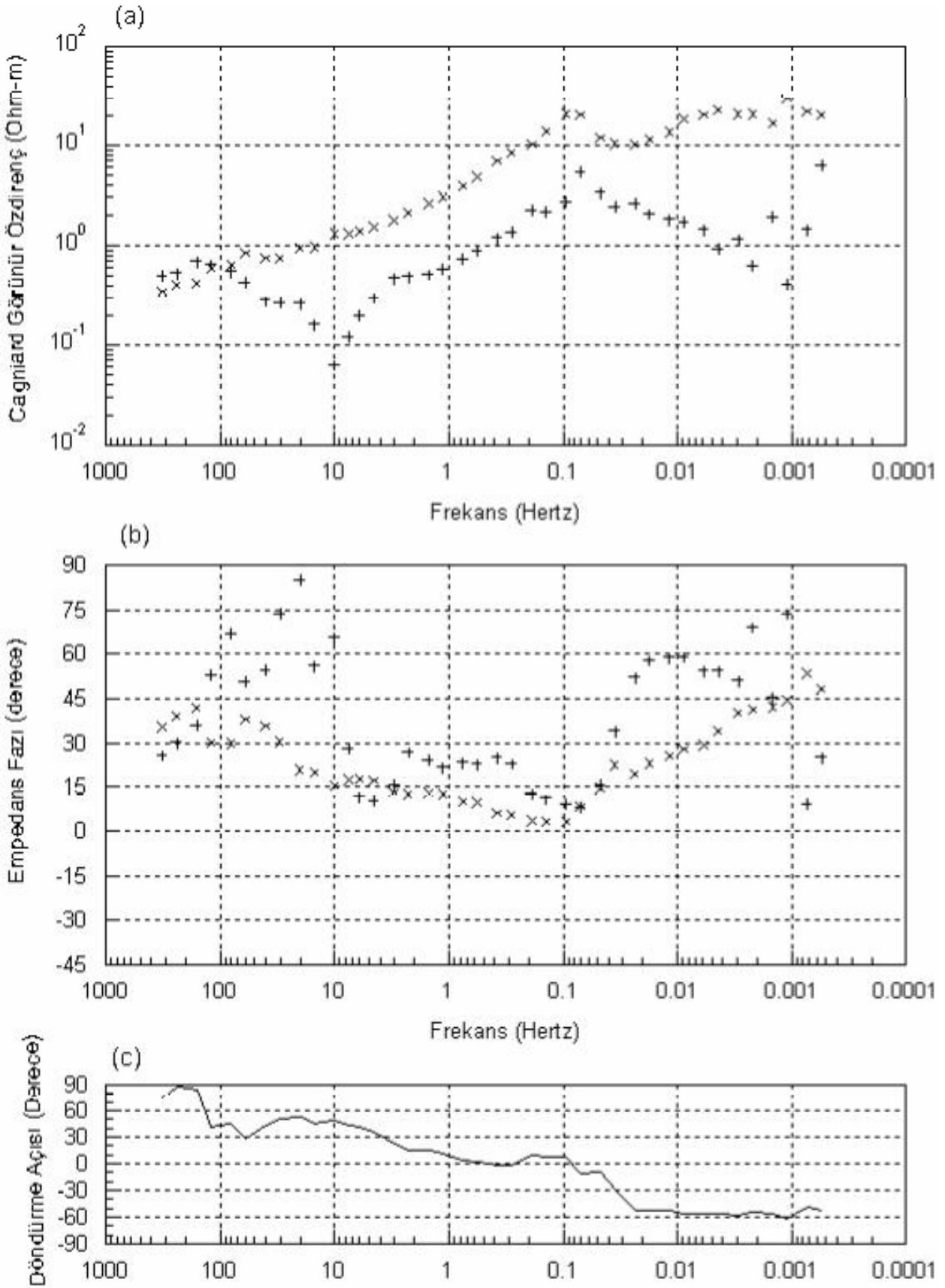
VERİ-İŞLEM

Ölçülen zaman serisi manyetotellürik verilerin Fourier dönüşümleri alınarak, frekans bölgesinde empedanslar elde edilmiştir. Çalışılan bölgenin sanayi tesislerine yakın olması nedeni ile verilerde önemli oranda gürültü bulunduğu gözlenmiştir. Bu nedenle sadece 18 MT ölçü noktasına ait verinin değerlendirme için uygun olduğuna karar verilmiştir. Her MT istasyonunda kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında ölçülen yön bağımlı empedans değerleri, ölçü profiline paralel ve dik olacak şekilde döndürülmüştür. Döndürme işlemi, empedans düzeyi köşegen elemanlarının en küçüklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Örnek vermek amacıyla MT-01 ve MT-05 istasyonlarına ait görünür özdirenç, faz ve döndürme açılarının grafikleri sırası ile Şekil 4 ve 5 de görüntülenmiştir.

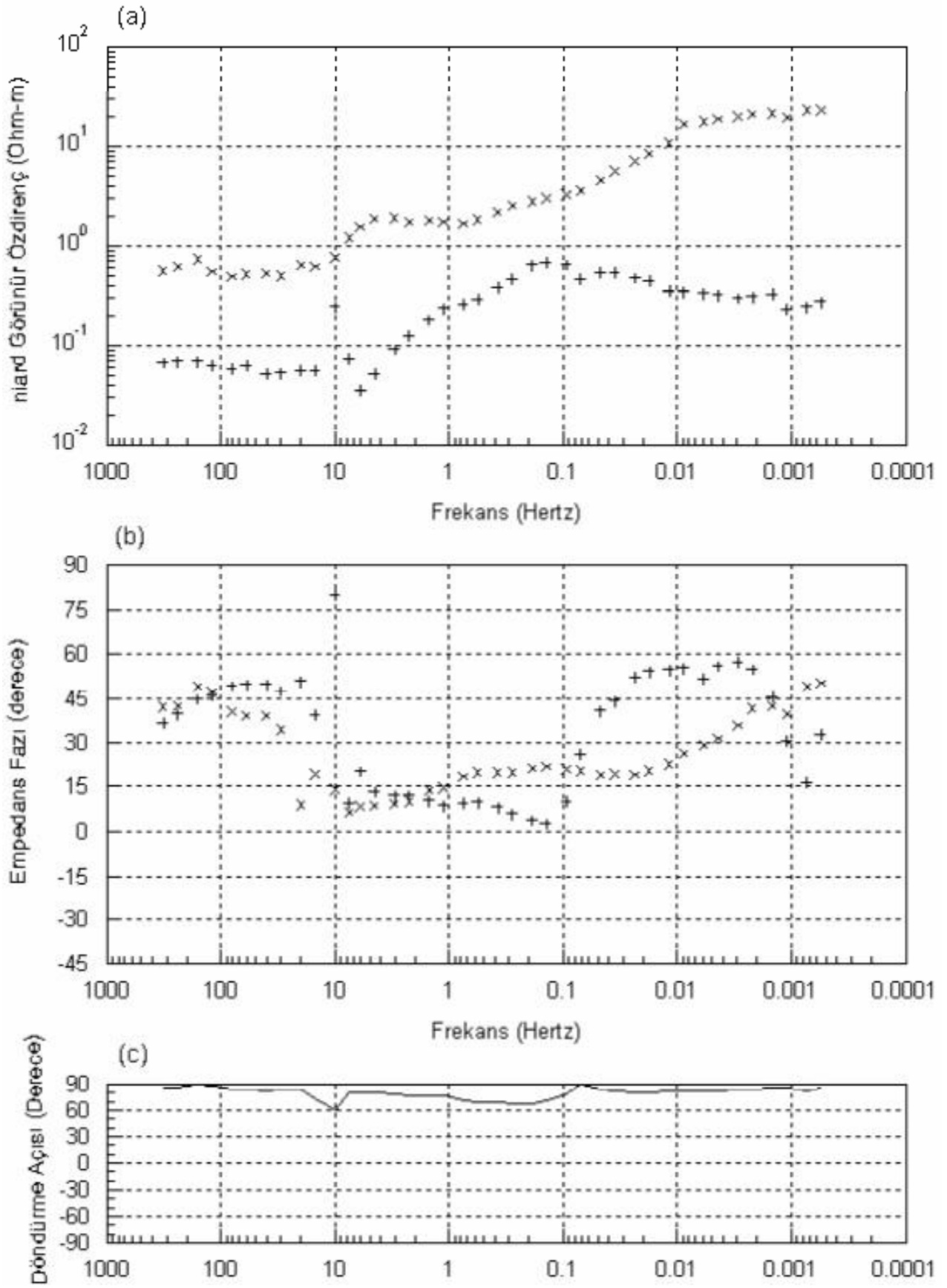
Çalışılan bölgenin sanayi tesislerine yakın olması nedeni ile verilerde önemli oranda gürültü bulunduğu gözlenmiştir.

Şekil 4 de daha belirgin olmak üzere 10 Hertz civarında gözlemlenen ve sanayiden kaynaklandığı düşünülen bu gürültüler, verilerin değerlendirilmesini olanaksız hale getirmektedir. Gürültü problemini gidermek için Santini ve Zambrano(1981) tarafından doğru akım verilerinin dönüşümü için önerilen veri çakıştırma yönteminin Başokur, Kaya ve Ulugergerli (1997) tarafından MT verisi için genelleştirilmiş hali kullanılmıştır. Ayrıca, Başokur(1999) tarafından önerilen veri ağırlıklandırma yöntemi de algoritmaya eklenerek bir veri yuvarlatma tekniği geliştirilmiştir. Bu algoritmanın uygulanması ile veride gözlemlenen "V" türü etkilerin ayıklanması mümkün olmuştur. Şekil 4 de görüntülenen görünür özdirenç verisinden bu yöntem ile 'V' etkisi giderilmiş ve Şekil 6 da yeniden görüntülenmiştir. Önerilen yuvarlatma yöntemi ara değer bulma (interpolation) işlemine de izin verdiği için, yuvarlatılan veri 100 – 0.001 Hertz aralığında logaritmik eksenin her bir dönemine sekiz veri düşecek örneklenmiştir. Böylelikle, her ölçü istasyonu için beş dönem (decade) uzunluğunda ve 41 frekansta tanımlanan MT verisi oluşturulmuştur.

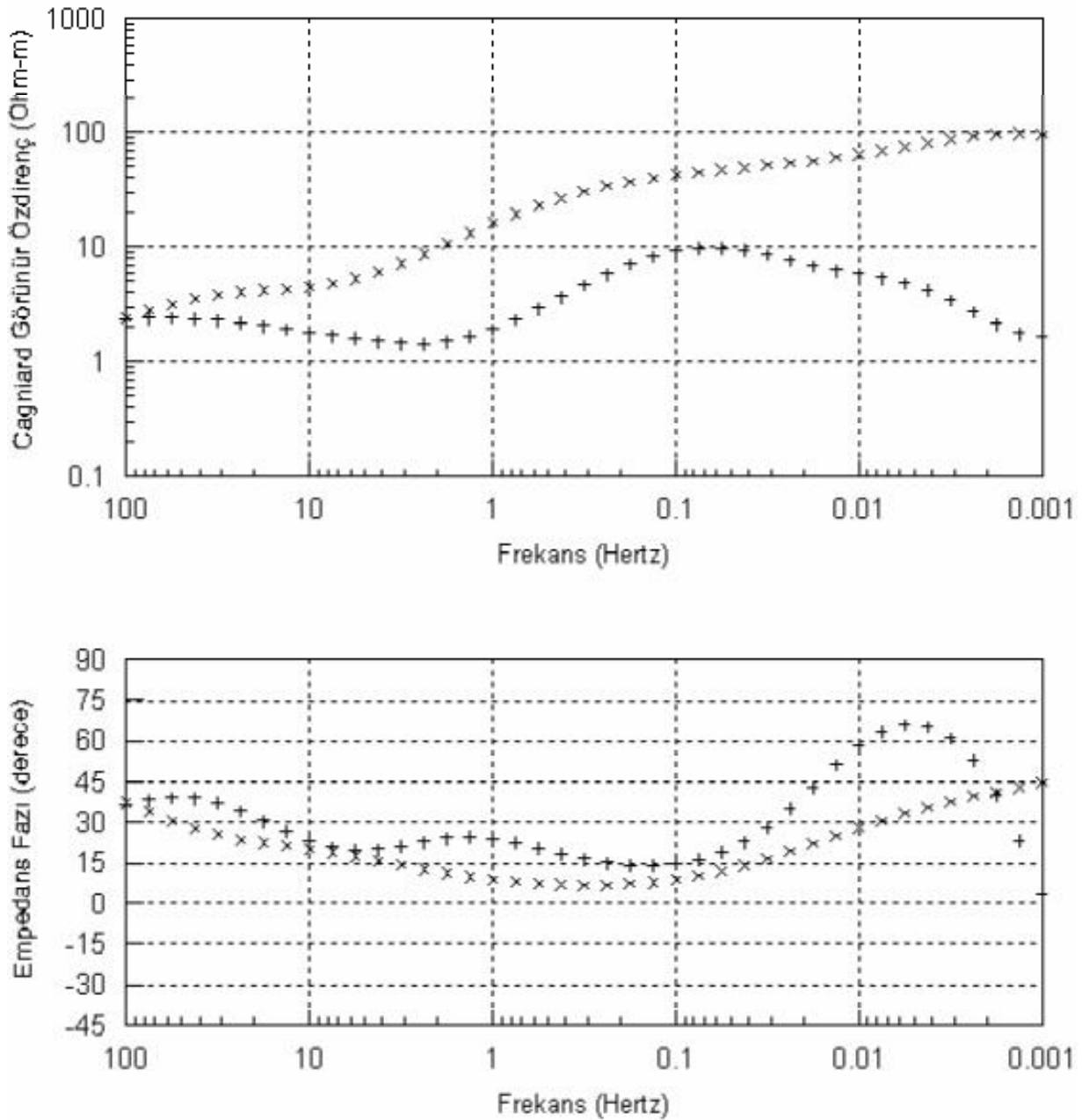
Manyetotellürik veriye statik kayma düzeltmesi uygulamak için kaydedilen



Şekil 4. MT-01 ölçü noktasında doğrultu eksenlerine döndürülmüş veri. (a) Cagniard Görünür Öz direnç, (b) empedans fazı. (x) xy-bileşenini ve (+) yx-bileşenini göstermektedir. (c) döndürme açıları.



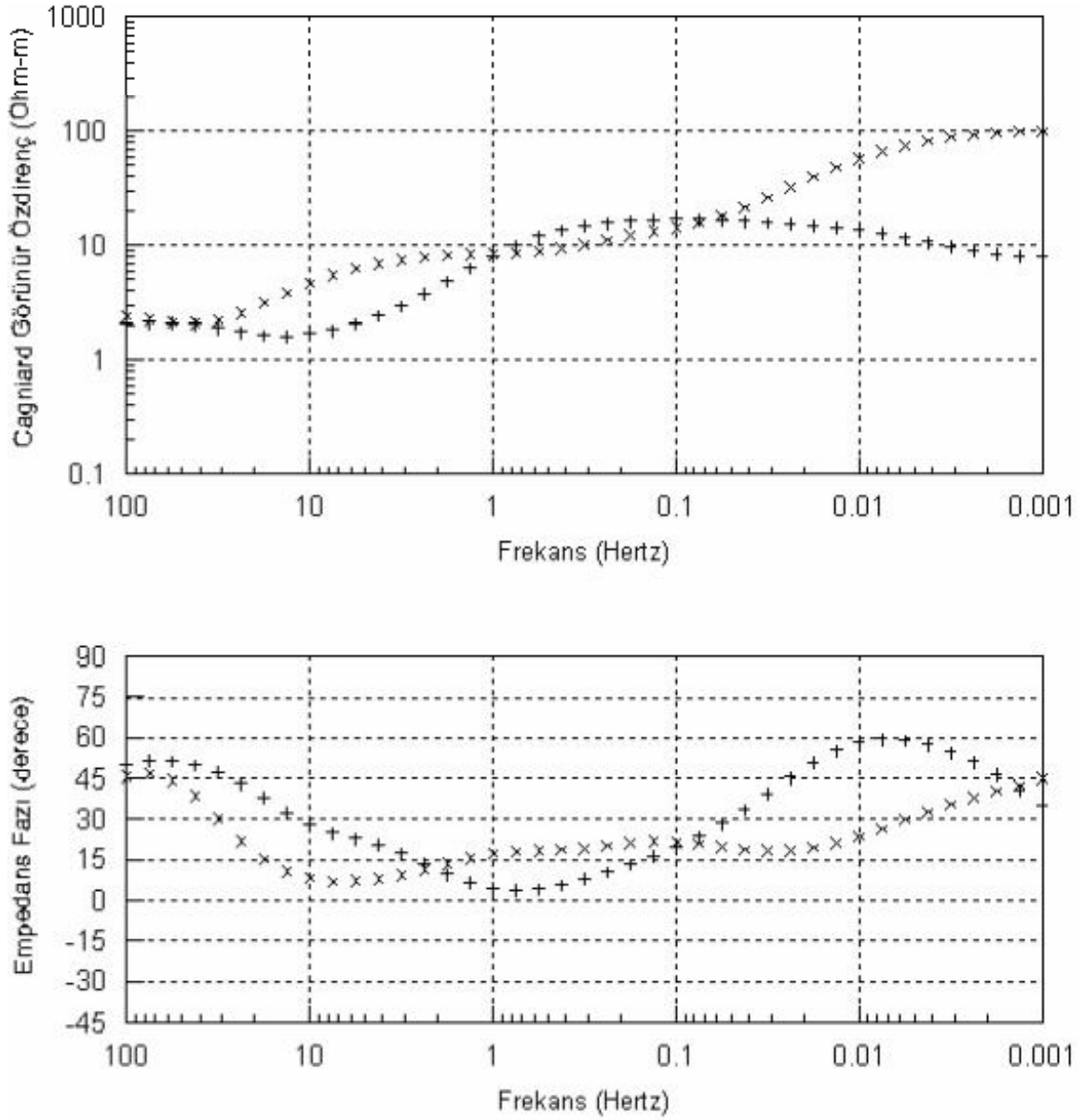
Şekil 5. MT-05 ölçü noktasında doğrultu eksenlerine döndürülmüş veri. (a) Cagniard Görünür Öz direnç, (b) empedans fazı. (x) xy-bileşenini ve (+) yx-bileşenini göstermektedir. (c) döndürme açıları.



Şekil 6. MT- 01 ölçü noktasındaki yuvarlatılmış Cagniard görünür özdirenç ve faz değerleri. Görünür özdirenç değerlerine statik-kayma düzeltmesi uygulanmıştır. (x) xy-bileşenini ve (+) yx-bileşenini göstermektedir.

MT-01 ve MT-05 istasyonlarına ait yeniden örneklenmiş ve statik-kayma düzeltmesi uygulanmış görünür özdirenç ve faz değerleri görüntülenmiştir. Hakkında genel bilgi edinmek hem de modlara ayırma işlemini kontrol etmek amacı ile yapma-kesitler (pseudo-section) hazırlanmıştır. Yapma-kesit çizimlerinde düşey eksen frekans, yatay eksen uzaklık olarak alınarak, görünür özdirenç ve empedansın fazı haritalanmıştır. Şekil 8 ve 9

da, sırası ile TE ve TM modlarına ait görünür özdirenç ve faz değerleri görüntülenmiştir. Yapma-kesitler, ortada yüksek özdirençli bir kuşak olmak üzere ortamın ana hatları ile üç katmanlı bir yapıdan oluştuğuna işaret etmektedir. Ayrıca, nitel yorumlama ile profilin 3.6 – 3.8 km arasında bir fay zonu bulunduğu izlenimi edinilmiştir.



Şekil 7. MT- 05 ölçü noktasındaki yuvarlatılmış Cagniard görünür öz direnç ve faz değerleri. Görünür öz direnç değerlerine statik-kayma düzeltmesi uygulanmıştır. (x) xy-bileşeni ve (+) yx-bileşeni göstermektedir.

İKİ-BOYUTLU

TERS-ÇÖZÜM SONUÇLARI

Yapma-kesitlerin incelenmesi ile yapılan yorum nitel olup, yeraltındaki gerçek öz direnç dağılımının hesaplanması için iki-boyutlu (2-B) ters çözüm işleminin uygulanması ve ölçüm profili boyunca yeraltı yapısını temsil edebilecek 2-B yerelektrik modelinin elde edilmesi gerekmektedir. İki-boyutlu yerelektrik kesitindeki öz direnç dağılımından bölgenin

jeolojik yapısına ait bilgiler türetilir. Bu amaçla arazi çalışmalarından elde edilen verilerin 2B yorumunda WingGlink® adlı yazılım kullanılmıştır. Yazılım veri hazırlama, 1B ve 2B modelleme, kesit hazırlama ve veri sunumu işlevlerini kullanıcının görsel denetiminde yapabilmektedir.

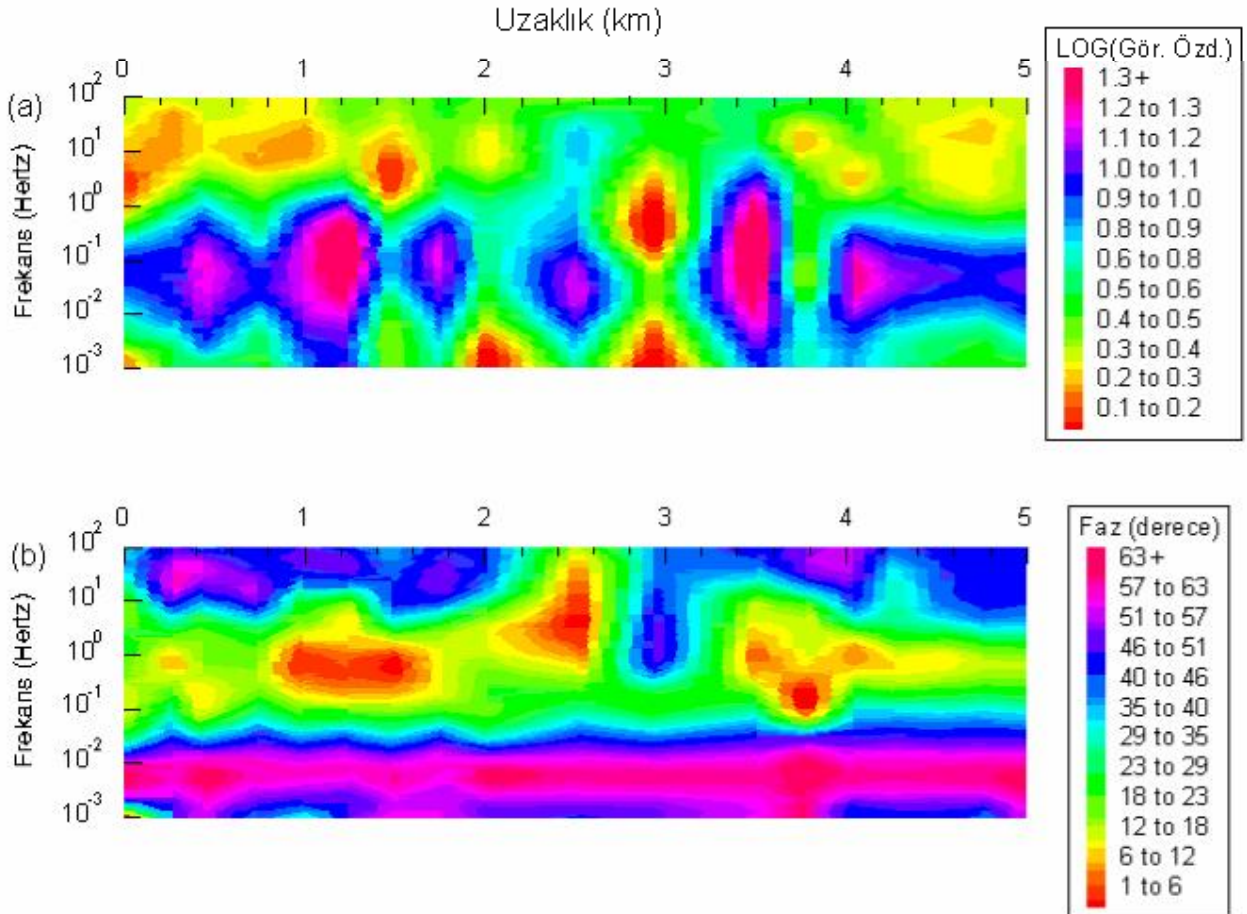
R. Mackie tarafından geliştirilen yazılımda, sonlu farklar ağı ile verilen elektrik yapı kesiti üzerinden "network analogy" (Madden, 1972; Jupp and Vozoff, 1977)

hesaplama yöntemi ile 2-B model için düz çözüm yapılmaktadır. Sonlu farklar ağında hücrelerin kalınlık ve genişlikleri kullanılan frekanslara ve ölçülen görünür özdirençlere veya kestirilen ortalama ortam özdirencine bağlı olarak seçilmektedir. Jeolojik yapılarının özdirençleri göz önüne alınarak, ağı oluşturan hücelere istenilen özdirenç değerleri atanır ve böylece jeolojik yapılar elektriksel yapıya dönüştürülür. Ağ üzerinden yapılan düz çözüm işlemi ile TE ve TM modları için hesaplanan elektrik ve manyetik alan değerlerinin oranından empedans hesaplanır. Kuramsal Cagniard (1953) görünür özdirenç ve empedansın fazı ise empedans değerlerinden türetilir.

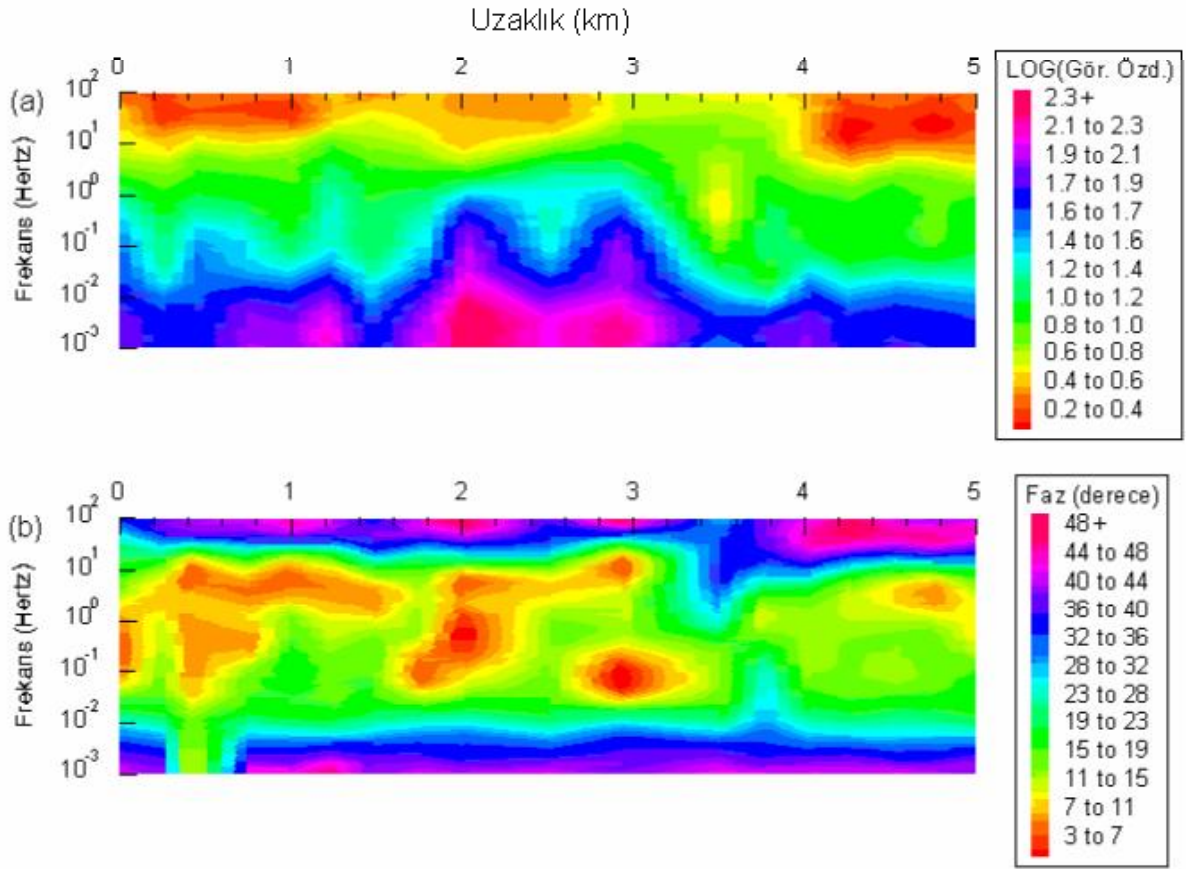
Ters çözüm işleminde ağ üzerindeki her bir hücrenin özdirenci çözülmesi istenilen parametre değerleri olarak

tanımlanmıştır. Parametrelerin çözümü ise karmaşık eşlenik gradyen (complex conjugate gradient) (Rodi and Mackie, 2000) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem kısmi türevler düzeyinin tersinin alınmasını gerektirmediğinden, geleneksel Gauss-Newton veya Marquard-Levenberg yöntemlerine göre yakınsama olasılığı daha yüksektir. Ancak karmaşık modellerde en uygun modelin aranmasında diğer yöntemler kadar başarılı değildir. Kısmi türevler düzeyindeki tekilliği azaltmak ve parametre olarak kullanılan hücre özdirençlerinin aşırı değişimini engellemek için yumuşatma (smoothing) işleci kullanılmıştır.

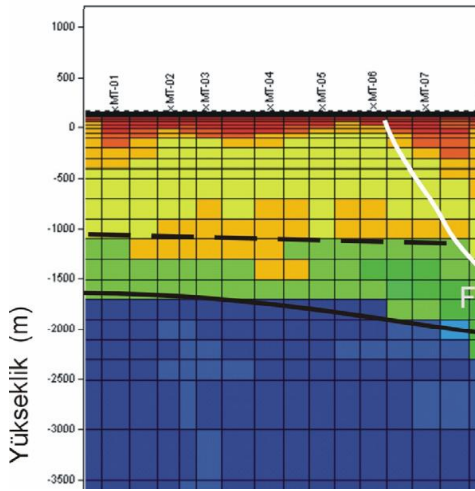
Ters çözüm işleminde görünür özdirençler ve fazlar birlikte modellenmektedir. Herhangi bir verinin ters çözüme katılmaması istendiğinde verini işlem



Şekil 8. Cagniard Görünür Özdirenç (a) ve Empedansın Fazı (TM modu) (b).



Şekil 9. Cagniard Görünür Özdirenç (a) ve Empedansın Fazı (TE modu) (b).



Şekil 10. İki-boyutlu ters-çözüm sonucu elde edilen gerçek özdirenç dağılımı ve jeolojik yorum (derinlik 6 km - doğrusal ölçek).

mektedir. Kesitte görülen yanal yöndeki özdirenç süreksizliklerinden faydalanarak, F1, F2 ve F3 olarak adlandırılan faylar yorumlanmıştır. Bu faylardan F2 ve F3, Genç ve Yılmaz'ın (2000) çalışmasında KB gidişli sağ yanal atımlı olarak gösterilen fayların yerleri ile örtüşmesi muhtemel olmakla birlikte, ölçek farklılıklarından dolayı kesin karşılaştırma yapma olanağı bulunamamıştır. Genç ve Yılmaz'ın (2000) belirttiği gibi bu fayların bir dönem düşey atımı bulunmalıdır. F1 ile adlandırılan fay ise üst kabuk boyunca etkin olan ve üst-kabuk ve alt-kabuk sınırında, alt-kabuğun sünek özellik göstermesi nedeni ile belirsizleşen normal bir fay olarak yorumlanmıştır (Şekil 10). Bu fayın lokasyonu Eşder ve diğ. (1991) tarafından verilen haritadaki normal fay ile uyumaktadır. Şekil 11 de ise F1 fayının olası davranışı logaritmik düşey eksenli kesit üzerinde gösterilmiştir. Yine Şekil 11 de, alt-kabuk ve üst-kabuk sınırının yaklaşık 12 km derinlikte olduğu gözlemlenmektedir.

SONUÇLAR

Aliağa yakınında gerçekleştirilen 5 km uzunluğundaki MT profilinin değerlendirilmesi ile bölge jeolojisinin derinlikle değişiminin genel görünümü elde edilebilmiştir. MT profiline metal ve petrokimya sanayi tesislerinin yakın olması veri üzerinde önemli bozulmalara neden olmuştur. Veri üzerindeki sistematik gürültüler yuvarlatma algoritmaları ile yok edilmeye çalışılmıştır. Bu tür algoritmalar gürültü nedeni ile veride oluşan belirsizlikleri ortadan kaldırmazlar. Ancak, yuvarlatılmış veri, ters-çözüm programlarının duraylı (stable) bir şekilde çalışmasını sağlarlar.

Bu nedenlerle, elde edilen iki-boyutlu özdirenç dağılımında bir miktar belirsizlik olması da kaçınılmazdır. Özdirenç dağılımından yararlanılarak üretilen jeolojik kesit üzerindeki derinlik değerlerine ihtiyatla yaklaşılması yararlı olacaktır. Ancak, derinlik değerlerindeki yanılgılar hariç, genel çerçeve olarak elde edilen modelin güvenilirlik sınırları içerisinde olması beklenilir.

Hesaplanan iki-boyutlu kesitte, metamorfik temel kayalar ile onları üzerleyen tortul ve volkanik kayaların dokunağı ile alt-kabuk ve üst-kabuk sınırları en belirgin fiziksel süreksizliklerdir. Ayrıca, kesit üzerinde bazı fayların ayrımı olanaklı olmuştur. Jeotermal enerji olanaklarının faylar ile ilişki olmasından hareketle, gelecekte yapılması düşünülen sondaj çalışmaları için ya MT-06 ile MT-09 yada MT-13 ile MT-17 noktaları arasındaki bölgenin değerlendirilmesi yararlı olacaktır

KATKI BELİRTME

Arazi çalışmaları için gerekli aygıtlar ve diğer masraflar MTA tarafından karşılanmış olup, hesaplamaların yapılması için gerekli donanım alt yapısı TÜBİTAK (YDABÇAG-198Y091 nolu proje) ve Ankara Üniversitesi Araştırma Fon Müdürlüğü (2000.07.05.021 nolu proje) tarafından sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Başokur, A. T. 1999, Automated 1-D interpretation of resistivity soundings by simultaneous use of the direct method and iterative methods, Geophysical Prospecting, 47, 149-177.

Başokur A.T., Kaya, C. and Ulugergerli, E. U., 1997, Direct interpretation of magnetotelluric sounding data based on the frequency-normalized impedance function. *Geophysical Prospecting* 45, 21-37

Cagniard, L., 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics* 18, 605-635.

Ercan, T., 1979, Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki senozoyik volkanizması. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 9, 23-46.

Ercan, T., 1982, Batı Anadolu Tersiyer volkanitleri ve Bodrum Yarımadasındaki volkanizma durumu.

Ercan, T., 1985, Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotropik ve radyometrik verilerin yorumu. *TJK Bülteni*, 28, s.2.

Ercan, T., 1986, Ayvalık ve çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaçların petrolojisi. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 17.

Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Çevikbaş, A. Ateş, M. Can, B. Erkan, M., Özkirişçi, C., 1984, Dikili-Bergama-Çandarlı (Batı Anadolu) yöresinin jeolojisi ve mağmatik kayaların petrolojisi. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 20.

Eşder, T., 1978, TPAO İzmir-İzmir-Aliağa Rafinerisi 1 nolu sahası Jeoloji Raporu . MTA Der. Rap.

Eşder, T., 1988, Gümüldür – Cumaovası (İzmir) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının araştırılması. İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eşder, T., Yakabağ, A., Sarıkaya, H. ve Çiçekli, K., 1991, Aliağa (İzmir) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Ege Bölge Müdürlüğü. MTA Derleme No: 9467.

Genç, Ş. C. ve Yılmaz, Y., 2000, Aliağa dolaylarının jeolojisi ve genç tektoniği, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir Valiliği, 152-159.

Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., Poli, G., 1977, Ree distribution in Tertiary and Quaternary volcanic rock from central and Western Anatolia. *Proceed of VI. Colloquium on Geology of Aegean Region İzmir*.

Jupp, D.B.L and Vozoff, K., 1977. Two-dimensional magnetotelluric inversion, *Geophys. J. R. astr. Soc.* 50, 333-352.

Kaya, O., 1982, Tersiyer sırt yitmesi. Doğu Ege bölgesinin yapısı ve mağmatikliği için olası mekanizma. *Türkiye Jeoloji Kurultayı* s.39.

Madden, T., R., 1972. Transmission system and network analogies to geophysical forward and inverse problems, *Tech. Rep. N000-14-67-A0204-0045*, Dep. Of Earth Planet Sci., MIT.

Öğdüm, F., 1983, Menemen Dumanlıdağ volkan konisi ve kalderasının jeomorfolojisi-evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi* s.11, 45-52.

Paola. G. M. D., Innocenti, F., 1969, G.M.Di Paola ve F. Innocenti'nin Anadolu'daki çalışma gezisi sonucu petrografik rapor. MTA Der. Rap. No:

Rodi, W. and Mackie, R. L., 2000, Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric data, *Geophysics*, 66, 174-187.

Santini, R. and Zambrano, R. 1983. A generalized method to calculate standard curves for geoelectrical soundings. *Geoexploration* 21, 93-103.

Savaşın, Y., 1975, Foça Yöresi volkanik kayalarından sağlanan petrografik-jeokimyasal sonuçlar. Tübitak V. Bilim Kongresi Tebliđler Kitabı, s.273-289.

Savaşın, Y., Dora, Ö., 1979, Foça – Menemen yöresi volkanitlerinde piroksenlerin yayılımı ve kristallografik değerleri. TJK Bült., 20, 1, 21-27.

Yılmaz, S., 1978, Dikili-Bergama jeotermal alanı, Ayvalık J17c1paftasının jeolojisi ve hidrojeolojik etüdü. MTA Der. Rap. No: 7089, Ankara.

ÜLKEMİZİN JEOTERMAL POTANSİYELİNİN REZERVUAR SICAKLIKLARI VE ISI AKIŞI DEĞERLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali İsmet KANLI

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
İSTANBUL*

ÖZET

Bilindiği gibi dışa bağımlılık, ülkemizin enerji ihtiyacını karşılama aşamasında karşılaştığı temel sorunlardan biri olarak sürekli gündem de kalmaktadır. Ülkemizin enerji konusunda ana hedeflerinden biri de, enerji ihtiyacının karşılanmasında kendi öz kaynaklarımızın tamamının günün teknolojisi ve standartlarına uygun olacak şekilde yeniden değerlendirilmesi ve etkin düzeyde kullanılmasıdır. Ana hatları ile bahsetmiş olduğumuz öz kaynaklarımızdan biri de alternatif ve temiz enerji olarak karşımıza çıkan Jeotermal enerjidir.

Çok basit olarak yerkabuğunun derinliklerinden gelen ısı olarak özetlenenbilen Jeotermal enerji kaynağının ülkemiz genelinde tam olarak potansiyelinin belirlenmesi oldukça önemli bir konudur. Potansiyelin belirlenmesinde, açılan kuyularda yapılacak debi testlerinin oldukça önemli olduğu bilinmektedir. Buna ilave olarak kaynakların tesbiti ve değerlendirilmesi açısından ısı akısı ve rezervuar sıcaklıklarına ait çalışmalardan da yararlanılmaktadır. Oldukça aktif bir tektonizmaya sahip ülkemizde, jeotermal kaynakların tektonizma ile olan ilişkisinde yakinen bilinmektedir.

Yaptığımız çalışmada ülkemizin tamamını kapsayan sıcak ve mineralli su kaynaklarına ait, yayınlanmış oldukça büyük bir veri arşivi kullanılarak, silika jeotermometresi yardımı ile rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. Kullanılan ampirik bağıntılar yardımı ile bu değerlerden ısı akısına geçiş yapılarak ülkemizin Jeotermal potansiyeline ışık tutabilecek veriler elde edilmiştir.

1 GİRİŞ

Ülkemizin enerji konusunda en önemli ana hedeflerinden biri, dışarıya olan bağımlılıktan kurtulmak amacıyla, enerji ihtiyacının karşılanmasında kendi öz kaynaklarımızın tamamının günün teknolojisi ve standartlarına uygun olacak şekilde yeniden değerlendirilmesi ve etkin düzeyde kullanılmasıdır. Bu kapsamda adı geçen öz kaynaklarımızdan biri de alternatif ve temiz enerji olarak karşımıza çıkan Jeotermal enerjidir (Kanlı ve Denli, 2004, Kanlı ve Denli, 2006). Jeotermal enerji potansiyelinin araştırılmasında bir çok yöntem ve teknik kullanılmaktadır. Ayrıca ülkemiz genelinde oldukça yaygın olan sıcak su kaynakları da, bu potansiyelin ortaya çıkarılmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. İçinde bulunduğumuz aktif tektonik kuşak ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sismik aktivite de, jeotermal potansiyelin oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Jeotermal sahalar ve sıcak su kaynakları ile, sismik aktivite arasında yakın bir ilişki olduğu bilinmektedir (Kanlı, 2002a,b,c). Tüm bu verilerin ışığı altında, ülkemiz ısı akısı verilerinin dağılımının da jeotermal potansiyelin tanımlanmasında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Yapılan çalışmada, ülkemiz jeotermal potansiyelinin daha belirgin olarak açığa kavuşturulmasında katkısı olacağı düşünülen bir veri bankası hazırlanmış ve haritalanmıştır.

Bu amaçla, ülkemiz genelinde yayınlanmış oldukça büyük bir veri arşivi kullanılarak, ortalama 900 adet sıcak ve mineralli su kaynaklarından yapılan kimyasal analiz değerleri yardımıyla, Türkiye genelinde silika rezervuar kayaç sıcaklıkları hesaplanarak haritalanmış ve buna bağlı bir ısı akısı haritası hazırlanmıştır.

2 KULLANILAN YÖNTEM

Rezervuar sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerin başında Jeotermometreler gelmektedir. Bunlardan en çok kullanılanları ve yaygın olanları, Na-K , Na-K-Ca ve K-Mg jeotermometreleridir (Truesdell ve Fournier, 1976, Fournier, ve Truesdell,1973, Truesdell, 1976, Giggenbach, vd.,1983, Giggenbach,1988).

Jeotermometreler jeo-kimyasal yöntemler kullanılarak jeotermal rezervuarlara ait sıcaklıkların hesaplanmasında kullanılan önemli bir tekniktir. Bunun yanında bir diğer yöntem de, çalışmamızda kullanılan Silika jeotermometresi (conductive cooling) yada tekniğidir.

2.1 Silika Yöntemi ile Rezervuar Sıcaklık Dağılımlarının Hesaplanması

İlkışık, 1995 de Batı Anadolu için kaynak sularındaki çözülmüş silica değerlerini kullanarak bir ısı akı haritası hazırlamıştır. Çalışmada kuvarsın sudaki çözülebilirliğinin sıcaklık ile değişimini temel alan silika jeotermometresi kullanılmıştır. Suda çözülmüş silikat (SiO_2) ppm olarak ölçülmüş ise hazne sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$ cinsinden aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (Trusdell, 1976, İlkışık, 1995)

1315

$$T(\text{SiO}_2) = \frac{1315}{5.205 - \log_{10} \text{SiO}_2} - 273.15 \quad (1)$$

Yapılan çalışmada, yukarıdaki bağıntı kullanılarak, tüm Türkiye'yi kapsayan daha geniş bir veri arşivi kullanılarak (yaklaşık 900 adet kaynak) silika rezervuar sıcaklıkları hesaplanmış ve haritalanmıştır (şekil 1). Bu çalışmada mümkün olduğun-

ca fazla kaynaktan yararlanılmış ve aynı sahada bulunan birden fazla kaynak için ortalama değerler alınmıştır (Erişen vd., 1996, Yenil vd, 1969-1976, Çağlar,1970, Başkan ve Canik, 1983, Mutlu, and Güleç, 1998, Uzel ve Dilemre, 1995, Özer ve Yüzbaşıoğlu, 1999). Ortalamaları alınmış veri sayısı 222 adettir. Koordinatlar mümkün olduğunca kaynakların gerçek lokasyonlarını yansıtacak şekilde harita ortamına aktarılmıştır.

2.2 Isı Akısı Hesaplamaları ve Haritalanması

Rezervuar sıcaklığı hesaplanırken bir noktada düşey sıcaklık gradyanı ile birlikte ısı iletkenliğinin ölçülmesi esastır. Bu şekilde detaylı olarak ülkemize ait ısı akı haritası henüz tam anlamıyla tamamlanamadığı için alternatif yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri ise, Silika jeotermometresi ile ısı akısı arasında Swanberg and Morgan'nın 1979 da geliştirmiş olduğu yöntemdir. Bu yöntemde aşağıda verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$T(\text{SiO}_2) = mq + b \quad (2)$$

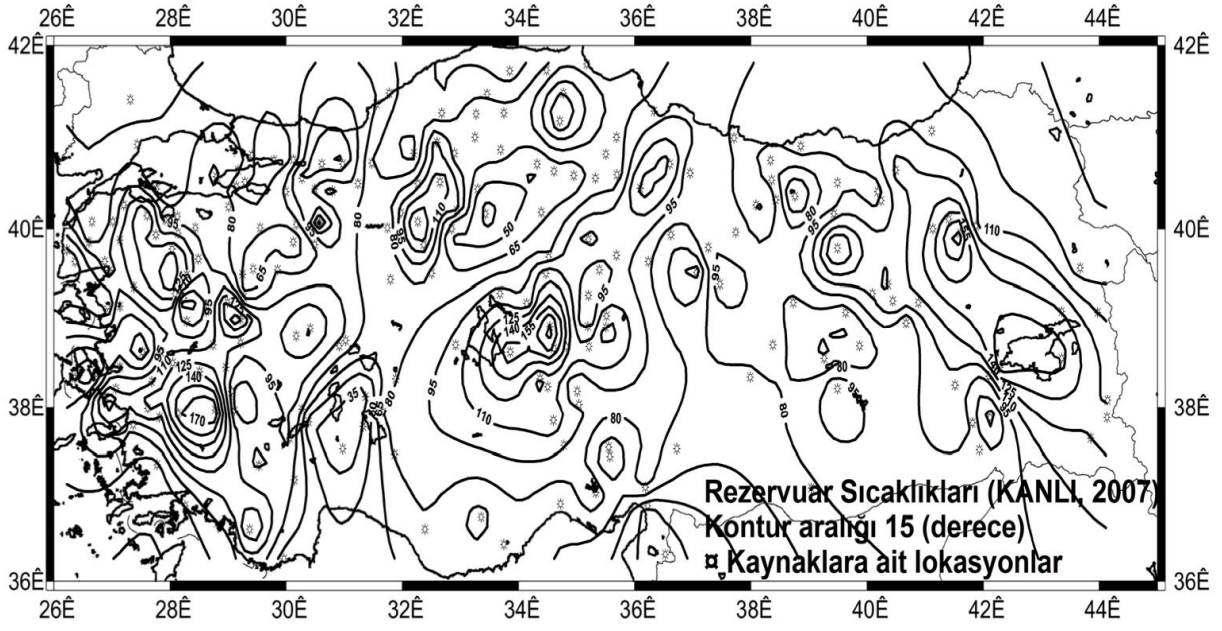
$$q \text{ (mW/m}^2\text{)} = (T(\text{SiO}_2) - b) / m) \quad (3)$$

Burada, $T(\text{SiO}_2)$ C° cinsinden rezervuar sıcaklığını, q (mW/m²) ısı akısı değerini, b C° cinsinden uzun yıllara ait yüzey sıcaklık ortalamasını ve m eğim değeri ise termal direnç olup, termal iletkenlikle çarpıldığında metre cinsinden sıcak suların dolaşım yapmış olduğu derinliği vermektedir. Çalışmada T.C. Başbakanlık Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan son 50 yıllık ortalama yüzey sıcaklıkları kullanılmıştır. Ayrıca m değeri 0.7 olarak alınmıştır (İlkışık, 1995). Bu yön-

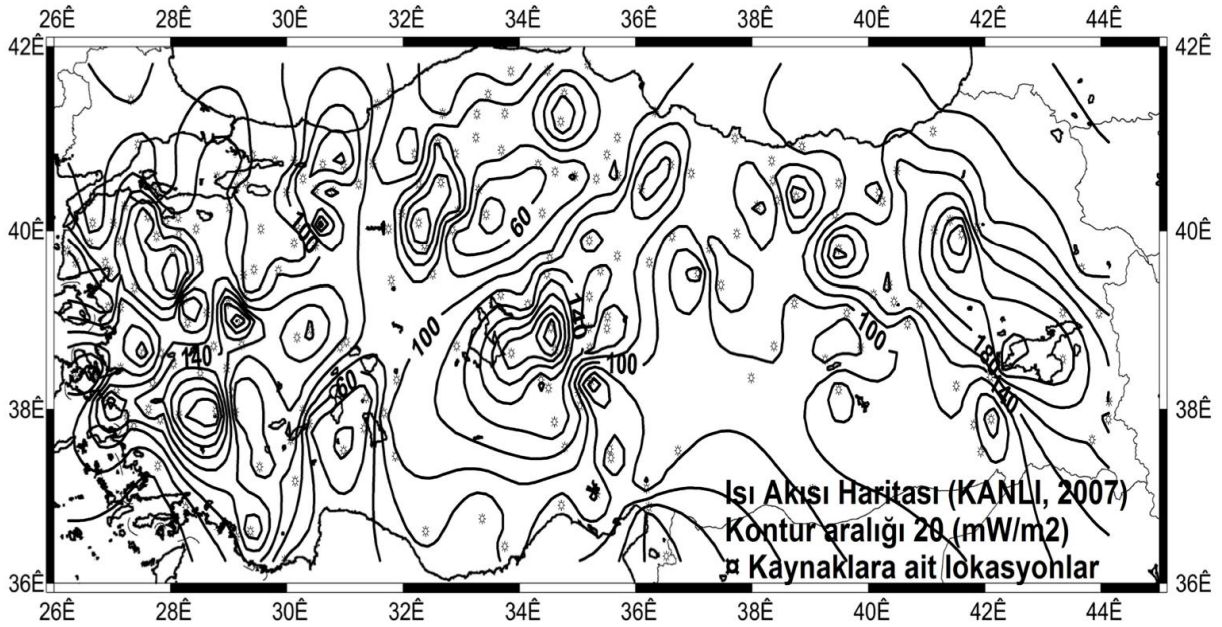
tem, İlkışık, 1995 tarafından Batı Anadolu nun ısı akısı dağılımının hesaplanmasında kullanılmıştır. Aynı yöntem ile elimizdeki veri bankası kullananılarak tüm Türkiye'yi kapsayan bir ısı akı haritası elde edilmiştir (şekil 2).

3 SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar öncelikle ülkemiz jeotermal potansiyelinin belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Rezervuar sıcaklıklarının ve ısı akısı değerlerinin hesaplanmasında ve haritalanmasında silika yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında, rezervuar sıcaklıklarının elde edilmesinde diğer jeotermometreler ile yapılacak olan hesaplamalar ile elde edilen sonuçların karşılaştırmalarının yapılması planlanmaktadır. Elde edilen ısı akısı haritası daha önceden hazırlanan haritalar ile genelde bir uyum içindedir. Oldukça fazla sayıda verinin kullanılmış olması avantajların yanında bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir. Elde edilen ısı akısı haritasının ülkemiz genel tektonizması ile uyumu ve diğer yapılmış olan ısı akısı ve jeotermal tabanlı çalışmalar ile olan çok yönlü karşılaştırmalarının mutlaka yapılması gerekmektedir. Detaylı olarak yapılması planlanan bu karşılaştırmalar ile, elde edilen sonuçların ne derece kullanılabilir olduğu ileriki çalışmaların temelini oluşturacaktır.



Şekil 1. Silika yöntemi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ($^{\circ}$) dağılım haritası.



Şekil 2. Silika yöntemi ile hesaplanan Türkiye ısı akısı haritası.

KAYNAKLAR

Başkan,M.E., Canik, B., 1983, AIH Türkiye Sıcak ve

Mineralli Sular Haritası Ege Bölgesi, *MTA yayınları*, No:189, 80 sayfa.

Çağlar,K.Ö., 1970, *Türkiye Şifalı Sular Kitabı*, 4

fasikül. 790 sayfa.

Erişen,B.,Akkuş,İ.,Uygur,N.,Koçak, A.,1996,

Türkiye Jeotermal Enventari, MTA Yayınları.

Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An empirical

Na–K–Ca geothermometer for natural waters, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1255–1275.

Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H., 1983, Isotopic and Chemical Composition of Parbatia Valley Geothermal Discharges, NW-Himalaya, India, *Geothermics*, 12, 199-222.

Giggenbach,W.F.,1988, Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765.

Ilkisik, M., 1995. Regional heat flow in Western

Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs, *Tectonophysics*, 244, 175–184.

Kanlı,A.I., 2002a, Geothermal and Hydrocarbon

Occurrences in Relation to the Active Tectonics of Eastern Anatolia, *The Tectonics of Eastern Turkey and The Northern Arabian Plate, International Workshop*, 23-25 September 2002

Erzurum, Turkey, Abstracts, p. 42.

Kanlı,A.I., 2002b, Geothermal and Hydrocarbon

Potential and Their Relations to the Seismic Activity in Turkey. Nato Advanced Study Institute (ASI) Meeting, Trest, Czech Republic, 17-27 July-2002, *Hydrogeophysics: Improved Subsurface Characterization Using Integrated Geophysical Data*, <http://lnx.lbl.gov/hydroASI/home.html>.

Kanlı,A.İ.,2002c,Van İli ve Çevresinin Jeotermal

Potansiyeli ve Depremselliği, Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştay (DAJEO-2002), 02-06 Eylül 2002, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh-Mim. Fak., Jeoloji Müh.Bölümü, Van, Bildiri Özleri, s.32-33.

Kanlı, A. I., Denli, A., 2004, Alternatif Enerji

Kaynakları ve Türkiyedeki Durumu, *TMMOB*

Çevre Mühendisleri Odası, Çevre Bilim& Teknoloji Dergisi, cilt 2, sayı 2, s. 179-191.

Kanlı,A.I., Denli, A., 2006, Ülkemizin alternatif enerji kaynaklarına genel bir bakış, *Türkiye 10*.

Enerji Kongresi, Kasım 27-30, 2006, İstanbul, cilt 2, s. 145-154.

Mutlu, H., Güleç, N., 1998, Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515.

Özer, N., Yüzbaşıoğlu, N., 1999, Türkiye Mineralli Su Kaynakları I Ege Bölgesi, *İ.Ü. Araştırma Fonu Projesi*, Proje no: 874/090896.

Swanberg, C.A. and Morgan,P., 1979,

The linear relation between temperatures based on the silica content of groundwater and regional heat flow: A new heat flow map of United States, *Pure Appl. Geophysics*, 117, 227-241.

Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., 1976, Calculations of Deep Temperatures in Geothermal Systems from The Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin, *Proceedings of 2nd United Nations Symposium on The Development and Use of Geothermal Resources*, 1, 837-844.

Truesdell, A.H., 1976, Summary of section 3: Geochemical techniques in exploration, *Proc. 2nd UN Sym. Development and use of Geothermal Resources*, San Francisco, 1975, 1. US Gov. Print. Off. Washington, D.C. pp. 1ii-1xx.

Uzel, F., Dilemre, A., 1995, *Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri*, MTA Yayınları.

Yenal, O., vd., 1969-1976, *Türkiye maden suları*,

Akdeniz, Karadeniz, Doğu ve Güney-Doğu Anadolu Bölgeleri (cilt 5), İç Anadolu Bölgesi (cilt 4), Marmara Bölgesi (cilt 2), Ege Bölgesi (cilt 3), İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Kürsüsü.

KAVAKLIDERE- GÖBEKLI-ALAŞEHİR (MANISA) JEOTERMAL ALANI'NIN HIDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Ali BÜLBÜL

Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir

Gültekin TARCAN

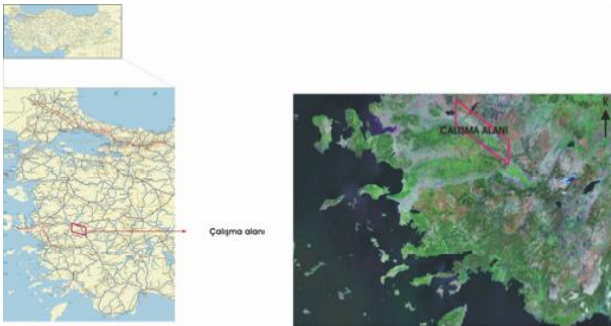
Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir

ÖZET

Kavaklıdere-Göbekli (Alaşehir) jeotermal alanı, Türkiyede jeotermal aktivite açısından önem arzeden Gediz Grabeni'nin güney sınırında yer almaktadır. Çalışma alanında, Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'nin mermer ve şistleri jeotermal sistemin hazne kayasını oluşturur. Neojen yaşlı Acıdere ve Göbekli formasyonlarında yer alan geçirimsiz killi seviyeler örtü kayacı oluştururlar. Sıcak suların varlığı graben tektoniği ve Acıdere Fayı ile yakından ilişkilidir. Beşi sıcak olmak üzere, 50 civarında su örneği örneklenmiş, arazi parametreleri ölçülerek laboratuvarında kimyasal analizleri yapılmıştır. 1447m derinlikte olan KG1 Kuyusu; Kızıldere (242°C), Germencik (232°C), Yeniköy (213°C) jeotermal alanlarından sonra Türkiyenin en yüksek kuyu dibi sıcaklığına sahip dördüncü jeotermal kuyusudur. Ölçülmüş EC değerleri 107 ve 5690 mikromho/cm arasında, pH değerleri 6,06 ve 8,62 arasındadır. Bor derişimi 0 ila 110ppm, Si derişimi 0,9 ila 95,4ppm, Na derişimi 6,3 ila 1442,6ppm, Cl derişimi 6 ila 173,9ppm arasında değişmektedir. Sıcak suların fasiyesleri genelde Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃ tipinde olup soğuk sularda ise genelde Ca-Mg-HCO₃ tipi yaygındır. Termal suların mineral doygunluk indeksleri anhidrit için, -2,42 ila -1,16, amorf silis için -1,23 ila 0,07, kalsedon için 0,79 ila 0,24, kalsit için -2,408 ila 0,829 dolomit için 0,744 ila 2,445, kuvars için 0,59 ila 1,52 değerleri arasında değişim göstermektedir. Pozitif olan aşırı doygun minerallere bağlı doygunluk ideksleri kabuklaşma riskini göstermektedir. Farklı iyonlar için yapılan kontur haritaları, yüksek bor içerikli termal suyun, sulama için kullanılan yüzey ve yeraltısularına karıştığını göstermektedir. Bu karışma soğuk su akiferlerinde, yüzey sularında ve tarım alanlarındaki toprakta kirlenmeye neden olmaktadır.

GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı Manisa İli Alaşehir İlçesi civarında gözlenen sıcak ve soğuk su sistemleri'nin hidrojeokimyasal olarak incelenmesidir (Şekil-1). Çalışma alanında gözlenen jeolojik formasyonlar önceki çalışmalarda farklı araştırmacılar tarafından çeşitli isimlerle adlandırılmışlardır. Bu çalışma kapsamında incelenen makalelerden hareketle jeoloji haritasında (Şekil-2) belirtildiği gibi bölgede gözlenen birimler farklı ortamları ve özellikleri ile ayırtlanmış tortul paketleri şeklinde isimlendirilmiştir. Buna göre, çalışma alanında en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri bulunmaktadır. Bu metamorfik kayaların üstüne Neojen yaşlı bir tortul istif gelmektedir. Bu istif kendi içinde 3 sedimanter tortul paketinden oluşmaktadır. Bunlar alttan üstte doğru Erken-Orta Miyosen yaşlı 1. sedimanter istif, Alt Pliyosen-Geç Miyosen yaşlı 2. sedimanter istif ve Pliyo-Pleyistosen yaşlı 3. sedimanter istif olarak verilebilir. Bu birimleri ise uyumsuzlukla Holosen yaşlı alüvyon örtmektedir. Kavaklıdere-Göbekli (Alaşehir) jeotermal alanı, Türkiyede jeotermal aktivite açısından önem arzeden Gediz Grabeni'nin güney sınırında yer almaktadır.



Şekil-1(Çalışma alanı'nın yeri)

HİDROJEOLOJİ VE SU NOKTALARI

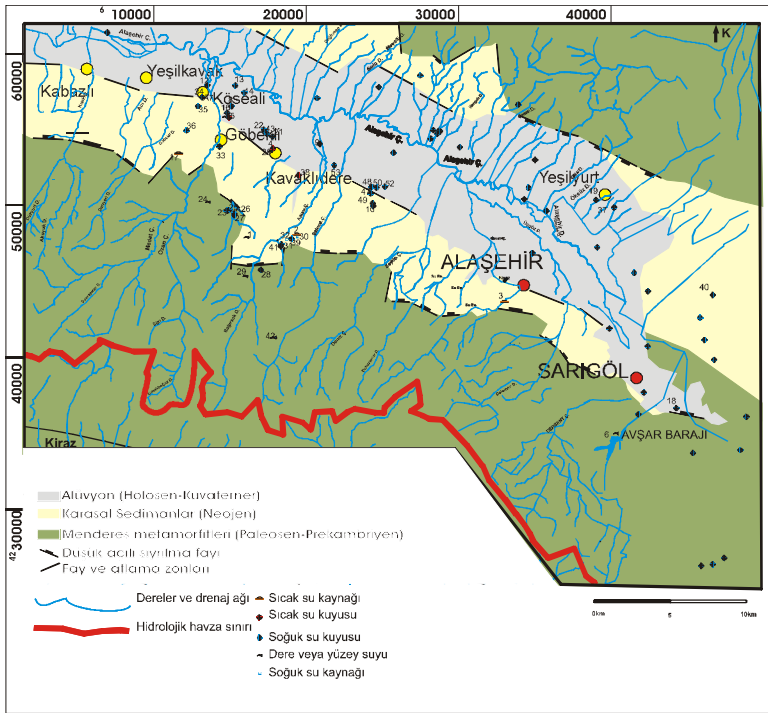
Araştırma yapılan alan, Sarıgöl İlçesinin batısındaki Avşar Barajı'ndan itibaren batıya doğru uzanan Alaşehir Grabeni boyunca Kabazlı Beldesi'ne kadar uzanmaktadır. Alaşehir Çayı grabene drenaj açısından gelen suları kuzeybatıya (Salihli İlçesi'ne) doğru ve daha sonra Gediz Nehri'ne karışarak Ege Denizi'ne boşaltmaktadır. Alaşehir İlçesi'nin doğusunda Sarıgöl İlçesi'ne yakın bölgede Avşar Barajı bulunmakta olup, kendisinin güneyindeki ve doğusundaki suları toplamaktadır. Alaşehir Çayı'na grabenin güneyindeki drenaj sisteminden taşınan sular doğudan batıya doğru sırasıyla Azmak Deresi, Ilıca Deresi, Sarısu Çayı, Gümüşçaylı Deresi, Zeytinçay Deresi, Şahyar Çayı, Alhan Çayı, Kavaklıdere Çayı, Göbekli Deresi, Acidere, Kınık Dere, Kabazlı Deresi olarak sıralanır. Bölgede yüzey suları dışında doğal olarak çıkan sıcak sular (sıcak su kaynakları) ve açılmış derin sondajlardan boşalan sıcak sular bulunmaktadır. Bu termal sular ve kuyular doğudan batıya doğru sırasıyla Alaşehir Ilıcası, Kurudere'de bulunan AK1 sondajı (212°C kuyu dibi sıcaklığı), Horzumsazdere Ilıcası (33°C), Göbekli girişinde açılan KG1 sondajı (183°C), Acidere'den çıkan Sarısu ve bunların dışında bölgede açılmış pek çok sera amaçlı sular (Birisi Alaşehir-Salihli eski karayolu üzerinde) sayılabilir. Ayrıca alüvyonda açılmış pek çok sulama ve kullanma amaçlı soğuk su sondaj kuyuları bulunmaktadır (Şekil-2).

HİDROJEOKİMYA

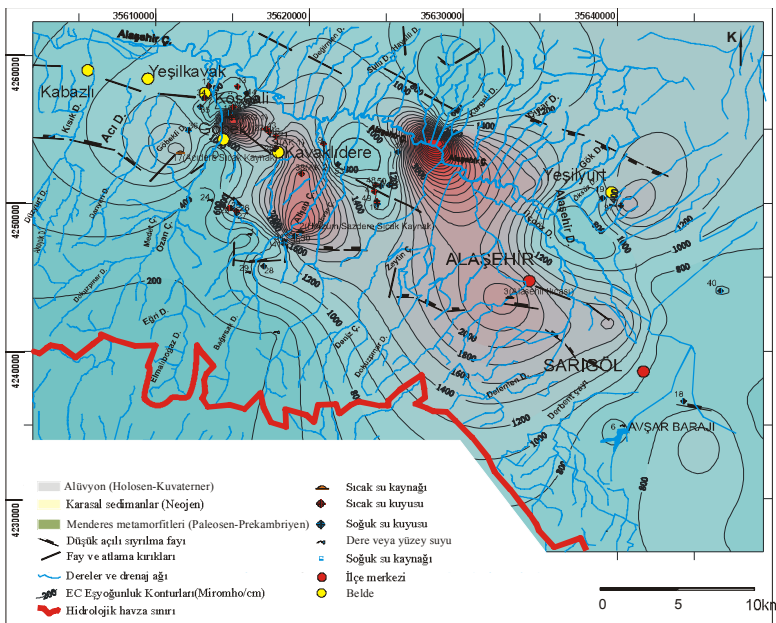
Bölgede yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarında EC, pH, Eh, tuzluluk ve sıcaklık değerleri ölçülmüş, bu yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerde ki ma-

zor iyon (Ca, Mg, Na, K, Si, Cl, SO₄, HCO₃) derişimleri belirlenmiştir. Grafiklerden ve kontur haritalarından da görüldüğü üzere (Şekil-3-6-7), bölgede jeotermal sistemin varlığından kaynaklanan ve detachment faylar ve yetersiz/yanlış kaptajlı derin kuyular aracılığı ile taşınan jeotermal akışkanın, soğuk su akiferine karışmasından dolayı soğuk su akiferleri kirlenerek tarımsal ve içme amaçlı kullanılacak suyun kalitesi düşmekte, bununla birlikte jeotermal su enerjisini faydalanılmadan yitirmektedir.

Çalışma alanında bulunan suları jeokimyasal açıdan değerlendirmek gerekirse (Şekil-4), bölgede 4 farklı karakterde suyun bulunduğu söylenebilir. Bunlardan birisi; EC'si ve çözülmüş madde içeriği yüksek olan termal su, diğeri beslenme alanından gelerek grabene ulaşırken CO₂ basıncına ve içinden geçtiği litolojik birimlerin türüne bağlı olarak bazı kimyasal değişimler geçiren yeraltısuyu, bir diğeri beslenmeden itibaren sürekli drenaj ağı üzerinde bulunan ve az miktarda çözülmüş madde içeren, kirlenmeye açık



Şekil-2: Jeoloji Haritası ve drenaj ağı:



Şekil-3: EC eşyoğunluk haritası:

Tablo-1: Suların bazı fiz. ve kimyasal öz.

NO	Tarih	Kaynak Türü	EC	Salinity	Eh	Ph	T	Ca	Mg	Na	Cl	S	HCO3	CO3	Si	B	Suyun Türü
			10 ⁻⁶ S/cm	mv		°C	mg/l										
1	16.02.2007	Y	244	0,0	212,6	6,61	7,8	20,0	10,5	8,6	6	9	113,5	0,0	8,9	0,0	Yüzey suyu
2	16.02.2007	JK	3720	1,9	170,1	6,58	30,6	116,6	65,3	715,0	169		2562,7	0,0	84,9	110,6	Jeotermal su
2	08.05.2005	JK	3680	1,9	0,0	6,48	32,4	14,2	68,8	742,8	202	2313	1 0,00	95,1	110,5		Jeotermal su
3	16.02.2007	JK	2630	1,2	0,3	6,13	28,1	134,6	160,0	267,6	72	63	1667,8	0,0	28,0	26,8	Jeotermal su
3	26.06.2006	JK	2230	1,0	22,7	6,19	29,6	136,7	166,7	202,2	59	80	2090,3	0,0	23,6	19,3	Jeotermal su
4	02.03.2007	JS	4450	2,3	8,14		21,0	5,0	1,8	1289,7	342		2928,8	0,0	41,9	15,0	Jeotermal su
5	02.03.2007	JS	5480	2,9	22,0	6,38	15,6	11,9	2,2	1718,4	174		4423,7	0,0	94,0	107,6	Jeotermal su
5	26.06.2006	JS	5880	3,2	-39,5	6,55	23,1	16,3	2,4	1894,2	159		4866,1	0,0	103,4	110,2	Jeotermal su
6	02.03.2007	Y	497	0,0	-59,0	7,89	13,0	59,6	27,6	17,8	15	31	167,8	0,0	0,7	0,0	Yüzey suyu
7	22.02.2007	K	720	0,1	21,5	7,34	24,4	42,4	19,1	79,8	33	17	329,5	0,0	14,6	1,0	Jeotermal su karşıs% içeren su
9	19.03.2007	K	1130	0,3	109,7	6,86	26,4	80,9	59,7	125,5	19	20	701,7	0,0	17,6	2,2	"
10	19.03.2007	K	757	0,1	-5,0	6,81	19,7	71,4	42,9	52,3	18	24	406,8	0,0	10,5	1,9	"
11	19.03.2007	K	1133	0,3	-5,0	6,86	17,2	103,1	73,0	70,8	24	42	1220,4	0,0	13,6	1,0	"
12	22.02.2007	K	973	0,2	36,7	7,19	21,2	63,3	55,0	75,3	41	22	451,5	0,0	12,3	1,2	"
13	22.02.2007	K	790	0,1	158,0	6,92	21,8	70,3	32,8	59,9	19	25	439,3	0,0	14,6	0,8	
14	22.02.2007	K	764	0,1	40,5	6,93	23,3	82,1	32,3	53,1	15	12	475,9	0,0	15,6	0,6	
15	22.02.2007	Y	264	0,0	110,2	6,67	17,9	16,4	6,2	22,5	9	10	66,0	0,0	15,2	0,9	Yüzey suyu
16	22.02.2007	K	223	0,0	178,2	7,05	15,9	22,5	7,9	13,4	5	9	85,4	0,0	11,5	0,4	
17	26.06.2006	JK	1538	0,6	8,0	5,94	28,5	185,8	27,1	168,0	20	3	1149,2	0,0	39,1	7,4	Jeotermal su
17	08.05.2005	JK	1735	0,7	42,0	6,06	29,1	191,2	30,5	186,1	22	2	1210,2	0,00	41,3	8,2	Jeotermal su
20	02.03.2007	Y	844	0,2	-76,0	8,22	12,3	65,2	28,1	96,5	16	18	472,9	0,0	9,4	0,3	Yüzey suyu
21	02.03.2007	K	1445	0,5	14,0	6,54	28,0	97,3	48,3	200,6	28	14	991,5	0,0	26,8	3,3	Jeotermal su karşıs% içeren su
22	02.03.2007	K	1655	0,7	27,0	6,31	31,0	130,4	47,0	236,4	38	17	1006,8	0,0	22,3	2,2	
23	08.05.2005	K	1560	0,6	-16,0	6,87	23,9	80,3	205,6	23,7	11	93	817,4	2,60	13,0	0,0	
24	08.05.2005	A	155	0,0	-46,0	7,50	23,9	16,6	6,9	5,4	2	13	73,2	0,0	8,4	0,0	
25	08.05.2005	K	790	0,1	-80,0	8,20	18,0	80,7	82,9	12,9	9	31	383,1	33,60	11,2	0,0	
26	08.05.2005	K	1021	0,3	-25,0	7,17	23,9	26,5	144,3	51,3	82	22	590,5	24,00	7,2	0,1	
27	08.05.2005	K	1354	0,5	-33,0	7,33	14,7	163,4	104,9	27,7	44	95	590,5	0,00	12,8	0,0	
28	08.05.2005	K	1246	0,4	-14,0	6,98	14,7	155,2	72,9	30,9	69	40	507,5	0,00	16,8	0,1	
29	08.05.2005	K	683	0,1	-77,0	8,14	11,0	97,0	49,3	7,6	11	36	284,3	48,00	5,7	0,1	
30	08.05.2005	MK	2240	1,0	-90,0	8,34-?	16,7	39,5	118,9	307,3	86	46	917,4	106,80	25,9	41,6	Minerali su
31	08.05.2005	MK	2710	1,5	3,0	6,34	16,4	11,6	128,1	351,1	80	48	658,8	0,00	46,4	50,4	Minerali su
32	08.05.2005	MK	3150	1,5	3,0	6,69	15,1	208,9	148,5	529,3	115	27	1134,6	0,00	52,5	69,8	Minerali su
33	08.05.2005	Y	225	0,0	-44,0	7,57	11,3	94,3	29,2	23,1	6	17	98,82	0,00	17,3	0,0	Yüzey suyu
34	08.05.2005	A	798	0,1	-53,0	7,73	14,3	69,5	43,9	94,3	17	16	417,2	0,00	13,7	2,0	
35	08.05.2005	K	619	0,0	-49,0	7,65	14,7	40,9	22,8	82,2	12	10	380,6	0,00	12,2	1,7	
36	08.05.2005	K	1237	0,4	-25,0	7,24	14,7	38,2	43,7	174,0	31	36	689,3	0,00	17,6	3,3	
38	08.05.2005	JK	3150	1,8	-72,0	7,99	45,5	10,8	1,4	926,0	224	16	2054,5	0,00	229,9	124,2	Jeotermal su
39	08.05.2005	MK	2270	1,0	-12,0	7,01	17,3	162,9	124,4	631,0	144	21	1366,4	0,00	79,4	88,2	
41	08.05.2005	K	945	0,2	-20,0	7,29	16,9	140,0	19,7	50,6	40	18	461,2	0,00	22,5	0,3	
42	08.05.2005	A	203	0,0	-68,0	7,94	24,4	25,7	10,3	19,3	8	7	78,1	0,00	7,7	0,3	
43	08.05.2005	K	1128	0,3	1,0	7,94	24,4	179,9	57,0	90,1	37	11	602,7	0,00	17,9	0,6	
44	08.05.2005	K	808	0,2	-22,0	7,17	24,4	72,5	16,1	114,7	19	14	419,7	0,00	24,1	0,6	
45	08.05.2005	K	4390	2,2	-61,0	7,91	16,0	6,5	2,5	1351,1	2724	44,9	0,00	32,6	11,9		
46	08.05.2005	K	1634	0,7	13,0	6,55	31,2	113,9	58,2	235,7	31	15	702,7	0,00	32,9	5,0	
47	19.03.2007	K	1331	0,5	140,9	6,68	21,0	154,6	61,5	70,3	37	37	732,2	0,0	19,5	2,3	
48	19.03.2007	K	1141	0,3	?	6,66	25,5	117,3	63,3	71,7	24	23	671,2	0,0	15,9	1,8	
49	19.03.2007	K	1348	0,5	21,0	6,42	28,0	133,2	25,2	183,9	23	15	976,3	0,0	34,6	3,5	Jeotermal su karşıs% içeren su
50	19.03.2007	K	915	0,2	-21,0	7,16	21,3	90,1	53,3	54,9	27	26	472,9	0,0	13,1	1,7	
51	19.03.2007	K	876	0,2	-19,0	7,14	20,5	87,1	53,0	53,1	27	25	427,3	0,0	13,0	1,8	
52	19.03.2007	K	686	0,1	-13,0	6,94	20,6	65,6	49,8	27,0	13	26	381,4	0,0	12,7	0,2	
53	19.03.2007	K	611	0,0	-64,0	8,03	15,6	55,2	36,8	35,3	18	19			10,1	1,4	

JK: jeotermal kaynak, JS: jeotermal sondaj, K: kuyu,
A: artezyen, MK: minerali su kaynağı, Y: yüzey suyu

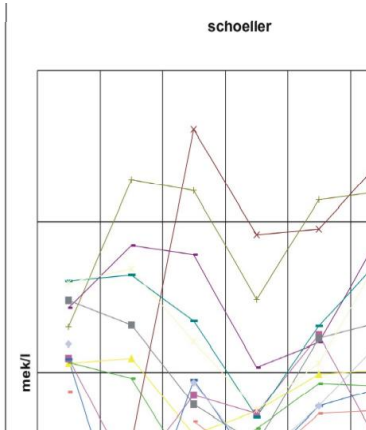
yüzeysuları, sonuncusu ise termal sularla diğer suların karışımından oluşan karışım sularıdır. Piper Diyagramında gösterildiği üzere, inceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğu $(SO_4 + Cl) < (HCO_3 + CO_3)$ sınıfında olup, genellikle $(Ca + Mg) > (Na + K)$ olan sularındandır. Çoğunlukla iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık sular ve karbonat sertliği %50'den fazla olan sular mevcuttur(Şekil-5)

SONUÇLAR

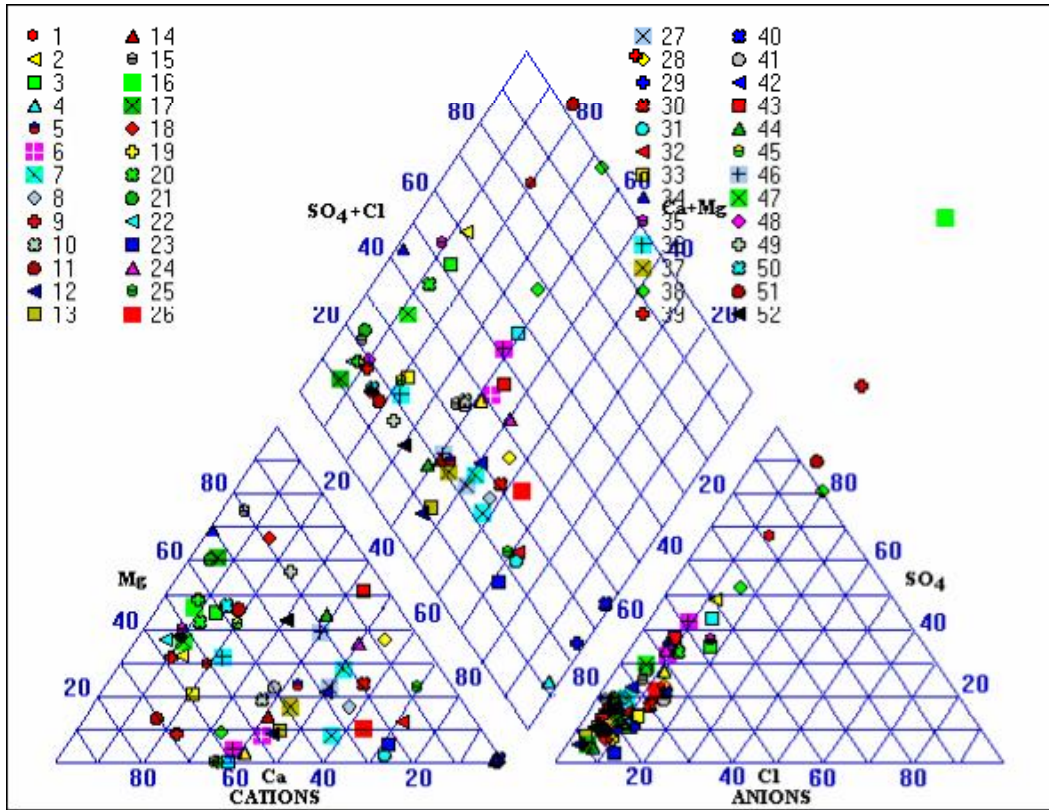
Çalışma alanında en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri bulunmaktadır. Bu metamorfik kayaçların üstüne Neojen yaşlı bir tortul istif gelmektedir. Bu istif kendi içinde 3 sedimanter tortul paketinden oluşmaktadır. Bunlar alttan üstte doğru Erken-Orta Miyosen yaşlı 1.sedimanter istif, Alt Pliyosen-Geç Miyosen yaşlı 2. sedimanter istif ve Pliyo-Pleyistosen yaşlı 3. sedimanter istif olarak verilebilir. Bu birimleri ise uyumsuzlukla Holosen yaşlı alüvyon örtmektedir.

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları

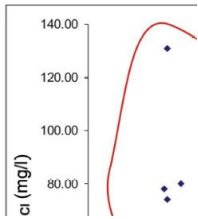
larında örneklenmiş 80 civarında suyun EC, pH, Eh, tuzluluk ve sıcaklık değerleri ölçülmüş, bu yüzey ve yeraltı sularından alınan örneklerde major iyon (Ca, Mg, Na, K, Si, Cl, SO_4 , HCO_3) derişimleri belirlenmiştir . Bunlardan termal suların EC değerleri 2230–5880 $\mu S/cm$ arasında, yüzeydeki ölçülmüş sıcaklıkları ise 45.5°C ile 23.1°C arasındadır. Ayrıca alüvyonda açılmış pek çok sulama ve kullanma amaçlı sondaj kuyuları bulunmaktadır. Sulama amaçlı kuyularda da bazı lokasyonlarda kayda değer EC ve sıcaklık artışı gözlenmekte olup bazen sıcaklık değerleri 30°C ye kadar çıkmakta ve EC değerleri 1800 mikro siemens değerine kadar artış göstermektedir. Bu olayın nedeni alüvyondaki soğuk suyun içerisine termal suyun karışmasıdır. Karışma oranına bağlı olarak Cl, B, EC değerlerinde artış olmaktadır. Yüzeyde akış halinde olan derelerde de lokasyona bağlı olarak termal veya atık su karışımından kaynaklanan EC artışı gözlenmiştir. Bu artışlar ayrılma fayı boyunca termal su getirimine bağlı olarak termal suyun alüvyondaki suya karışmasından kaynaklanmaktadır.



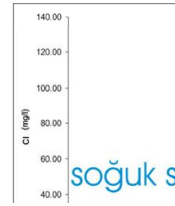
Şekil-4: Schoeller diyagramında karakteristik su tipleri



Şekil-5:Piper diyagramında bazı suların belirlenmesi



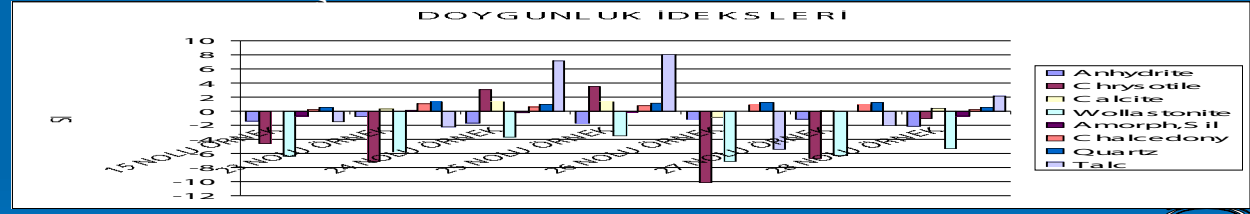
Şekil-6: Cl-Yükseklik, EC- Yükseklik arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram



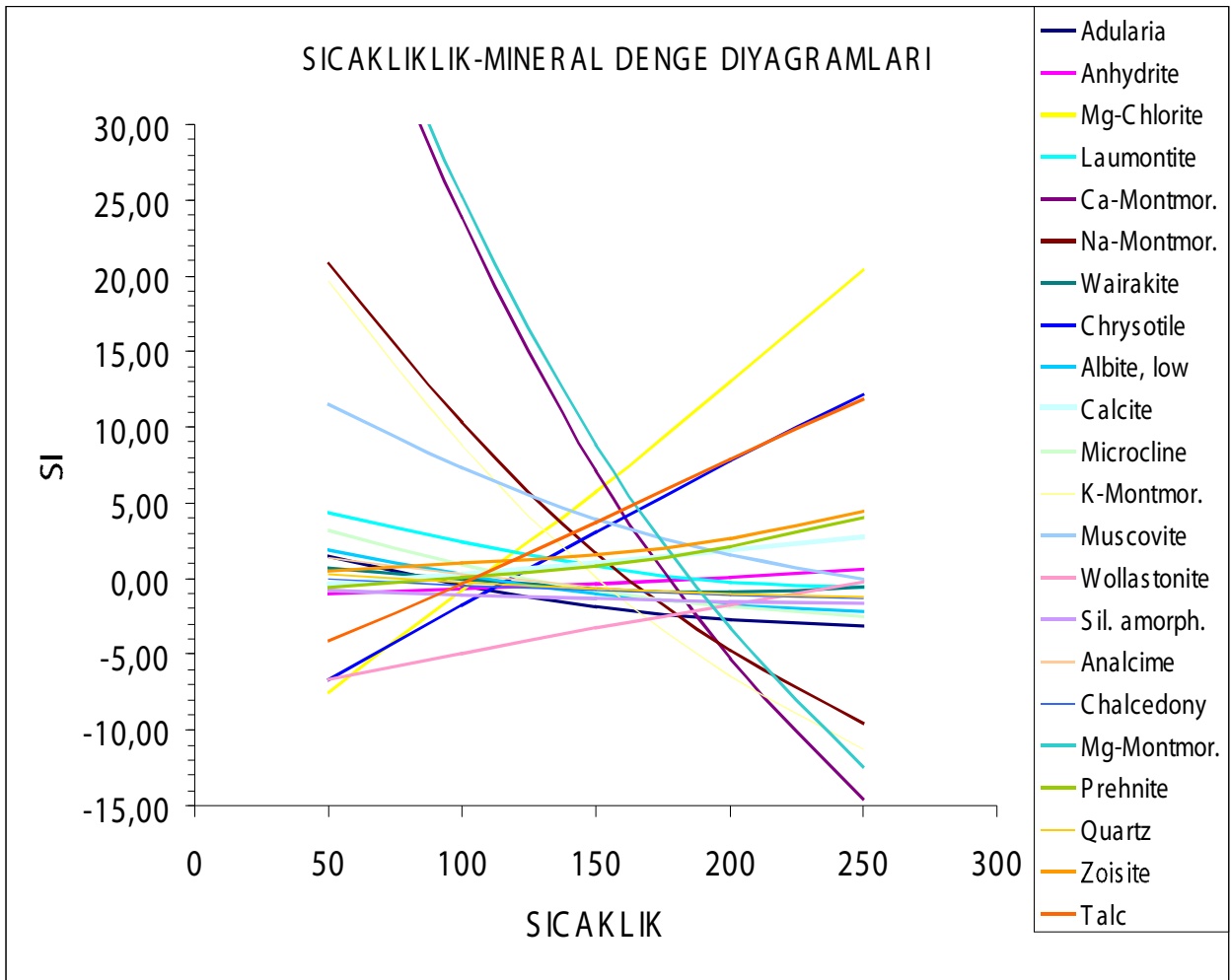
Şekil-7: Cl ile EC, Bor ve Silis ilişkisi

Tablo-2: Bazı suların, bazı iyon derişimlerine göre hesaplanan termal su karışım oranları(Uç bileşen olarak jeotermal kaynakların ilgili maximum derişimleri ile beslenme bölgesindeki soğuk suların minium derişimleri kulanılmıştır).

örnek no	sıcak su		%		karışım		oranları							
	7	9	10	11	12	13	14	16	20	21	22	34		
EC'ye göre	9,4	16,9	10,1	16,9	14,0	10,7	10,2	0,4	11,7	22,6	26,5	10,8		
Cl'ye göre	19,7	10,8	10,2	14,0	24,8	10,8	8,3	1,9	8,9	16,6	22,9	9,6		
B'a göre	0,9	2,0	1,8	0,9	1,1	0,7	0,6	0,3	0,3	3,0	2,0	1,8		
HCO ₃ 'e göre	5,5	13,2	7,1	24,0	8,0	7,8	8,5	0,4	8,5	19,3	19,6	7,3		
Si'e göre	13,3	16,2	9,3	12,3	11,0	13,3	14,3	10,3	8,2	25,2	20,8	12,4		
örnek no	35	36	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52		
EC'ye göre	7,6	18,8	16,9	11,0	76,3	26,1	20,6	17,1	20,9	13,0	12,3	8,8		
Cl'ye göre	6,4	18,5	22,3	10,8	175,2	18,5	22,3	14,0	13,4	15,9	15,9	7,0		
B'a göre	1,5	3,0	0,5	0,6	10,8	4,5	2,1	1,6	3,1	1,6	1,6	0,2		
HCO ₃ 'e göre	6,6	13,0	11,2	7,4	49,6	13,3	13,9	12,6	19,0	8,5	7,5	6,6		
Si'e göre	10,9	16,2	16,5	22,6	30,8	31,2	18,0	14,5	32,8	11,8	11,7	11,4		



Şekil-8: 25°C için bazı sıcak sulardaki doymunluk endeksi değeri (0'ın üzerindeki çökelmeyi gösterir)



Şekil-9: Alaşehir Ilıca Kaynağındaki Suyun Watch-97 Programıyla hesaplanmış, sıcaklık – mineral doymunluk endeksi grafiği

Alüvyon akiferlerde bulunan soğuk yeraltısuyuna jeotermal suyun karışım yüzdesi, %1 ila %30 arasında değişmektedir.

Sıcak ve soğuk sulardaki Bor derişimi 0 ila 66,7ppm, Si derişimi 0,9 ila 115,4ppm arasında değişir.

Çalışma alanında bulunan suları jeokimyasal açıdan değerlendirmek gerekirse (Schoeller Diyagramı), bölgede 4 farklı karakterde suyun bulunduğu söylenebilir. Bunlardan birisi; EC'si ve çözünmüş madde içeriği yüksek olan termal su, diğeri beslenme alanından gelerek grabene ulaşırken CO₂ basıncına ve içinden geçtiği litolojik birimlerin türüne bağlı olarak bazı kimyasal değişimler geçiren yeraltısuyu, bir diğeri beslenmeden itibaren sürekli drenaj ağı üzerinde bulunan ve az miktarda çözünmüş madde içeren, kirlenmeye açık yüzeysuları, sonuncusu ise termal sularla diğeri suların karışımından oluşan karışım sularıdır. Piper Diyagramında gösterildiği üzere, inceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğu (SO₄+Cl) < (HCO₃+CO₃) sınıfında olup, genellikle (Ca+Mg) > (Na+K) olan sularındır. Çoğunlukla iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık sular ve karbonat sertliği %50'den fazla olan sular mevcuttur. Bölgedeki bazı termal sular için doygunluk indeksleri 25°C için hesaplanarak grafikte gösterilmiştir (Şekil-8). Ayrıca Alaşehir Ilıcası içinde farklı sıcaklıklara göre doygunluk indekslerinin nasıl değişim gösterdiği grafikte gösterilmiştir (Şekil-9).

KAYNAKLAR

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

Bozkurt, E., Sözbilir, H. (2003). *Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. Geol. Mag. 141(1), pp. 63-79.*

Bjarnason, J.O., 1994. *The Speciation Program WATCH, version 2.1. Orkustofnun, Reykjavik, Iceland (7 pp.).*

Calmbach, L. ,1997. *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, Waterloo hydrogeologic. Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3.*

Emre, T.(1996). *Gediz Grabeni'nin Jeolojisi ve Tektoniği Tr. J. of Earth Sciences, 5, 171-185.*

Emre, T.(1996). *Gediz Grabeni'nin Tektonik Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 39, 2.*

Filiz, S., Gökgöz, A., Tarcan, G.(1993) *Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes Grabens. Congress of the World Hydrothermal Organisation, 13-18 May 1992, İstanbul- Pamukkale, Turkey, pp 129-153.*

Gemici, U., Tarcan, G.(2002). *Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. Environmental Geology, 43: 87-98.*

Güleç, N., Mutlu, H., Yaz Okulu Sunumları, Jenaryum, Gümüldür, İZMİR.

Karahan, Ç., Bakraç, S., Dünya, H. (2003). *Alaşehir- Kavaklıdere- Göbekli Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı'nın (KG-1)*

Değerlendirilmesi. Sondaj Sempozyumu.

Koca, M.Y., Kincal, C.(2001). *The Geotechnical Properties of the Sarıgöl Province (Manisa, Turkey). International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey, 463-480.*

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

Purvis, M., Robertson, A (2005). *Sedimentation of the Neogene- Recent Alaşehir(Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western(Aegean) Turkey. Sedimentary Geology 173, 373-408.*

Sözbilir, H., 2001. *Extensional Tectonics and the Geometry of Related Macroscopic Structures: Field Evidence from the Gediz Detachment, Western Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 10, 2001, pp. 51-67. Copyright ©T.BÜTAK*

Seyitoglu, G., Tekeli, O., Cemen, İ., Sen, S., Isık, V.(2002). *The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. Geol. Mag. 139(1), pp. 15-26.*

Tarcan, G., 2000, *Yeraltısuları Kimyası Ders Notları, D.E.Ü., İZMİR.*

TS-266, 1997, *"Sular-İçme ve kullanma suları. Türk Standartları Enstitüsü", Ankara.*

Tarcan, G., Filiz, S., and Gemici, U. (2000). *Geology and Geochemistry of Salihli Geothermal Fields, Turkey. Proceeding World Geothermal Congress 2000.*

Tarcan, G., Gemici, U., Aksoy N.(2005). *Hydrogeological and geochemical as-*

sessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. Environ. Geol, 47: 523-534.

Tarcan, G. (2005). *Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (> 150 °C) in geothermal areas of Turkey. Journal of volcanology and geothermal research, 142, 263-283.*

USEPA, 1994, *"Drinking Water Regulations and Health Advisories", 202-260-7571, Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency.*

WHO, 1996, *"Health criteria and other supporting information second ed. Guidelines for drinking water quality", vol. 2, World Health Organization, Geneva, Switzerland.*

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı 106Y160 nolu proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederler.

BARDAKÇILAR (ÇAN-ÇANAKKALE) SICAK SU KAYNAĞININ HİDROJEOKİMYASI

Ozan DENİZ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir

Alper BABA

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü,
Çanakkale

Gültekin TARCAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir

ÖZET

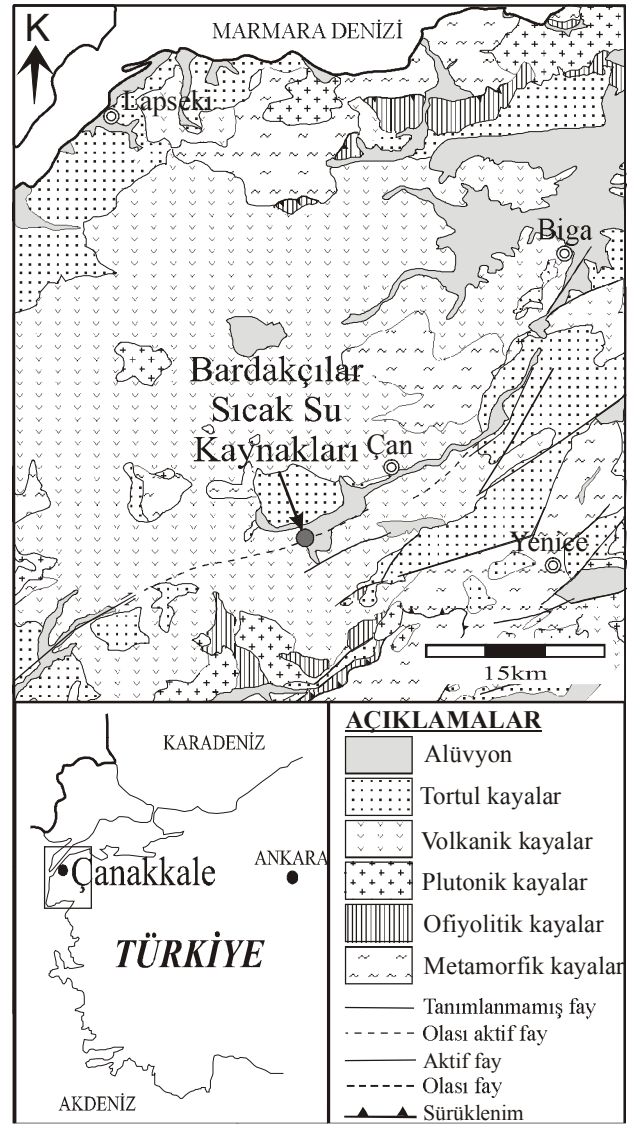
Bu çalışmada Bardakçılar Kaplıcası ve çevresindeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Kaplıcadaki sıcak su kaynakları Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Granodiyorit birimindeki fay zonundan yüzeye çıkmaktadır. Sıcak sular Na-Ca-SO₄'lü sular fasiyesindedir. Sıcaklıkları 44°C-52°C arasında ve elektriksel iletkenlikleri 1533-1625 µS/cm arasında ölçülmüştür. Kaplıca çevresindeki soğuk su kaynaklarında baskın iyonlar Ca, Mg, HCO₃ ve SO₄'tür. Sıcaklıkları 17°C-29°C arasında ve elektriksel iletkenlikleri 364-955 µS/cm arasındadır. Bölgenin hazne sıcaklığının tahmin edilmesi için jeotermometre hesaplamaları yapılmış ve 76°C ile 173°C arasında değerler elde edilmiştir. Bardakçılar kaynaklarının δ¹⁸O ve δD grafiği bu suların meteorik kökenli sular olduklarını göstermektedir. Tritiyum izotopu analizi sonuçları bu suların 40-50 yıl civarında yaş aralığına sahip olduğunu belirtmektedir.

GİRİŞ

Çalışma alanı, ülkemizin kuzeybatısında bulunan Biga Yarımadası'nda yer alır. Biga Yarımadası jeolojik konumu nedeniyle birçok jeotermal alanı bünyesinde barındıran bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu bölgede geçmiş dönemlerde hüküm sürmüş pek çok medeniyete ait tarihi hamam kalıntıları yarımada'daki, Kestanbol, Bardakçılar ve Hıdırlar gibi jeotermal alanlarda halen gözlenmektedir (Baba, A.ve Özbek, O., 2005). Biga yarımadasının en yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanı, yarımadanın güneybatı kesiminde bulunan ve birçok kaynak grubu şeklinde yüzeye çıkan Tuzla'dır (172°C). Bölgedeki diğer sıcak su kaynakları Kestanbol (Ezine, 76°C), Çan (47°C), Alibeyköy (Etili/Çan, 33°C), Bardakçılar (Çan, 53°C), Karılıca (Etili/Çan, 51°C), Kırkgeçit (Biga, 53°C), Kocabaşlar (Lapseki, 33°C), Palamutoba (Bayramiç, 36°C), Hıdırlar (Yenice, 84°C) ve Külcüler (Bayramiç, 35°C) olarak verilebilir.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan Bardakçılar Kaplıcası, Çanakkale'ye bağlı Çan ilçesinin 17 km güneybatısında bulunmaktadır (Şek. 1).

1/25000 ölçekli Ayvalık-İ17b2 paftasında yer alan Bardakçılar sıcak su kaynaklarının bulunduğu bölgeye Çanakkale il merkezi ya da Balıkesir il merkezi üzerinden ulaşılabilir. Kaplıca geçmişte sadece Bardakçılar köyü sakinleri tarafından ilkel şartlarda kullanılmıştır. Günümüzde ise 90 yatak kapasiteli banyolu ve banyosuz odalardan oluşan tesis, sağlık turizmi için çevre illerden (özellikle İstanbul'dan) gelenlerin uğrak yeri konumundadır ve kullanım koşulları geçmişe nazaran daha



Şekil 1 Bölgenin Yerbulduru ve Jeolojik Haritası (MTA 2002'den sadeleştirilmiştir)

iyidir. Ancak günümüzde de kaplıcadan sadece banyo ve sağlık turizmi için yararlanılmaktadır. Biga Yarımadası'nın 80km'lik uzunluğu ile 2. büyük akarsuyu olan Kocaçay'ın bir kolu konumundaki Bıçkı Deresi içinde birbirine yakın 5 farklı kaynaktan yüzeye çıkan sıcak sular iletim boruları ile kaplıcaya getirilmektedir. Kaynaklardan biri dışındakiler Kaplıcanın kurulduğu alandır. Kaynak noktaları kaptalanmıştır. Bu kaynakların dışında bölgede sıcak su elde etmek amacıyla yapılmış sondaj çalışması mevcut değildir.

ÖZET JEOLoji

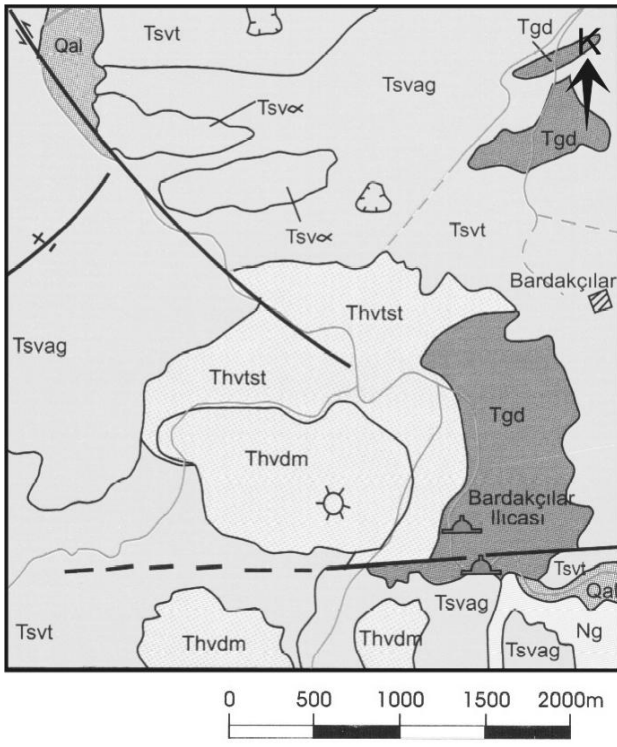
Biga Yarımadası uzun yıllardan beri yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından çalışılmış olup özellikle 1960'lı yıllardan bu yana yerli araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bölgenin jeolojisi ve genç tektoniği MTA, TPAO ve üniversiteler tarafından değişik boyut ve ayrıntılarda incelenmiştir. Biga Yarımadası magmatik, tortul ve metamorfik kayaların hemen hemen her türünün gözlendiği, tektonik açıdan aktif bir bölgedir (Şek. 1). Bölgenin temelini Kazdağ Grubu olarak adlandırılan Paleozoyik yaşlı granitoid, metadünit, metagabro, metaharzburgit, piroksenit, amfibolit, gnays, şist ve mermerler oluşturur. Bu kayaçların üzerinde tektonik bir dokanakla, Triyas yaşlı spilitik bazalt, diyabaz, gabro, çamurtaşı, çört ve radyolaritlerle yer yer giriklik sunan feldispatlı kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve silttaşı aralanmasından oluşan Karakaya Kompleksi'ne ait kayaçlar yer alır. Bölgede Jurasik'te tortul birimlerden oluşan bir istif çökelmiş, Üst Kretase'de ise bu birimlerin üzerine ofiyolitik kayaçlardan oluşan bir melanaj gelmiştir (Okay ve diğ., 1990).

Biga Yarımadası'nın Tersiyer evrimi, Orta Eosen neritik kireçtaşları ve bunların üzerine uyumlu olarak gelen andezit ve andezitik tuf ara katkılı Üst Eosen türbiditleriyle başlar (Siyako ve diğ., 1989). Oligosen sonunda Biga Yarımadası'nda önemli bir yükselme ve aşınma evresinin ardından yarımada'nın güneyinde Orta Eosen-Oligosen istifi tümüyle aşınmıştır. Bölgede Alt-Orta Miyosen'de volkanik kayaçlarla eşyaşlı bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşan tortullar meydana gelmiştir. Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiş, ayrıca, andezit, dasit, riyolit, ve asidik tüfler geniş alanlar kaplamıştır.

Bölgede çeşitli evrelerde etkin olan asidik magmatizmanın ürünleri çoğunlukla granit, granodiyorit ve diyorit bileşimlidir. Bölgedeki Kestanbol, Evciler, Karaköy ve Etili plütonları Tersiyer magmatizmasının ürünüdür ve Alt Miyosen volkanizmasına bağlı olarak oluşan sığ sokulumlardır (Öngen, 1978, Dayal, 1984, Birkle ve Satır, 1995, Genç ve Yılmaz, 1995, Genç, 1998, Bozkurt, 2000). Üst Miyosen volkanizması sonlanırken, fluviyal klasikler Biga Yarımadası'nın kuzeyinde çökelmiştir. Tersiyer'de gerilme tektoniğiyle şekillenen havzalarda genellikle karasal tortullar yoğun bir volkanizma eşliğinde oluşmuştur. Pliyo-Kuvaterner'de bölgede çakıltası, kumtaşı ve şeyl bileşimli fluviyal çökeller ile gölsel karbonatlar oluşmuş ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma meydana gelmiştir (Siyako ve diğ., 1989).

Biga Yarımadası Anadolu Plakası'nın hareketine neden olan orojenik faaliyetlerden etkilenmiş olmakla birlikte günümüzde de bölge Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı kesimi (KAFZ) ile Batı Anadolu'yu şekillendiren tektonik hareketlerin etkisi altındadır. Bu nedenle bölgede oluşan çok sayıda kırık zonlarına sıcak su kaynakları eşlik etmektedir.

Bardakçılar Kaplıcası çevresinde gözlenen jeolojik birimler yaşlıdan gence Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı silisifiye olmuş tüflerden ve koyu gri renkli andezitlerden oluşan Hallaçlar Volkaniti, Oligosen-Alt Miyosen yaşlı yer yer ayrılmış Granodiyorit Birimi, Alt Miyosen yaşlı silisifiye tuf-kaolinize tuf-andezitik tuf ve andezitik aglomeralardan oluşan Sızıdedetepe Volkaniti, Orta-Üst Miyosen yaşlı gölsel tortullar, Pliyosen yaşlı Bazalt Birimi ve en üstte ise alüvyondan oluşmaktadır (Şek. 2).



AÇIKLAMALAR

[Kuvaterner Qal Alüvyon

HİDROJEOKİMYA

Bardakçılar Kaplıcası'ndaki sıcak suların ve çevredeki jeolojik formasyonlardan çıkan soğuk suların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Temmuz 2007'de su örnekleri alınmış ve kimyasal analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. SO₄ analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Laboratuvarlarında, Na, K, Ca, Mg ve Cl analizleri ACME-Kanada laboratuvarlarında, oksijen-18 (¹⁸O) ve döteryum (D) izotopları Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi İzotop Laboratuvarlarında, trityum (T) analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların sıcaklık (t°C), elektriksel iletkenlik (EC), pH ve Eh özellikleri ile HCO₃ içerikleri arazide kaynak başında ölçülmüştür. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve diyagramlara aktarılması için Aquachem 3.7.42 (Calmbach, 1997) programı kullanılmıştır.

İncelenen sıcak su kaynaklarının toplam debisi 3-4 l/s'dir. Kaplıca çevresindeki soğuk su kaynakları çok düşük debilidir. Bu kaynaklar kayaçların kırık ve çatlak zonlarından, dokanaklarından yada suyun vadi tabanlarındaki güncel pekleşmemiş malzeme içinde, mevsimlik yağışların kontrolüyle depolandığı bölgelerden beslenmektedir.

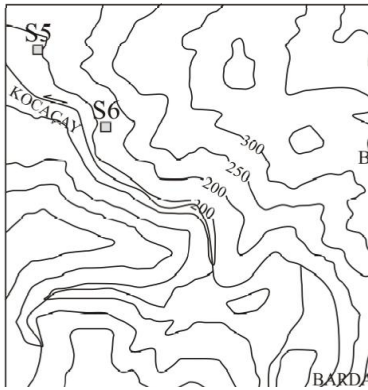
Kaplıcadan alınan 7, 8 ve 9 nolu sıcak sular ile Kaplıca çevresindeki soğuk su kaynaklarından alınan S5, S6, S7, S8 ve S9 nolu suların arazide ölçülmüş bazı özellikleri Çizelge 1'de ve örnek yerleri de Şekil 3'de verilmiştir. Sıcak ve soğuk suların T, EC, pH ve Eh değerleri birbirinden farklıdır.

Şekil 2. Jeoloji Haritası (TJKE, 2005)

Kaplıcadaki sıcak su kaynaklarının çıkış yaptığı noktalar fay zonlarına karşılık gelmektedir. Kaplıca çevresindeki tüm jeolojik birimler bölgedeki tektonizmadan etkilenmiş olduklarından ikincil olarak çatlaklı ve kırıklı yapılar sunar. Bardakçılar köyü güneydoğusundaki ince taneli kumtaşı, çakıltaşı, silttaşı ve kiltası litolojilerinden oluşan Neojen çökelleri KD'ya doğru yaklaşık 45°lere varan eğim kazanmıştır.

Örnek No	Türü	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	Eh (mV)
7	Sıcak su kaynağı	44.9	1533	7.90	90.3
8	Sıcak su kaynağı	50.9	1625	8.15	22.0
9	Sıcak su kaynağı	52.2	1612	8.18	39.5
S5	Kaynak	27.4	753	7.73	107.1
S6	Kaynak	25.8	768	7.73	101.0
S7	Kaynak	23.0	678	7.54	119.4
S8	Kaynak	29.3	640	7.81	100.3
S9	Kaynak	18.7	472	7.45	128.3
S11	Kaynak	22.8	364	8.34	78.0
S12	Kaynak	19.2	955	7.04	-34.2

Çizelge 1 Suların bazı fiziksel özellikleri



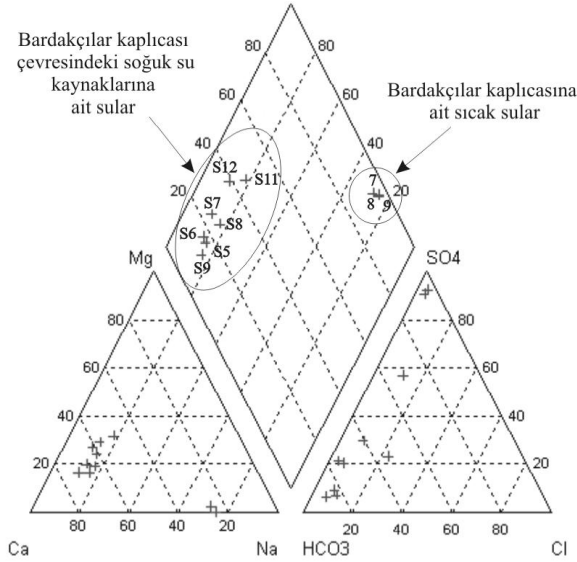
Şekil 3. Su Örnekleme Yerleri

Çalışma alanındaki sıcak sularda görülen başlıca katyon sodyum (Na)'dur ve bunu sırasıyla magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) takip eder. Anyonlardan ise sülfat (SO₄) en yüksek gözlenen anyon olup bunu bikarbonat (HCO₃) ve klor (Cl) izler. Alınan su örneklerinin kimyasal ana-

liz sonuçlarını yorumlamak için Piper üçgen, Schoeller yarı logaritmik ve Scatter diyagramlarından yararlanılmıştır. Bu suların su tipini belirlemede Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sıcak ve minerali sular komisyonu çalışma raporunda belirtilen sınıflama esas alınmıştır. Bu sınıflamaya göre suda çözülmüş başlıca iyonlar anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere (mek/l olarak % 20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar) önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak su tipi belirlenir (AIH, 1979). Çalışma alanındaki sıcak sular bu sınıflamaya göre Na-Ca-SO₄'lu sulardır. Soğuk suların tipleri ise Ca-Mg-HCO₃ (S5 ve S6 nolu örnekler), Ca-HCO₃-SO₄ (S7 ve S8 nolu örnekler), Ca-HCO₃ (9 nolu örnek), Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Cl (11 nolu örnek) ve Ca-Mg-HCO₃-SO₄ (12 nolu örnek) olarak belirlenmiştir.

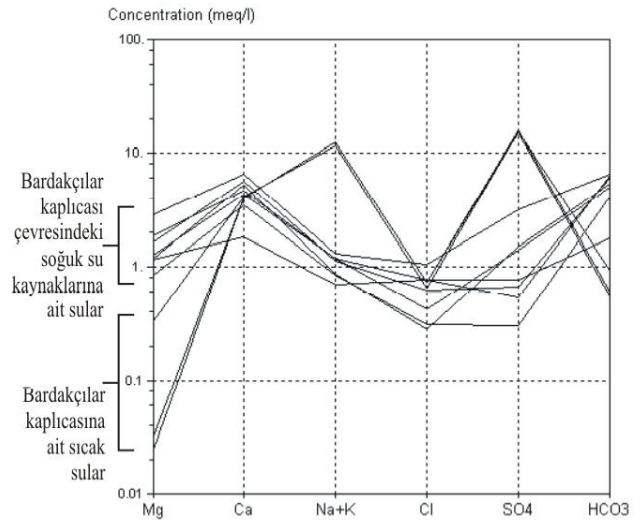
Piper Diyagramı'nda suların anyon ve katyonlarının % meq/l değerlerine göre yapılan incelemede sıcak ve soğuk suların düştükleri bölgelerin birbirinden fark-

lı olduğu görülmektedir (Şek. 4). Buna göre 7, 8 ve 9 nolu sıcak sular "karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular" bölümüne girer. S5, S6, S7, S8, S9, S11 ve S12 nolu soğuk sular ise "karbonat sertliği %50'den fazla olan sular" bölümünde yer alır.



Şekil 4. Piper Diyagramı

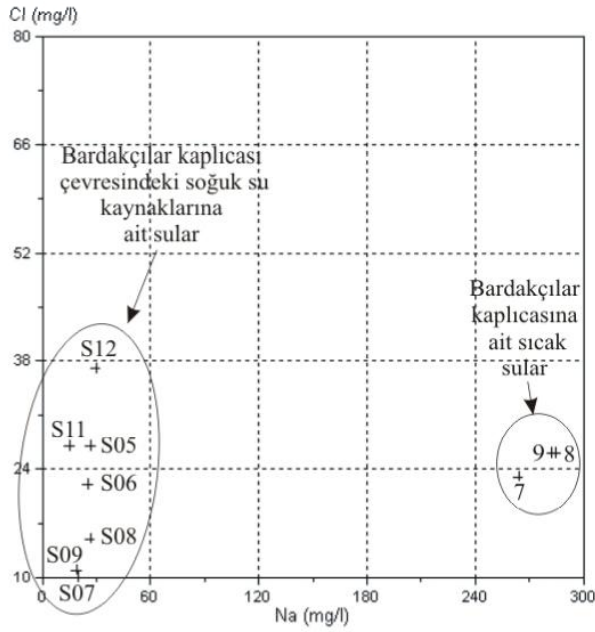
Schoeller Diyagramı'na göre çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon içerikleri; Mg, Na+K, SO₄ ve HCO₃ bakımından birbirinden ayrılmaktadır (Şek. 5). Sıcak suların Mg ve HCO₃ içerikleri soğuk sulara nazaran nispeten düşükken, Na+K ve SO₄ içerikleri ise yüksektir. Sıcak sular Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Granodiyorit Birimi'nden çıkmaktadır. Soğuk su kaynaklarına ait pikler sıcak sulara göre daha az olmakla birlikte, göreceli olarak birbirine paralel gidişler sunduğundan aynı havzaya ait sular olarak tanımlanabilir. Soğuk sular volkanik kayalardan gelmekte olup yer yer oldukça ayrılmış ve kısa mesafelerde bileşimi değişen bu kayalar nedeniyle suların iyon miktarlarında değişimler olmaktadır.



Şekil 5. Schoeller Diyagramı

Bardakçılar Kaplıcası çevresindeki ayrılmış kayaların petrografik ve mineralojik özelliklerini belirlemek için on adet kayaç örneği alınmıştır. Örneklerin bazılarının mineral içeriklerini belirlemek için Terraspec cihazı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, örneklerin 4 tanesinin yalnız İllit, 3 tanesinin İllitle birlikte Götit, iki tanesinin Kloritle birlikte Götit, bir tanesinin ise Hallosit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki suların içerdiği Na ve Cl iyonlarının birbiri ile ilişkisi karşılaştırılmış ve bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir. Sıcak ve soğuk suların Cl iyonu içerikleri birbiri ile benzerdir ancak sıcak sular Na iyonu bakımından soğuk sulara göre daha zengindir.



Şekil 6. Sulardaki Na-Cl ilişkisi

Sıcak suların derinden yüzeye doğru hareketleri sırasında gerek çevre kayaç ile olan ısı alışverişi gerekse yüzeye yakın kesimlerdeki soğuk suların sisteme karışması gibi etkenler nedeniyle sıcaklıklarında düşüş gözlenir. Bu nedenle suların yüzeye çıkış sıcaklıkları ile hazne içinde dolaşım sırasındaki sıcaklıkları aynı değildir. Haznedeki akışkanın sıcaklığını tahmin etmek üzere geliştirilmiş çeşitli jeotermometre uygulamaları mevcuttur. Bardakçılar sıcak su kaynaklarının hazne sıcaklığının tahmini için yapılan jeotermometre hesaplamalarına göre akiferdeki akışkanın sıcaklığının 76°C ile 173°C arasında olabileceğini belirten sonuçlar çıkmıştır (Çiz. 2).

Bardakçılar sıcak su kaynaklarındaki sıcaklık (T) ile mineral doygunluk indekslerinin (SI) değişiminin belirlenmesinde Watch3 (Arnórsson ve diğ., 1982, Bjarnason, 1994) programından yararlanılmıştır. Hesaplamalar 9 nolu örnek için yapılmıştır. Anhidrit, kalsit, kuvars, amorf silis ve kalsedon için yapılan sıcaklık-

mineral denge diyagramı Şekil 7'de görülmektedir. Buna göre sıcak sudaki kalsit tüm sıcaklıklarda doygunluk üstü değerlerdedir (kalsit çökme eğilimindedir), kalsedon ve kuvars hazne sıcaklığında doygunluk altı değerlerdeyken soğuma ile birlikte dengeye ulaşip bir noktadan sonra çökmeye başlar. Anhidrit hazne sıcaklığında doygunluk üstü değerlerde iken soğuma ile birlikte doygunluk altı değerlere iner. Amorf silis tüm sıcaklıklarda doygunluk altı (amorf silisi çözüldürücü) değerlerdedir.

Çizelge 2 Jeotermometre Hesaplamaları

Referans	Türü	T (°C)		
		7 nolu örnek	8 nolu örnek	9 nolu örnek
1) Fournier, 1977	SiO ₂	76	76	76
2) Fournier, 1977	SiO ₂	80	80	80
3) Truesdell, 1976	Na/K	62	59	64
4) Fournier, 1979	Na/K	110	107	111
5) Giggenbach, 1988	Na/K	130	131	173

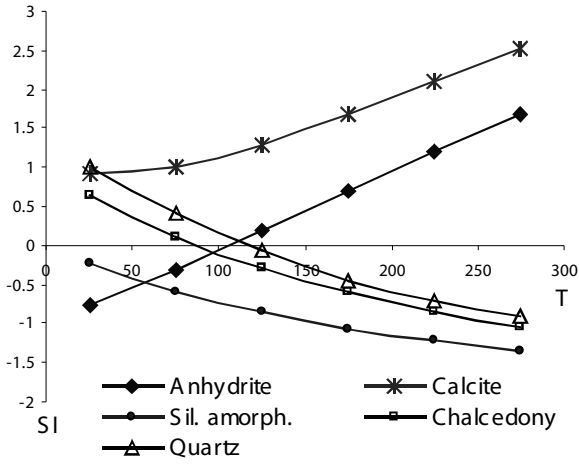
$$1) \quad t^{\circ}\text{C} = [1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2)] - 273$$

$$2) \quad t^{\circ}\text{C} = [1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2)] - 273$$

$$3) \quad t^{\circ}\text{C} = 856 / [\log(\text{Na}/\text{K}) + 0.857] - 273$$

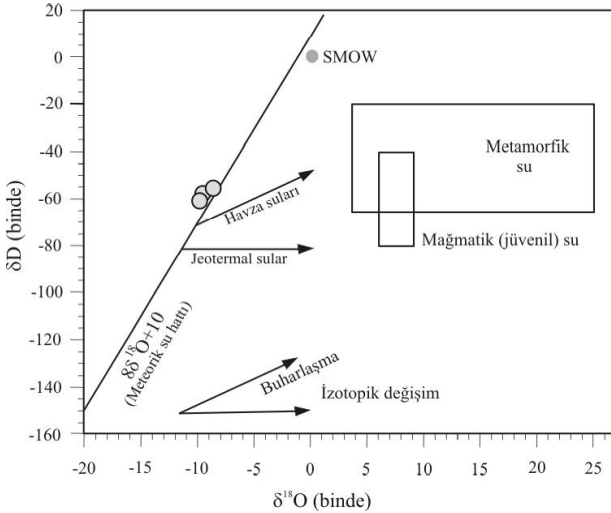
$$4) \quad t^{\circ}\text{C} = 1217 / [\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.483] - 273$$

$$5) \quad t^{\circ}\text{C} = 1390 / [\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.750] - 273$$



Şekil 7 Sıcaklık-Mineral Denge Diyagramı

Bardakçılar kaynaklarına ait sıcak suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD grafiği, bu suların meteorik kökenli sular olduklarını göstermektedir (Şek. 8).



Şekil 8 $\delta^{18}\text{O}$ ve δD grafiği

Sıcak suların Trityum izotopu analizi sonuçlarına göre T değerlerinin 0 - 3 TU birimi arasında bulunuşu, bu suların 40-50 yıl civarında yaşa sahip sular olduğunu belirtmektedir.

Bardakçılar sıcak su kaynaklarının oluşumu sırasında meydana gelen su döngüsü şöyledir; Kaplıcanın çevresinde

bulunan yükseltilere düşen yağış suları, volkanik birimlerin süreksizlik zonları boyunca yeraltına süzülerek akiferi besleyecek şekilde hareket eder ve Kaplıca bölgesindeki fay zonu ile yukarı taşınarak yüzeye çıkar. Bu hareket sırasında su çevresindeki kayaç ile etkileşime girmekte ve bu sayede su içindeki iyon konsantrasyonu ilksel haline göre bazı iyonlar bakımından zenginleşebilmektedir. Bardakçılar kaplıcası sıcak suları için Na, K ve SO_4 iyonlarının akım yolu boyunca zenginleştiği düşünülebilir.

SONUÇLAR

Çalışma alanındaki sıcak sular Na-Ca- SO_4 'lı sulardır. Soğuk sularda ise Ca-Mg- HCO_3 , Ca- HCO_3 - SO_4 , Ca- HCO_3 , Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 -Cl ve Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 su fasiyesleri görülmektedir. Bardakçılar'a ait sıcak kaynak suları Piper Diyagramı'na göre "karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular" sınıfındadır. Soğuk kaynak suları ise "karbonat sertliği %50'den fazla olan sular" türündedir. Schoeller Diyagramı'na göre çalışma alanındaki özellikle sıcak suların birbirine çok benzer pikler vermesi aynı kökenli olduklarını belirtmektedir. Soğuk su kaynaklarına ait pikler sıcak sulara göre daha az olmakla birlikte, göreceli olarak birbirine paralel gidişler sunduğundan aynı havzaya ait sular olarak tanımlanabilir.

Jeotermometre hesaplamalarına göre, Bardakçılar sıcak su kaynaklarının akiferdeki akışkan sıcaklığı 76°C ile 173°C arasında değişmektedir. Anhidrit, kalsit, kuvars, amorf silis ve kalsedon için yapılan sıcaklık-mineral denge diyagramına göre kalsit tüm sıcaklıklarda doyumluk üstü ve amorf silis ise doyumluk altı değerlerdedir. Anhidrit sıcaklık düştükçe çözünme eğilimine geçerken kuvars ve

kalsedon çökelme eğilimi göstermektedir. Bardakçılar sıcak su kaynakları $\delta^{18}\text{O}$ ve δD ilişkisine göre meteorik kökenli sulardır. Trityum (T) değerleri ise bu suların en az 40-50 yıldır yeraltında dolaşımında olduğunu belirtmektedir.

KAYNAKLAR

AIH, 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale 1/500000, International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.

Arnórsson, S., Sigurdsson, S., Svavarsson, H., 1982. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland I. Calculation of Aqueous Speciation From 0°C to 370°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1513-1532.

Baba, A. ve Özbek, O., 2005. Sıcak Su Kaynakları ve İnsan İlişkisinin Geçmişi: Biga Yarımadası Örneği, Jeoarkeoloji-Arkeojeofizik Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, say. 65-66, İstanbul.

Bjarnason, J.O., 1994. The Speciation Program WATCH, version 2.1. Orkustofnun, Reykjavik. 7pp.

Birkle, P., Satır, M., 1995. Dating, Geochemistry and Geodynamic Significance of the Tertiary Magmatism of The Biga Peninsula, NW Turkey. *Geology of The Black Sea Region. Min.Res.Expl. Inst.Turkey*. pp.171-180.

Bozkurt, E., 2000. Timing of Extension on the Büyükmenderes Graben, Western Turkey and Its Tectonic Implication. *Tectonics and Magmatism and Surrounding Area. Geol.Soc.Special Publ.* 173, pp. 385-403.

Calmbach, L. 1997. AquaChem Computer Code-Version 3.7.42. Waterloo

Hydrogeologic, Waterloo, Ont., Canada N2L, 3L3.

Dayal, A., 1984. Yenice (Çanakkale) Granitinin Petrografisi ve Buna Bağlı Cevherleşmeler; Doktora tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Ens. İzmir.

Fournier. R.O., 1977. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems, *Geothermics*, 5, s: 41-50.

Fournier. R.O., 1979. Geochemical and Hydrological Considerations and the Use of Enthalpy-Chloride Diagrams in the Prediction of Underground Conditions in Hot-spring Systems, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5, s: 1-16.

Genç Ş.C. and Y.Yılmaz, 1995. Evolution of the Triassic Continental Margin, Northwest Anatolia. *Tectonophysics* 243, pp. 193-207.

Genç, Ş.C, 1998. Evolution of the Bayramiç Magmatic Complex, Northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 233-249.

Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria-Derivation of Na-K-Mg-Ca Geothermometers, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, s: 2749-2765.

MTA, 2002. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. MTA yayını, Ankara.

Okay, I. A, Siyako, M., Bürkan., K.A. 1990. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *TPJD Bülteni*, C. 2/1, Aralık 1990, S. 83-121.

Öngen, S., 1978. Petrographie und Petrochemie des Çavuşlu-Karaköy Granitoid Massiv, İstanbul Üniversitesi Fen. Fak. Mec. Seri A-B, p. 93-115.

Siyako, M., Bürkan., K.A., Okay, I. A., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın

Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, TPJD Bülteni, C.1/19, 183-189.

TJKE, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, MTA yayın no:201, Ankara. s. 251-254.

Truesdell, A.H., 1976, Summary of Section III. Geochemical techniques in Exploration, Proceedings 2nd UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Fransisco, 1975, 1, liii-lxxix.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı 104Y082 nolu proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederler.