

MİKROSİSMİK AĞ İLE REENJEKSİYONUN İZLENMESİ

Cemil GÜRBÜZ
Ümran SERPEN
Tahir ÖNGÜR
Niyazi AKSOY
Doğan AKSARI
Alper DENLİ
Tuğçe AFACAN
Çağrı DİNER

ÖZET

Salavatlı jeotermal sahasında DORA I jeotermal santralından çıkan atık su Mayıs 2006 tarihinden buyana 550 ton/st debiyle reenjekte edilmektedir. Yüzde yüz oranla gerçekleştirilen reenjeksiyon işlemi kaynak işletmesi açısından izlenmiştir. Üretilen atık suyun tamamı reenjekte edilmektedir ki, bu durum Türkiye'de ilk örnektir. Aralarında 1.2 km bulunan 2 üretim kuyusundan 170°C civarındaki sıcaklıkla üretilen jeotermal su, santralde ısı alınıldıktan sonra 800 m uzalıktaki bir reenjeksiyon kuyusuna yaklaşık 80°C de enjekte edilmektedir. Bu işlem sırasında reenjeksiyon kuyusunun işlevinde herhangi bir anomaly gözlenmemiştir. Normal koşullarda beklenen, oluşan basınç gradyanı nedeniyle enjekte edilen atık suyun 2 üretim kuyusunun bulunduğu düşük basınçlı bölgeye doğru hareket etmesidir.

Bu hareketi izlemek, atık suyun hızını tahmin etmek ve modelleme yapabilmek amacıyla reenjeksiyon kuyusuna 100 kg izleyici (Na-Floureceine) basılarak 2 üretim kuyusundan gözlem yapılmıştır. Son üç yıl içerisinde üretim kuyularında herhangi bir izleyici izine rastlanmamıştır. İzleyicinin üretim kuyularına ulaşmaması, izleyicinin büyük bir çatlak sisteminde kaybolması şeklinde yorumlanmıştır. Aynı izleyici ülkemizde 110, 140 ve 200°C sıcaklıklarda başarı ile uygulanmış ve herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Salavatlı'da da yapılan yüksek debideki reenjeksiyon dolayısıyla başarılı bir sonuç beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen sorunu çözebilmek için, dünyada bazı sahalarda uygulaması yapılan mikrosismik yöntemle reenjeksiyonun izlenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla reenjeksiyon kuyusu etrafına 7 adet sismograf ile bir sismik ağ kurulmuştur. Üç aylık bir kayıttan sonra ovada yer alan 3 istasyonda gürültü seviyesinin yüksek olması nedeniyle yerlerinin değiştirilmesine karar verilmiştir. Aynı zamanda bu istasyonlarda sismometrelerin 1.5 m derine gömülerek gürültü seviyesi azaltılmaya çalışılmıştır. Sismik ağın merkezinde yer alan istasyonda ise sismometre daha derine gömülmüştür. Ayda bir toplanan verilerin analizinden sismik ağın batı ve kuzey doğusuna iki yeni istasyonun kurulmasına karar verilmiştir. Bu arada daha iyi gözlem yapabilmek amacıyla 2 gün süreyle reenjeksiyon durdurulmuş ve sonra tekrarlanmıştır.

Sismik ağ tarafından 6 aylık süre içerisinde sismik ağ tarafından yerel ölçekte yaklaşık 350 deprem kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre reenjekte edilen suların gittiği yerlerin gözlenmesi mümkün olmuştur. Reenjeksiyonun durdurulmasından sonra yapılan gözlemlerde reenjeksiyon kuyusunun yakınında bir hafta süreyle mikro depremler meydana gelmiştir. Bu işleme proje sırasında devam edilecek ve basınçlı su nedeniyle oluşan çatlak sistemlerinin yerleri belirlenecektir. Söz konusu reenjeksiyon kuyusunun batısı ve kuzey batısında etkin bir mikro deprem aktivitesi gözlenmiştir. Bölgede yapılan derin özdirenç çalışmasında da buralarda düşük özdirenç değerlerine rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Reenjeksiyon, atık su izleme, sismik ağ, mikro depremler

ABSTRACT

During the last 5 year period of the Dora I power plant power generation, full reinjection of disposal water has been carried out in Salavatlı geothermal field, Turkey. Since reinjection returns as relatively colder water to the production area was a concern, a tracer test was conducted with no results. Therefore, it was decided to trace reinjected waste water by seismic monitoring. By observing microseismic activities it was hoped that orientation of reinjected brine paths would be identified.

A 7- station network of three-component digital seismometers at the Salavatlı, Köşk, Aydın, Turkey geothermal area was deployed in May 2010 in connection with tracing reinjected water by seismic monitoring project, with high-quality microearthquake (MEQ) recordings that are well suited to monitoring microearthquakes in the Salavatlı, Aydın geothermal area. We are currently using these data to investigate active processes within the geothermal reservoir by applying high-precision MEQ hypocenter location. A velocity model constructed from well – logs, receiver function and surface wave analysis of earthquakes and seismic reflection studies done in the region by Turkish Petroleum Company. MEQ are recorded for a period of 6 months and a dense seismic activity was observed in the west and north-west of AS-2 reinjection well. First obtained results were very encouraging and the paths that reinjected brine has followed were started to appear. In order to have clear-cut results the project was extended for six more months. With the additional data recorded in the coming months the trends would be more clearly determined.

In this study, geoscientific information on Salavatlı field is first introduced. Then, the reinjection operations conducted in the field so far are presented, and finally, after submitting information about previous and actual monitoring operations, results are reported.

Key Words: Reinjection, tracing of disposal water, seismic network, micro earthquakes

1. GİRİŞ

Jeotermal çalışmalarında reenjeksiyon işlemi aşağıdaki yararları sağlamaktadır: (1) rezervuar sahasında basıncın sürekliliğini sağlar, (2) atık suyun çevreyi kirletmesini önler ve (3) ısı üretiminde sıcaklığın yeniden kazanılmasını sağlar. Ülkemizde reenjeksiyonun kısmen yapılması veya hiç yapılmaması sonucunda jeotermal sahalarda rezervuarlarda basınç kaybı olmakta ve sonucunda kuyulardaki üretim azalmaktadır. Ayrıca, atık su nedeniyle çevresindeki tarım alanlarına zarar vermektedir. Türkiye de yakın gelecekte daha çok jeotermal sahaların devreye girmesiyle birlikte reenjeksiyonun doğru olarak yapılıp yapılmaması sonucunda oluşacak sorunlar jeotermal enerji sektöründe önemli bir konu haline gelecektir.

Mikro deprem çalışması jeotermal sahalarda yapıların geçirgenliğini belirlemede, rezervuar sınırlarını belirleme ve enjeksiyon akıntısının nereye gittiğini izlemede kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu çalışma enjeksiyon akıntısının göçünün nasıl olduğunu ortaya koymak için yapılmıştır. Türkiye de bu konuda uygulaması yapılan ilk çalışmadır.

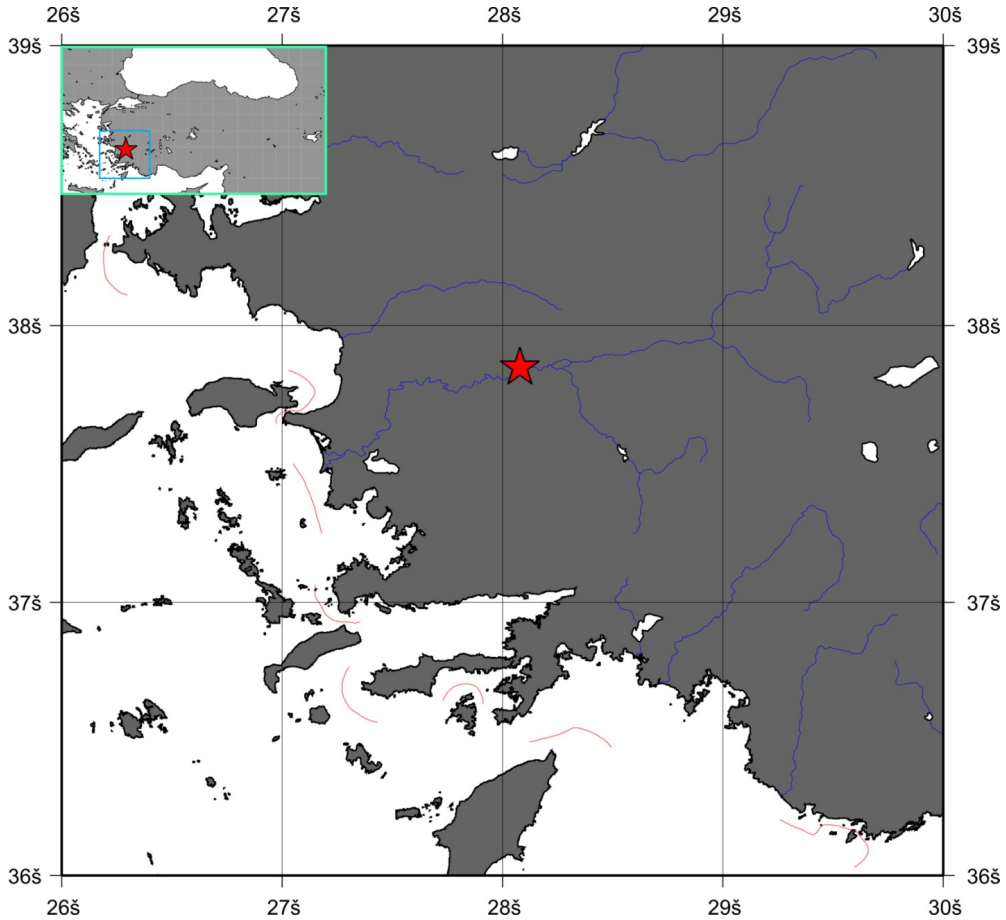
Salavatlı jeotermal sahası mikro deprem aktivitesinin gözlenen Türkiye'deki ilk sahadır. Çalışma alanında 3 reenjeksiyon ve 4 üretim kuyusu bulunmaktadır. Bu jeotermal sahası 1990 yılında bu yana aktif olarak üretim yapmaktadır. AS2 reenjeksiyon kuyusuna 100 kg Na-Flourecein enjekte edilmiş ve üretim kuyularında 3 yıl süre ile herhangi bir şekilde izine rastlanılmamıştır. Enjekte edilen suyun akış yönünü bulmak amacıyla bir sismik ağ kurulmuştur. Son teknoloji üç bileşen geniş bandlı sismik aletler kullanılmıştır. Toplanan veriler ile yeni veri analiz yöntemleri kullanılarak jeotermal saha hakkında detaylı bilgiler elde etmek mümkün olacaktır. Çalışma sahasının sismisitesinin çıkarılması yanında yerel sismik tomografi yöntemi ile sismik ağın altındaki üç boyutlu jeolojik yapı çıkarma imkanı olacaktır. Bu amaçla bölgede daha önce yapılmış jeofizik çalışmalardan yararlanılarak başlangıç hız modeli oluşturulacaktır.

2. SALAVATLI JEOTERMAL SAHASININ JEOLJİK YAPISI

Salavatlı Jeotermal sahası Menderes metamorfik masifinin ortasında ve Büyük Mederes grabeninin kuzey kısmında yer almaktadır. Büyük Menderes Grabeni Türkiye'de jeotermal sistemlerin oluştuğu önemli bir jeolojik yapıyı temsil etmektedir. Jeotermal sahaların çoğu 120–180°C arasında olup, 240°C 'ye ulaşan sahalarda da bulunmaktadır. Bu sıcaklıklar grabenin asimetrik eksenini boyunca yukarı çıkmışlar ve 240°C kadar yükselmişlerdir. Jeotermal rezervuarlar genellikle metamorfik temel farklı litolojik birimlerinde gelişmişlerdir. Bu temel kayanın tipik karakteristik özelliği rejyonel bindirme sonucunda metamorfik birimin üstündeki derin bir şekilde yer almış gnaylardan oluşmaktadır.

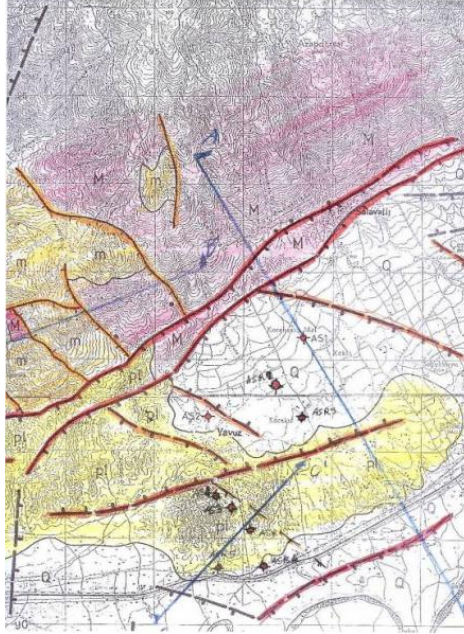
Salavatlı sahası Aydın ilinin doğusunda, Menderes nehrinin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1). Büyük Menderes Grabeni oldukça geniş ve kalın genç sedimanlarla doldurulmuştur. Alüvyon düzlüğü nehir yatağının kuzeyinde 6.5 km genişliktedir. Gözlenen graben ürünü faylar bu alüvyon düzlüğünün sadece kenarlarında oluşmuştur. Bir sıra düşen bloğunun güneye doğru olduğu DKD – BGB veya KB – GD yönlü gravite fayları vardır. Holosen yaşlı sekiler ve Pliosen yaşlı kaba klastikler ötelenmiş fay bloklarında mostra verir. Bu yapılar faylar tarafından ayrılmışlardır.

Çalışma alanının jeolojik haritası [1]'in çalışması baz alınarak yapılmış ve Şekil 2 de verilmiştir. Bu haritadan da görülebileceği gibi çalışma alanı ana gravite faylarına göre iki kısma bölünmüştür. Metamorfik temel kaya ve tortul birimler bu bölünmenin kıyılarında mostra verirler. Diğer taraftan Pliosen ve Kuvaternari tortulları sadece güneyde mostra verirler. Miosen birimleri sahanın KB kısmında metamorfik temel kayanın üzerinde KB - GD yönlü eski grabenler şeklinde yer almaktadırlar. Pliosen tortulları bariz bir şekilde genç graben sistemini DKD-BGB yönlü bir şekilde doldururlar.

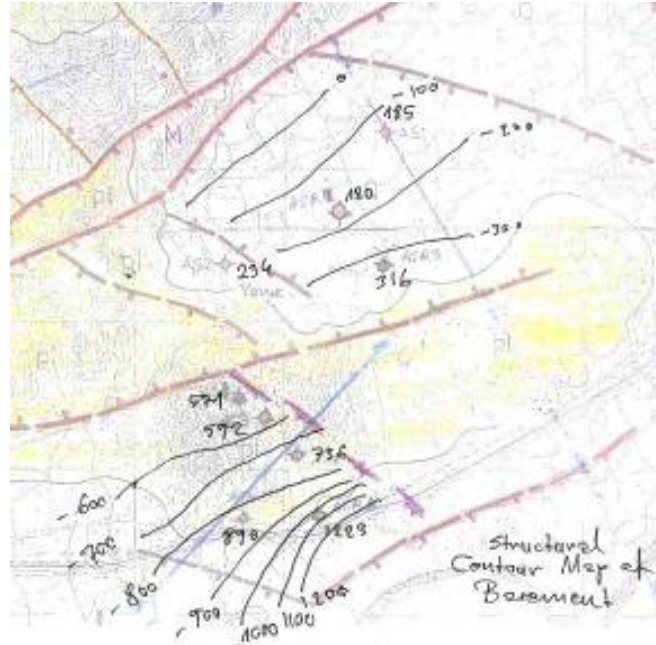


Şekil 1. Çalışma Alanının Lokasyonu Yıldız ile Gösterilmiştir.

AS-1 ve AS-2 kuyuları daha önce MTA tarafından delinmişlerdir. Bu kuyular 40° lik bir eğime sahip iki ana genç graben sistemini kesecek şekilde delinmişlerdir[1]. Delinen kuyularla istenilen noktaya ulaşıldığına dair bir belirti yoktur. Üretim sahasının geliştirilmesi aşamasında ilave olarak 7 kuyu daha delinmiştir. Bu kuyuların lokasyonları düşük öz direnç anomali değerlerine göre seçilmiştir. Bu kuyular sırasıyla Kuvaternerden, yakın zaman alüvyon tortuları, Pliosen ve Miosen tortulları, gnays, mikaşist, mermer ve kuvarsit – şist birimleri kesmektedir. Metamorfik temele olan derinlik 316 ile 1280 m arasında değişir ve bu temel tabaka güneye doğru derinleşir (Şekil 3).



Şekil 2. Salavatlı Jeotermal Sahasının Jeolojik Haritası



Şekil 3. Temel Tabakanın Yapısal Kontur Haritası Jeolojik Haritası

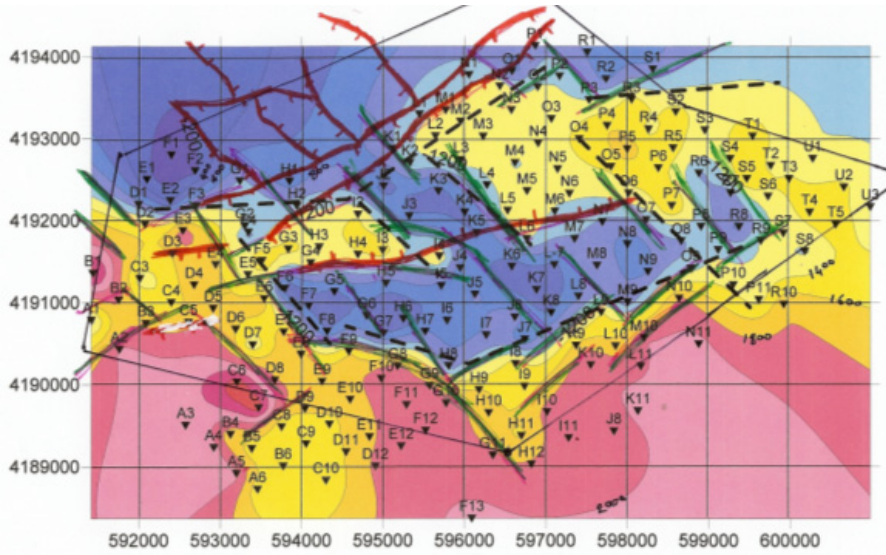
Buoguer gravite konturları Köşk'ün kuzeyinde Miosen zamanından buyana tektonik olaylar sonucu oluşan ve KD-GB ve KB-GD yönlü faylar arasında kalan temel tabaka yükselimi olarak metamorfik

temelin diz şeklindeki tezahürünü göstermektedir. Bu sınırların GB sında mevcut olan kalın Miosen depozitleri ve temel kaya derinlikleri bu yönde hızlı bir şekilde derinleşmektedir. Ama, bu derinleşme bu faya yakın yerlerde basamak şekline dönüşür ve güneye doğru sığlaşır. İkinci türev gravite haritaları temel kayanın üzerindeki yapıyı gösterir. Bu kısımlarda bazı gömülü horstlar ve dahili grabenler mevcuttur. Bu yapılar rastgele dağılmıştır ve bilinen Miosen ve Plisosen yapılarla uyumludur. Bu yapılar jeolojik haritada gösterilen fayların lokasyonunu doğrular. Yorumlanan faylar jeolojik haritada oluş zamanlarına göre renkli olarak gösterilmiştir. İlk faz faylar Miosen totullarının yığılmasını kontrol eder(portakal renkli olanlar). Bunlar üst Miosen veya Miosen zamanında oluşmuş olmalıdır. Bunlar KB-GD açılımlı gravite faylarıdır. Beş farklı fay hattı haritalanabilir.

İkinci kısım faylar DKD-BSB yönünde yer alan genç tortullar ve temel tabaka arasında gelişmişlerdir. Bunlar haritada kırmızı hatlar ile gösterilmiştir. Bunlardan tipik iki tanesi Salavatlı' yı geçer ve Köşk'ün kuzey doğusuna doğru genişler. Bunlar yüzeyde Menderes Grabeninin kuzeyindeki ana fayın iz düşümüdür. Bu süreksizliklerde sıcak su akıntıları, hidrotermal bozuşumlar ve sulfür yatakları vardır. Pliosen'den buyana etkin olan genişlemeli tektonik rejimin bir ürünüdür.

Bu sisteme bağlı diğer fay grubu kırmızı hatlar ile gösterilmiştir. Bu hatlar ikinci türev gravite haritalarının değerlendirilmesinden çıkarılmıştır. Bunlar KB veya GD eğimli DKD-BSB oriyantasyonlu gravite faylarıdır. Bu faylar Menderes grabenini oluşturmaktadır. Bir grup DKD –BGB açılımlı içsel horts ve grabenler oluşmuştur. Ayrıca bu faylar ikincil KB-GD açılımlı kısa fayların oluşmasına neden olmuştur.

Özdirenç ölçümleri açık güvenilir sonuçlar vermiştir ([2] ; [3]). Özdirenç seviye haritaları bu sahada geniş düşük özdirenç anomalileri göstermektedir. Bu yerler yaklaşık 15 kilometre karelik bir alanı kaplar. 5 ile 7 Ohm arasındaki düşük özdirenç değerleri 10 kilometre karelik bir alanı kaplar. En düşük özdirenç değerleri Menderes düzlüğü ile Yavuzköy arasındaki tepelerde yer alır ve 100 – 1200 m derinliklere kadar uzanır. Bu alan Yavuzköy'den Köşk ilçesine kadar uzanır. Özdirenç temel kaya derinliğine göre hazırlanmış olan yeraltı yapısal jeoloji haritası Şekil 4 de verilmiştir. Bu harita aynı zamanda eski Miosen yaşlı gravite faylarını da açığa çıkarır. Bu faylar çalışma sahasının kuzeyindeki tepelerde KB yönde gözlenmişlerdir. Jeolojik yapı reenjeksiyon ve sismik çalışmaların uygulanmasında önemli bilgiler içermektedir.



Şekil 4. Özdirenç Temel Derinliklerine Göre Hazırlanmış Yapısal Jeolojik Harita.

Stratigrafik yapının tabanında mikaşist, klorit şist ve altere olmuş kuvarsitten oluşan kalın bir metamorfik tabaka vardır. Bunun üzerinde 1000 m kalınlığa kadar yerel mermer ve bunu üzerinde ise filit ve şist ardalanmaları yer almaktadır. Metamorfik yapının üstünde 200 m kalınlığında gnays tabakası vardır. Gnays tabakası Başçayır dokunma fayının bir parçası olarak değerlendirilmiştir.

Gnays tabakası önce kalın ve sonra hızlı bir şekilde güneye doğru yok olur. Mikaşist, kuvarşist, tepeşirşist ardalaması bu yönde hakim olabilir ve ikincil geçirgenliği sağlamaktadır.

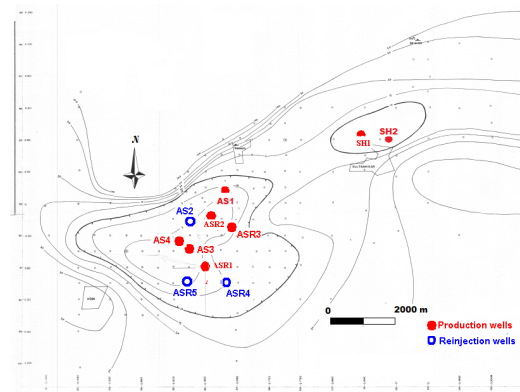
Kuyuların delindiği grabendeki Tersiyer depozitlerinin kalınlığı 100 m ye kadar ulaşır. Tersiyer in tabanında kırmızımtırak renkte Üst Miosen kumtaşı, konglomera, çamurtaşı ardalaması mevcuttur. Miosenin ana sıralamasını kalın bir siltli marn ve siltli kumtaşı geçişleri oluşturur. Üstteki Pliosen kumtaşı, silttaşı ve şeyl 150 m lik bir kısmı oluşturur. Bu yapı kalın Pliosen yaşlı kumtaşı ve gravel depozitleri ile sekilenmiştir. Alüvyon otobanın kuzeyinde ince ve güneyinde ise oldukça kalındır.

Genç tortulların kalınlığı gravite verisinden 1500 m'den büyük tahmin edilmiştir. Temel kayaya grabenin ortasında çok derinlerde rastlanabilir. Eski ve en yeni Miosen graben fay oluşum sistemleri yüzey sularının akıntı kanallarını oluşturabilir. Bu sular daha derinlerde sıcak kaya ortamı ile temas edebilir. Su boşalım yeri temelde metamorfiklerin bulunduğu kuzey kısımlarda olmalıdır. Isınan su kendisine yukarı çıkmak için farklı fayların kesişim yerlerinden bulabilir. Ana jeotermal rezervuar metamorfik temelde bulunmaktadır. Sondajı tamamlanmış kuyulardan alınan loglar ve düşük öz direnç değerleri bu temele tekabül etmektedir. Delinen kuyulardaki üretim alanları genellikle mermer ve kalışistlerde rastlanmıştır. Diğer sınırlı geçirim zonları gnays veya kuvarşca zengin mikaşistlerde rastlanabilir. Bazı büyük orandaki dolaşım sıvı kaybı ana fay zonlarının birbirleriyle kesiştiği yerde meydana gelmiştir.

3. SALAVATLI JEOTERMAL SAHASINDAKİ REENJEKSİYON İŞLEMLERİ

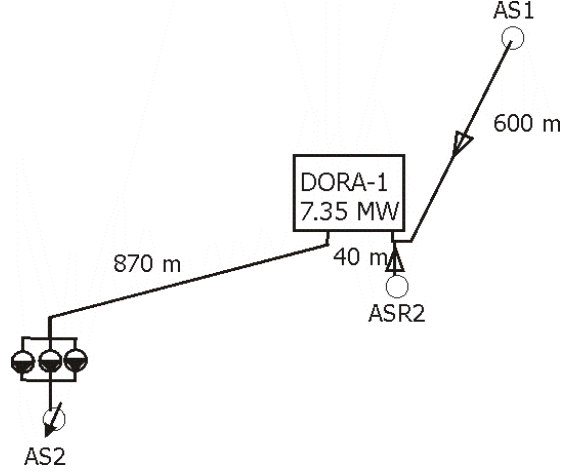
Salavatlı jeotermal sahası jeotermal açısından büyük önem arzeden Büyük Menderes Grabeninin Menders Masifinin kuzey kenarlarında yer almaktadır. Saha MTA tarafından yapılan öz direnç ölçümleri sonucu keşfedilmiştir[4]. Derinlikleri 1550 ve 962 m ve sıcaklıkları 169.5°C ve 172.5°C olan iki kuyu 1987 ve 1988 yıllarında delinmiştir. Daha sonra 2003 ve 2005 yıllarında 1300 ve 1430 m derinliklerinde iki kuyu daha delinmiş ve bu kuyularda da benzer sıcaklıklara rastlanmıştır. Bu iki kuyu reenjeksiyon ve üretim için delinmiştir. Jeotermal akışkan diğer Büyük Menderes sahalarında olduğu gibi ağırlık olarak %1 CO2 ihtiva eder. 2006 yılında 7.35 MW gücünde, 2010 yılında 11,7 MW gücünde ikinci hava soğutmalı çift çevrimli güç santrali kurulmuş ve enerji üretimi devam etmektedir.

Bugüne kadar yapılan jeofizik çalışmalar (öz direnç ve CSAMT) , sondaj ve kuyu testlerinden elde edilen bilgiler ile Salavatlı jeotermal sahasının büyük bir alan olduğu görülmektedir. Yakın bir zaman önce yaklaşık 1000 m derinlikte Sultanhisar'a yakın ve ana üretim sahasına 5 – 8 km uzaklıkta 3 yeni kuyu delinmiştir. Bu kuyulardan ikisinde sıcaklık 145°C ve diğerinde ise 120°C olup, rölatif olarak yüksek geç, rgenliüe sahiptirler. Öz direnç çalışmasından da anlaşılacağı gibi sahanın doğruya doğru uzanmaktadır (Şekil 5). Salavatlı 170°C sıcaklık ve göreceli olarak yüksek statik basınçlı bir jeotermal alandır [5].



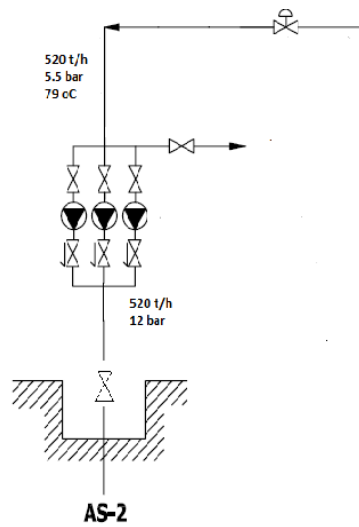
Şekil 5. Üretim ve Reenjeksiyon Kuyularının Lokasyonları.

Şekil 6 da görüldüğü gibi, birbirlerinden 1.2 km uzakta olan AS-1 ve AS-2 üretim kuyularından 170°C sıcaklıkta üretilen jeotermal su çift çevrimli güç santraline gönderilmekte ve 80°C atık su AS-2 kuyusuna reenjekte edilmektedir. Bu kuyu en yakın üretim kuyusuna 800 m uzaklıktadır. AS-2 kuyusundaki reenjeksiyon derinliği 980 m civarındadır. Şekil 7' de görüldüğü gibi her biri 185 kW güce sahip üç adet düşey dahili pompalar AS-2 kuyubaşına reenjeksiyon işlemi yapmak için monte edilmişlerdir.

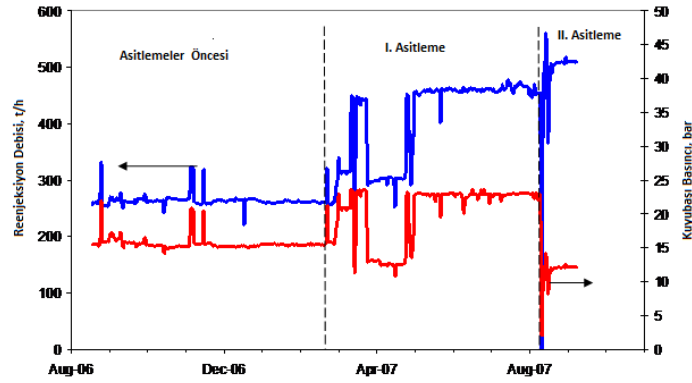


Şekil 6. Dora I Güç Santralinde Reenjeksiyonun Şematik Görünüşü.

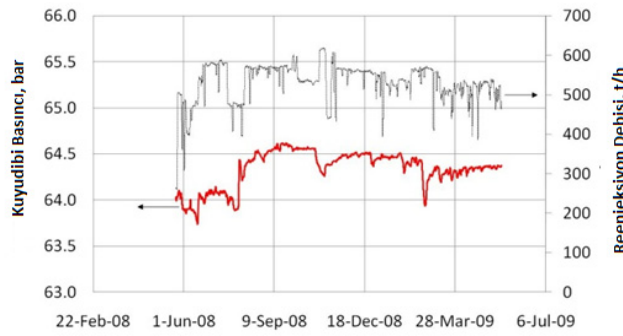
Reenjeksiyon işlemi başarılı bir şekilde kayıt edilmiştir. Son beş yıl içerisinde ne reenjeksiyon ve ne de üretim kuyularının işlevinde bir değişiklik olmuştur (Şekil 8 ve 9). Normal olarak soğuk olarak geri basılan atık su üretim kuyusu ile reenjeksiyon kuyusu arasındaki basınç farkından dolayı iki üretim kuyusuna doğru hareket etmesi beklenir (Şekil 5). Atık su hareketini izlemek, atık su hızını tahmin etmek ve bu işlemi modellemek için 100 kg izleyici (Na-fluoreceine) AS-2 reenjeksiyon kuyusuna pompalanmıştır. İki üretim kuyusundan da gözlenmiştir. Son dört yıl içerisinde rezervuara izleyici pompalandıktan sonra gözlem kuyularında izleyiciye rastlanmamıştır. Daha önce sıcaklıkları 110, 140 ve 200°C olan üç farklı jeotermal sahada izleyiciler başarılı bir şekilde uygulandı ve kısa bir süre sonra üretim kuyularında izleyicilere rastlanmıştır. Salavatlı sahasında yüksek orandaki reenjeksiyondan dolayı başarılı izleyici dönüşü beklenmekteydi. İzleyicileri üretim kuyularında görmek mümkün olmadı. İzleyici testinin başarılı olmaması şirket yetkililerini mikrosismik ağın kurularak sismik aktivitenin gözlenmesine yöneltmiştir.



Şekil 7. Dora I Güç Santralinde AS-2 Kuyusundaki Reenjeksiyon İşlemi [7].

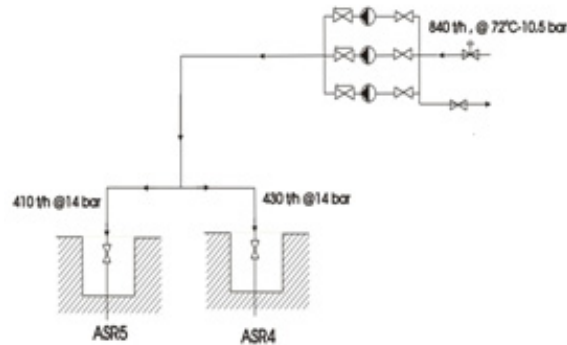


Şekil 8. 2006 – 2007 Arasındaki AS-2 Kuyusundaki Reenjeksiyonun Tarihçesi [7].



Şekil 9. 2008–2009 Arasında AS-2 Kuyusundaki Reenjeksiyonun Tarihçesi [7].

Diğer taraftan sahanın güneyindeki güç santrali, Dora II 2010'un sonlarına doğru işletmeye açılmıştır. Şekil 5 de görüldüğü gibi AS-3 ve AS-4 üretim kuyuları güç santraline bağlanmış ve ORC ye 830t/s jeotermal akışkan sağlamaktadır. Dora II' ye ait ORC ye yapılagiren jeotermal akışkan daha sonra, ASR-4 ve ASR-5 reenjeksiyon kuyularına eşit oranda reenjekte edilmiştir (Şekil 10). ASR-4 ün düşen blokta ve derinliğinin 1900 m, üretim kuyuları AS-3 ve AS-4 ün ise 1000 ile 1200 m derinlerde olduğu bilinmektedir. Sonuç olarak ASR-5 kuyusunun üretim kuyularını etkileyeceği düşünülmüştür. Bu sebeple, AS-3 ve AS-4 üretim kuyuları ile ASR-5 reenjeksiyon kuyusu arasında izleyici testi yapılmıştır. 100 kg izleyici (Na-fluoreceine) ASR-5 kuyusuna pompalanmış ve AS2, ASR2, AS-3 ve AS-4 kuyularında ise gözlenmiştir. Rezervuara izleyici pompalandıktan 4 ay sonra gözlem kuyularında izleyici izine rastlanmamıştır.

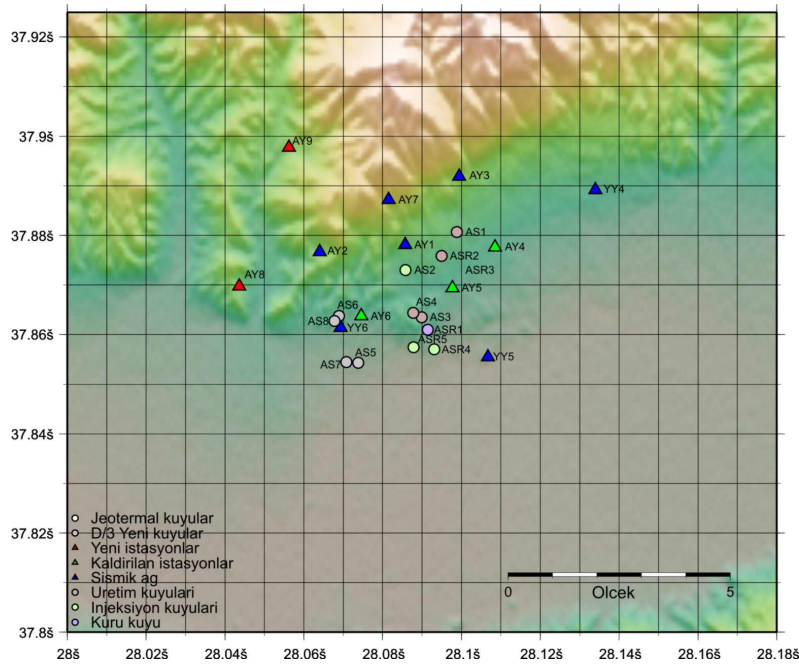


Şekil 10. Dora II Santralindeki Reenjeksiyonun Şeması.

4. SİSMİK VERİ TOPLAMA VE ANALİZİ

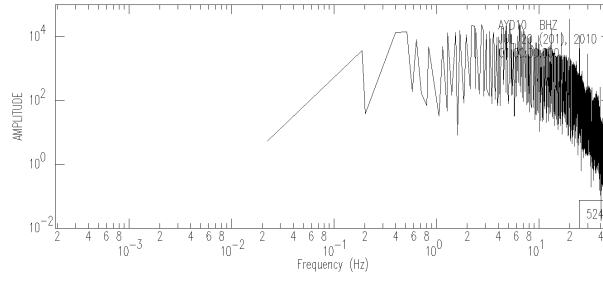
4.1 Aletlerin Kurulması

Bu çalışma Salavatlı jeotermal sahasında sismik aktiviteyi kayıt etme ve AS-2 reenjeksiyon kuyusuna yakın alanda reenjekt edilen suyun akışını belirlemeye dönüktür. Sismik veri Salavatlı jeotermal sahasından 20 km² lik bir alan içersine kurulan geçici bir sismik ağ ile 23 Mayıs – 30 Kasım 2010 tarihleri arasında toplanmıştır (Şekil 11). Sismik ağda üç bileşen geniş bandlı Güralp CMG 6T aletleri kullanılmıştır. Kayıtlar sürekli olarak saniyede 100 örnek alınarak yapılmıştır. Her bir istasyonda sismometre içerisine yerleştirilmiş 4 Gb hafıza, sayısallaştırıcı, GPS alıcısı, Güneş paneli ve 12 V akü mevcuttur. Aletlerin yerleştirilmesi üç aşamada olmuştur. İlk aşamada 7 alet kurulmuştur. İlk veriler alındıktan sonra yapılan analiz sonuçlarına göre bazı istasyonlarda zeminin gürültü seviyesinin yüksek olması nedeniyle yerlerinin değiştirilmesi veya sismometrelerin daha derine gömülmesi kararlaştırılmıştır. Ağustos ayının ortasında üç istasyonun yeri değiştirilmiş ve aynı zamanda sismometreler 1.5 m derine gömülmüştür. AYD01 istasyonu sismik ağın merkezinde olduğu için yeri değiştirilememiş ve bu nedenle aynı yerde sismometre daha derine gömülmüştür. Ayda bir veriler sismometrelerin hard diskinden alınarak laboratuvarında analiz edilmiş ve bu analizler sonucunda sismik aktivitenin ağırlıklı olarak sismik ağın batı ve kuzey batısında olduğu görülmüştür. Sismik aktiviteyi daha iyi izleyebilmek için sismik ağın batı ve kuzey batısına iki yeni istasyonun kurulması düşülmüştür. Ekim ayının ortasında iki yeni istasyonun ilave edilmesiyle sismik ağdaki istasyon sayısı dokuz çıkarılmıştır (Şekil 12). Sismik istasyonlar ilk kurulduğunda amaç AS-2 kuyusundan yapılan reenjeksiyon suyunu izlemektir. Bu nedenle istasyonlar bu kuyunun etrafına kurulmuştur. İkinci ve üçüncü aşama istasyon yerleri değişimi bölgede mevcut bütün kuyulardaki durumu izlemek amacıyla sismik ağın alanı genişletilmiştir.

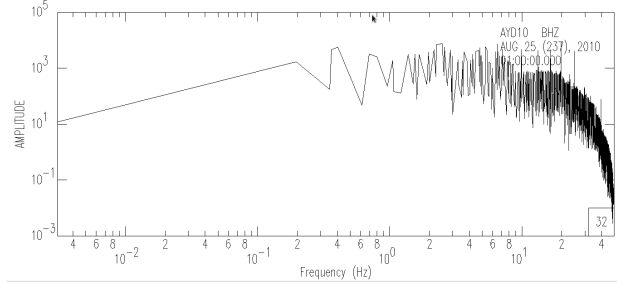


Şekil 12. Jeotermal Kuyular ve Sismik İstasyonların Lokasyonları.

Sismometrelerin daha derine gömülmesi sonucu sinyal gürültü oranında iyileşme olmuştur. Bu iyileşme oranı on misli civarındadır (Şekil 13 ve 14). Bu iyileşmeyi genelde sağlamak için istasyon yerleri ana yollardan uzak ve mümkünse ana kayanın üzerine kurmayı gerektirmektedir. Bazı istasyonlar için böyle bir yerin bulunması sismik dağılımı gereği mümkün olmamıştır.



Şekil 13. AYD01 İstasyonunda Temmuz 20 2010, 01:00 deki Gürültünün Spektrumu.



Şekil 14. AYD01 İstasyonunda Ağustos 25 2010, 01:00 deki Gürültünün Spektrumu.

4.2 Verilerin Analizi

Veriler ayda bir araziye gidilerek sismometreye bağlı hard diskten doğrudan harici bir diske aktarılmıştır. Hard diske aktarılan veri bir laptop bilgisayara kopya edilmiştir. Burada amaç sistemin işleyişini görmektir. Bu şekilde aletin çalışıp çalışmadığı ve çalışmadıysa nedenleri araştırılarak sistemin tekrar çalışır durumda bırakılmasını sağlamaktır.

Aylık bazda elde edilen veriler saatlik dosyalar şeklinde harici diskten bilgisayara aktarılmıştır. Aktarma sırasında dosyalar daha sonraki işlemler sırasında kullanabilmek için "sac" formatında alınmıştır. Verilerin görüntülenmesi ve analizinde SEISAN yazılım programı kullanılmıştır. Bütün istasyonlara ait verilerin tamamı saat ekrana getirilmiş ve olası depremler aranmıştır. Aynı olayın bütün istasyonlarda görülmesi sağlandıktan sonra bunun bir deprem olduğuna karar verildikten sonra ilk gelişlerin okunması yapılmış ve depremlerin episantr ve odak derinlikleri belirlenmiştir.

4.3 Hız Modeli

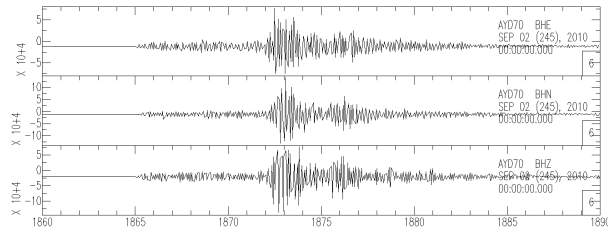
Depremlerin lokasyonunu yapabilmek için bir hız modeline gereksinim vardır. Hız modelini oluştururken muhtelif kaynaklardan yararlanılmıştır. Delinen kuyuların hepsinden log alınmış ve inilen derinliğe kadar geçilen jeolojik birimler ve kalınlıkları ölçülmüştür. Kuyularda bulunan temel kaya derinliği farklıdır. Menderes Nehrine doğru kalınlaşmaktadır. Jeolojik birimler temel kaya kadar bilinmekle beraber bu birimlerdeki P ve S dalga hızlarının bilinmesi gereklidir. TPAO bölgede petrol aramak amacıyla sismik yansıma çalışması yapmıştır. Çalışma alanını kesen bir yatay ve bir tanede düşey profil vardır. Bu profillerin değerlendirilmesinde kullanılan hızlar açılan kuyulardaki jeolojik birimlere ait sismik hızları bulmada kullanılmıştır [8]. Bu bilgiler ile üst 2 -3 km lik kısma ait hız yapısını çıkarmak mümkün olmakla beraber daha derinlerdeki yapının da bilinmesi gereklidir. Bu derinliğin altındaki hız yapısı çalışma alanına yakın alanlarda yapılan yüzey dalgalarının dispersiyon modellemesi [9], alıcı fonksiyon analizi[10] ve Velest programı kullanılarak Denizli'de olan depremlerin lokasyonu için üretilmiş hız modelinden[11] elde edilmiştir.

4.4 Depremlerin Lokasyonu

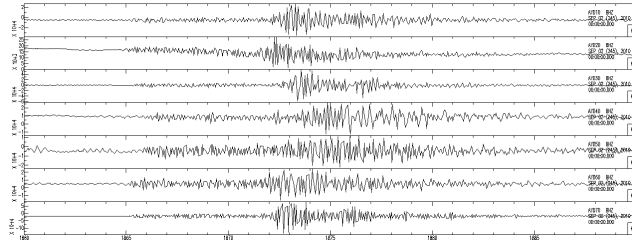
Verilerin analizinde önce bütün istasyonlara ait düşey bileşen kayıtlar alt alta görüntülenmiş ve yerel depremler aranmıştır. Veriler muhtelif işlemlerden(örneğin, süzgeçleme, spektrumların alınması gibi) geçirildikten sonra yerel depremler SEISAN yazılım programı ile bulunmuş ve depremlerin ilk geliş zamanları okunmuştur. Kayıtlardaki gürültü oranı yüksek olduğu için bazı iyileştirme işlemlerinin yapılması gerekli olmuştur. İlk gelişlerin doğru okunması doğru lokasyon için önemlidir. Depremlerin lokasyonları HYPO71 programı ile yapılmıştır. Lokasyon işleminden sonra rezidüellere bakılmış ve 0.1 sn den büyük olanlar için yeniden kayıtlara gidilerek ilk geliş zamanları okunmuştur. İlk geliş değerlerinin doğruluğu:

- İstasyonun doğru lokasyonu;
- Örnekleme aralığı;
- İlk gelen sinyalin belirgin ve impalsif

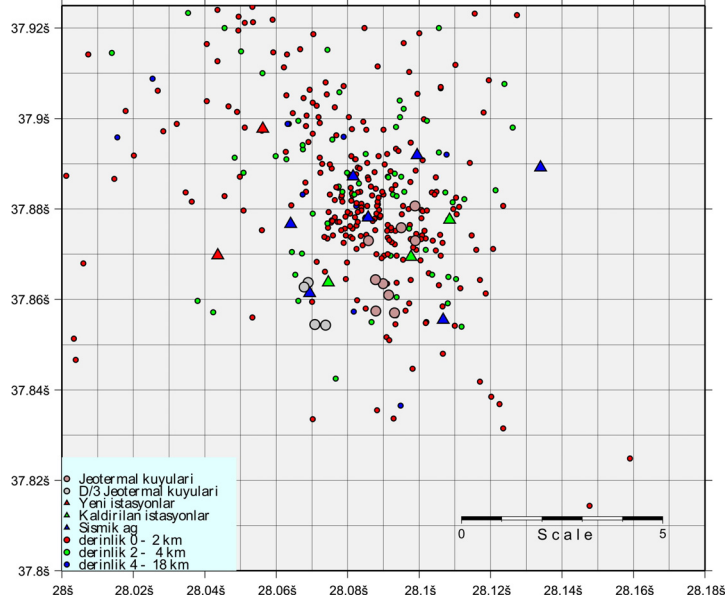
olmasına bağlıdır. Toplam 360 yerel deprem kayıt edilmiştir. Sinyal gürültü oranı yüksek iyi kaydedilmiş bazı depremler(P ve S geliş zamanı okumaları çok iyi) Şekil 15 ve 16 da verilmiştir. Depremler bulunup lokasyonu yapılmadan önce verinin gürültü karakteri araştırılmıştır. Temel gürültü yüksek olduğu için P ve S fazlarını tanımak güçleşmektedir. Gürültünün spektrumundan hangi frekanslarda hakim olduğu belirlendikten sonra veriler 2 – 10 Hz band aralığında band geçişli süzgeçle süzölmüştür. Süzgeçleme olayı sinyal gürültü oranını artırmış ve ilk geliş zamanlarının okuma doğruluğunda iyileşme sağlamıştır. Lokasyonun doğru olduğuna karar verilen 360 yerel depremlerin bölgedeki dağılımı Şekil 17' de verilmiştir.



Şekil 15. AYD07 İstasyonunda Kayıt Edilen Üç Bileşen Deprem Kaydı.



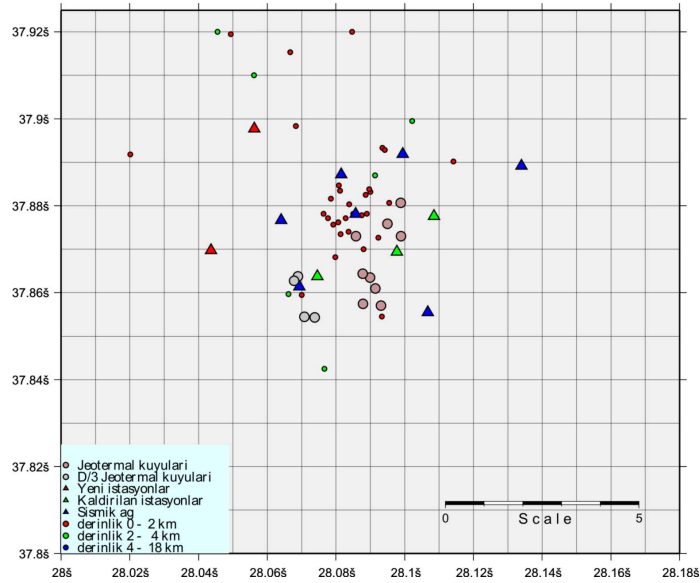
Şekil 16. Aynı Depremin 7 İstasyondaki Düşey Bileşen Kayıtları.



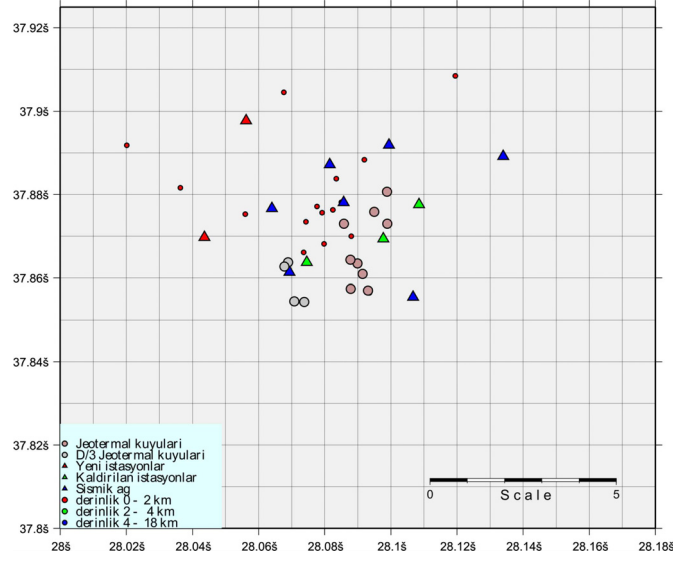
Şekil 17. 6 Aylık Zaman İçersinde Kayıt Edilen 360 Yerel Depremin Dağılımı.

SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Bu çalışmada üretilen sismisite haritası dünyanın çeşitli yerlerindeki çalışmalardan üretilen sismisite haritası ile benzerlik göstermektedir (Şekil. 17). AS-2 reenjeksiyon kuyusunun batı ve kuzey batısında bir deprem kümelenmesi vardır. Bu kümelenme soğuyan ve reenjekte edilen suyun dolaşımı sonucu sıkıştırmadan oluşan çatlaklar sonucu meydana gelmiş olabilir. Sadece sinyal gürültü oranı yüksek olayları görüntülediğimizde kümelenmelerin aynı bölgede olduğunu görmekteyiz (Şekil. 18). 27 Haziran 2010 tarihinde AS-2 kuyusundan yapılan reenjeksiyon iki gün durdurulmuş ve tekrar reenjeksiyona başlanmıştır. Reenjeksiyonun başlamasından sonraki 4 gün içerisinde bu kuyuya yakın küçük depremler olmuştur(Şekil. 19).

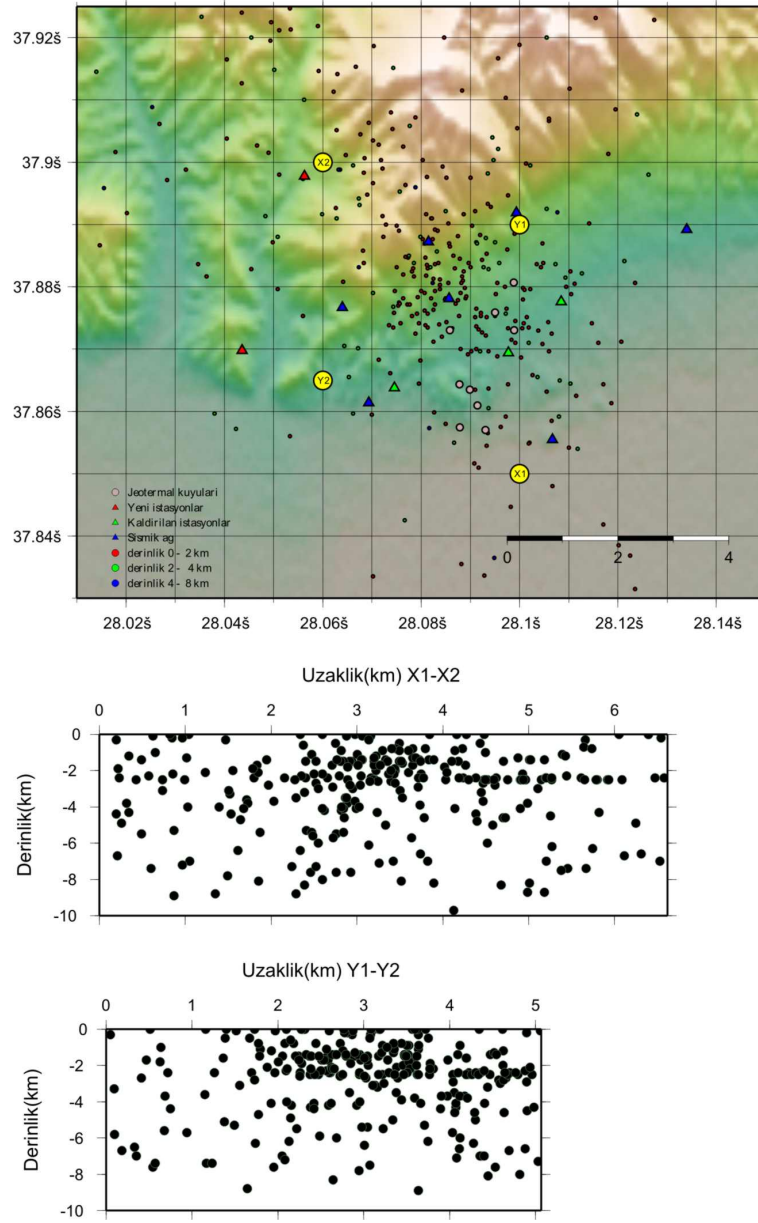


Şekil 18. İyi Kalite Depremlerin Lokasyonu.

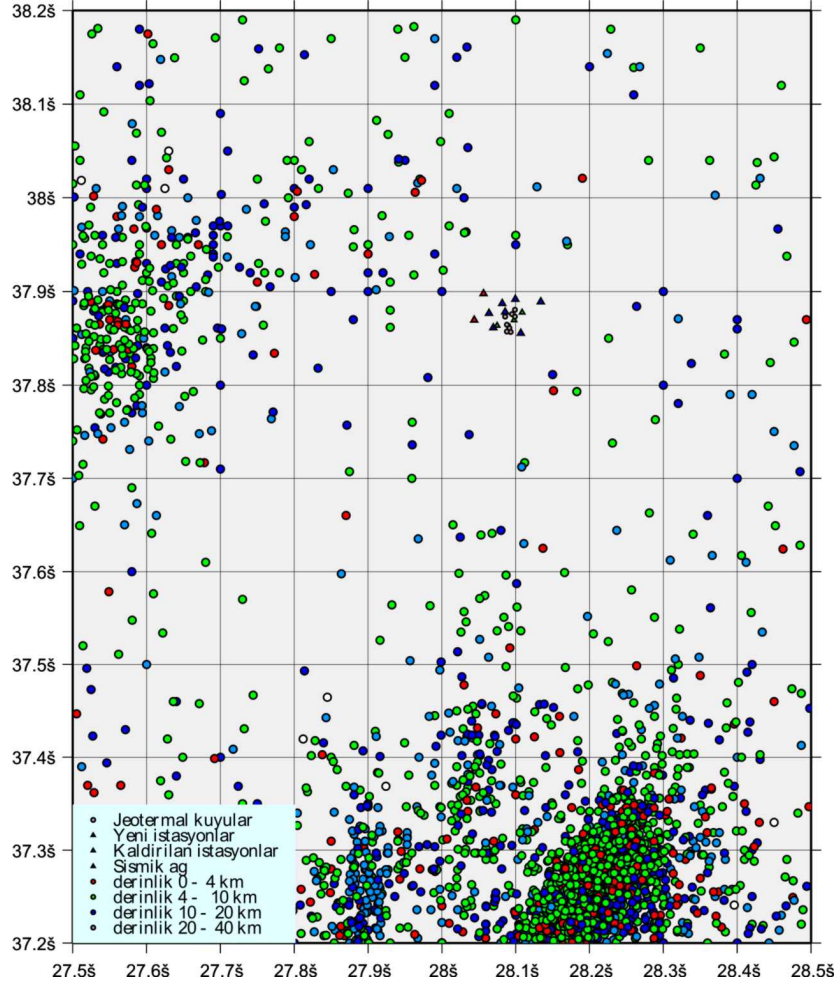


Şekil 19. AS-2 Kuyusuna İki Günlük Bir Durmadan Sonra Yapılan Reenjeksiyon Sonucu Oluşan Depremler.

Şekil 17' de gösterildiği gibi oluşan depremleri derinlik bazında izlemek için doğu – batı ve kuzey doğu – güney batı istikametlerinde kesitler alınmıştır(Şekil.20). Depremlerin çoğu 2 -3 km derinlikte toplanmıştır. Bu durum rezervuarın bu yöne genişlediğini veya yoğun soğuk atık suyun bu kısımda daha derinlere gittiğini gösterebilir. Üretim kuyuları AS-2 kuyusunun doğusunda yer almaktadır. Reenjeksiyon suyunun bu yöne doğru akmadığı izlenimi doğmuştur. AS-2 kuyusunun batı ve kuzey batısında çatlak sistemleri var olduğu ve enjekte edilen suların bu yönde hareket ettiği düşünülmektedir. Daha önce AS-1 ve AS-2 kuyuları arasında 45 günlük bir çapraz test yapılmış ve ikisi arasında bir bağlantı görülmemiştir.



Şekil 20. (a) Haziran 25 ile 15 Ekim 2010 Tarihleri Arasındaki Depremlerin Lokasyonları, (b) X1 ve X2 Arasındaki Depremlerin Derinlik Kesiti, (c) Y1 ve Y2 Noktaları Arasındaki Depremlerin Derinlik Kesiti.



Şekil 21. Çalışma Alanını Çevreleyen Bölgenin 1975 – 2010 Arası Deprem Etkinliği.

SONUÇLAR

Bölgedeki deprem aktivitesi 1975 yılından buyana Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün Ulusal Deprem İzleme Merkezinden alınmış ve sismisite haritası oluşturulmuştur (Şekil 21). Haritaya bakıldığında çalışma alanında olmuş bir depreme rastlanmamıştır. Bu da gösteriyor ki projede kayıt edilen depremlerin çoğu rezervuarda oluşan hareketler ve reenjeksiyon kaynaklıdır. Kayıt edilen depremlerin büyüklükleri 0.3 ile 0.6 arasında değişmektedir. Ulusal Deprem İzleme Merkezinin deprem lokasyon eşiği bu bölgede 1.0 civarındadır. Sismik ağın dışındaki dağılmış durumdaki depremlerde Kandilli'nin deprem lokasyon eşiğinin altındaki depremleri oluşturmaktadır.

Salavatlı jeotermal sahasının kuzeyindeki reenjeksiyonun sismik kayıt sonuçları, açık bir şekilde ısı akışında bir yönelme olduğudur. Bariz olarak sismik aktivitenin paterninin batı ve kuzey batı yönlerinde olmasıdır. Bu olaylar 0 – 2 km derinliklerde olmaktadır. Derinlerdeki olaylar bölgesel bir dağılım göstermekte ve doğal deprem olayları olarak yorumlanabilir. Diğer taraftan sığ depremler reenjeksiyon kuyusunun çevresinde oluşmakta ve özellikle batı ve kuzey batıda yoğunlaşmaktadır. Bu taraf Aydın – Salavatlı fayının asılı duvar kısmını oluşturmaktadır. Tetiklenmiş depremlerin dağılımına bakıldığında reenjekte edilen suyun jeotermal sistemin dışına doğru dağıldığı görülmektedir. Diğer bir deyişle ana rezervuar zonundan kaçma durumu göstermektedir. Bu mekanizma önemsenmeli ve jeotermal sistemin işleyişi sisteminde değerlendirilmelidir.

En önemli durum reenjekt edilmiş soğuk suyun olduğu bölgede rejyonel jeotermal sistemin boşalım sahasına akmasıdır. Süzülmuş suyun aşağıya doğru daha derinlere ve sıcak kaya kütlelerine doğru akmasıdır. Diğer taraftan ısınan ve hafif olan sıvının derinlerde yer alan merkezi graben faylarının olduğu güney kısımlarda yukarıya doğru aktığı görülmüştür. Bu faylar Pliosen yaşlıdır ve gerçek graben oluşumlu fayların D- B uzantısıdır. Diğer taraftan süzülmuş soğuk suyun aşağıya akmasını sağlayan kırık sistemi Miosen yaşlı KB – GE oriyantasyonlu eski graben sisteminin oluşturduğu basınçlı ortamın kalıntılarıdır.

Henüz sismik kayıtların başlangıç aşamasındayız. Çok daha fazla veri toplandıkça reenjektasyon sonucu oluşan akıntı yolları açığa çıkarılmış olacaktır. Tetiklenmiş depremlerin uzun bir süre kayıt edilmesi ve daha fazla ve güvenilir verinin toplanması sonucu yapılan yorumlarda değişikliklere gidilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KARAMANDERESİ, İ.H., YAKABAĞI, A., ÇİÇEKLİ, K., ÜSTÜN, Z. ve ÇAĞLAV, F., "Regional Evaluation Report of the Aydın-Sultanhisar-Salavatlı Geothermal Field and AS-1 and AS-2 Wells", MTA report No. 9956, İzmir, 1994.
- [2] ŞAHİN, H., "Resistivity surveying in Salavatli-Sultanhisar area", MTA Report, Ankara, 1985
- [3] SUMET, Resistivity Surveying in Salavatli Geothermal Field, Report to Menderes Geothermal, İzmir, 2010.
- [4] ERİŞEN, B., AKKUŞ, İ., UYGUR, N. ve KOÇAK, A., "Geothermal Inventory of Turkey", MTA, Ankara, 19
- [5] SERPEN, U. ve TÜFEKÇİOĞLU, H., "Developments in Salavatli Geothermal Field of Turkey". Transactions of GRC 2003 Annual Meeting. Oct. 12–15, Morelia, Michoacan, Mexico, 2003.
- [6] SERPEN, U. ve AKSOY, N. "Reinjection Problems in Overpressured Reservoirs". Proceedings, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 31-February 2, 2005.
- [7] SERPEN, U., ve AKSOY, N., "Reassessment of Reinjection in Salavatli-Sultanhisar Field, Turkey". Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25–29 April 2010, 2010
- [8] ÇİFTÇİ, G., PAMUKCU, O., ÇORUH, C., ÇOPUR, S., SÖZBİLİR, H., "Shallow and Deep Structure of a Supradetachment Basin Based on Geological, Conventional Deep Seismic Reflection Sections and Gravity Data in the Büyük Menderes Graben, Western Anatolia". Survey Geophys, DOI 10.1007/s10712–010–9109–8, 2010
- [9] TEZEL, T., SHİBUTANİP, T., KAYPAK, B., "Crustal structure variation in Western Turkey inferred from the receiver function analysis", Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2010. 06.006, 2010
- [10] TEZEL, T., ERDURAN, M., ALPTEKİN, O., "Crustal shear wave velocity structure of Turkey by surface wave dispersion analysis, Annals of Geophysics", 50, No 2, 177-190, 2007.
- [11] OZALAYBEY, S, Kişisel iletişim, 2010

ÖZGEÇMİŞ

Cemil GÜRBÜZ

Kasım 1946 yılında Denizli de doğmuştur. Jeofizik Mühendisi, 1969 İ.Ü. Jeofizik Bölümü, Yüksek Lisans 1974 Durham Üniversitesi, İngiltere, Doktora 1978 Lancaster Üniversitesi, İngiltere. 1979 – 1987 yılları arasında İTÜ, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi, 1987 yılından buyana da BU, KRDAE' ünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışma hayatında birçok ulusal ve uluslararası projelerde yönetici ve araştırmacı olarak görev almıştır. Eğitim ve araştırma faaliyetleri yanında Anabilim Dalı Başkanı, Enstitü Müdür Yardımcısı ve Enstitü Yönetim Kurulu üyesi olarak çeşitli görevlerde bulunmuştur. Araştırma konularını jeofizik yöntemlerle yer kabuğunun yapısının araştırılması, deprem ve patlatma sismolojisi verilerinin analizi, mikrodeprem ağlarının

kurulması ve işletilmesi, mühendislik amaçlı sığ yapıların araştırılması, arkeojeofizik çalışmalar ve deniz dibi rasathanesi sisteminin oluşturulması ve verilerinin analizi. Avrupa, Japonya ve Amerika gibi ülkelerle uluslararası projelerde ortak yönetici ve araştırmacı olarak görev almıştır.

Ümran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Filipinler, Rusya ve İtalya'da çeşitli jeotermal projelerin değişik aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 2010 yılında İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Bölümünden emekli olmuştur. Jeotermal projelerde saha değerlendirme, sondaj programlama, proje yönetimi konularında çalışmalarına devam etmektedir.

Tahir ÖNGÜR

1944 İstanbul doğumludur. 1966 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesinden Jeoloji Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. 1966–80 yılları arasında 14 yıl boyunca, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nde çok sayıda genel jeoloji ve jeotermal enerji çalışmasına katıldı ya da yürüttü. Özellikle volkanoloji, hidrojeokimya ve jeotermal mühendisliği konularında deneyim kazandı. 1978–1979 yılları arasında MTA Petrol ve Jeotermal Enerji Daire Başkanlığı yaptı. Daha sonra MASU Sondajcılık firmasına yönetici olarak katıldı. 1976–1979 yıllarında Türkiye Jeoloji Kurumu Başkanlığı yaptı. 1982-1984'te GEOTEKNİK AŞ'de yeraltı suyu ve mühendislik jeolojisi konularında proje yöneticisi olarak çalıştı. 1984'de kurulan GEOSAN AŞ'nin kurucu ortaklarından ve bir süre Genel Müdürlüğünü yürütmüştür. Ana ilgi alanı geoteknik, yeraltı suyu hidrojeolojisi ve jeotermal kaynaklarda yoğunlaştı.

Niyazi AKSOY

1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1984–1994 arasında MTA Genel Müdürlüğünde jeotermal enerji sondaj, üretim ve test mühendisi olarak çalıştı. 1997–2001 yılları arasında DEÜ Uygulamalı Jeoloji ABD'de yüksek lisans ve doktorasını tamamladı. Jeotermal enerjili bölgesel ısıtma, seracılık ve elektrik üretimi projelerinde kuyu değerlendirme, test, ölçme ve saha yönetimi konularında çalışmaları bulunmaktadır.

Doğan AKSARI

1976 Çorum doğumludur. 2001 yılında İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Boğaziçi Üniversitesinden 2006 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2001 yılından beri Boğaziçi Üniversitesi Jeofizik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Stres Analiz, Deprem ve Fay fiziği, sismoloji aletsel donanımı, sismik ağlar, Ege Bölgesi ve Dalma Batma Alanları konularında çalışmaktadır.

Alper DENLİ

1983 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Anabilim dalında yüksek lisansını tamamlamıştır. 2008 yılından itibaren de aynı üniversitede doktora eğitimine devam etmektedir. 2008 yılından beri Boğaziçi Üniversitesinin bünyesinde kurulan Teleiletişim ve Enformatik alanlarında akademisyen yetiştirme merkezinde bilimsel proje uzmanı olarak görev yapmaktadır. Sismik tomografi ve ışın izleme konularında çalışmaktadır.

Tugce Afacan ERGUN

1980 yılı İstanbul doğumludur. 1997 yılında Özel Kültür Fen Lisesini bitirmiştir. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2006 yılında Boğaziçi Üniversitesinde yüksek lisans eğitimini tamamlamış, aynı yıl Boğaziçi Üniversitesinde Doktora

programına başlamıştır. 2004 yılından itibaren Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeofizik Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Sismik Tomografi, Alıcı Fonksiyon, Sismik Kırılma ve Yansıma, Modelleme ve Sismik Görüntüleme konularında çalışmaktadır.

Çağrı DİNER

1977 yılı Ankara doğumludur. 2000 yılında Ortadoğu Üniversitesi Matematik Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversite ve bölümden 2003 yılında yüksek lisans derecesini almıştır. 2000–2005 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2005 yılında Memorial University of Newfoundland Kanada'da doktarasına başlamış ve 2009 yılında Doktor ünvanını almıştır. Bu yıllar arasında Petro-Canada şirketinden burs almış ve aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2009 yılından beri Kandilli Rasathanesi ve Boğaziçi Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü Jeofizik Anabilim Dalında araştırmacı olarak çalışmaktadır.