

YÜKSEK ENTALPİLİ JEOTERMAL SAHALARIN ARANMA VE GELİŞTİRİLMESİNDE YENİ TEKNOLOJİLER

Tahir ÖNGÜR

ÖZET

Artan enerji gereksinimi ve hele artan çevre sorunları karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektriğe dönüştürülebilir yüksek ısı yüklü jeotermal kaynakların aranması ve geliştirilmesi daha da önem kazandı.

İlgili bilim ve mühendislik dallarında kazanılmış sınırsız bilgi zenginliği ve yetiştirilmez bir hızla gelişen teknolojiler buna yönelik çabalarda da başvurulması kaçınılmaz yerler oldu ve oluyor. Dünyadaki değişik kurumlarda bu konuda araştırma programları uygulanıyor, kurumlar arası işbirlikleri destekleniyor, önemli fonlar ayrılıyor bu çalışmalara.

Çalışmaların bir bölümü arama ve araştırma teknik ve yöntemlerinin geliştirilmesi doğrultusunda yapılıyor. Bir bölümü ise sahaların geliştirilmesinde en temel çalışma olan sondajcılıktaki maloluşları düşürmek, fiziksel güçlükleri aşmak ve doğru karar verme olanak ve süreçlerini geliştirmeye yönelik.

Bu alanda atılıma hazırlandığı düşünülen ülkemizdeki mühendislerin de dünyaya kulak vermeleri ve yarın uluslararası firmaların pazarı olmadan kendi bilgi ve donanımlarını geliştirmesi önemli bir görev. Bu nedenle bu araştırma ve geliştirme evreninde bir dolaşmakta yarar var.

- Gizli kalmış jeotermal sahaların aranmasına yönelik hangi yeni teknikler geliştiriliyor?
- CO₂ Gaz akısı ölçümlerinden nasıl yararlanılıyor?
- Jeobotanik ne işe yarıyor?
- İzopotop kimyasında ne yenilikler var?
- İnfrared ölçümlerinden artık nasıl yararlanılıyor?
- 3 Boyutlu Manyetotellürik ölçüler neler başarıyor?
- Havadan Elektromanyetik ve Gravite ölçüleri bu alana neler getiriyor?
- Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri jeotermal kaynak yeri belirlemede nasıl kullanılır oldu?
- Yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ölçüm ve izleme aygıtlarından nasıl yararlanılıyor?
- Daha sondaj sırasında rezervuara ilişkin tanıma ve tanımlama yaklaşımları kuyu başarısını nasıl artırıyor?

Bunlar ve başka yeni teknik ve yöntemler jeotermal yaşamımıza girebilecek mi? Kamu kurum yöneticileri ve yatırımcılarımızın sağduyusu belirleyecek bunu.

1. GİRİŞ

Artan enerji gereksinimi ve hele artan çevre sorunları karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bu arada elektriğe dönüştürülebilir yüksek ısı yüklü jeotermal kaynakların aranması ve geliştirilmesi daha da önem kazandı.

İlgili bilim ve mühendislik dallarında kazanılmış sınırsız bilgi zenginliği ve yetişilmez bir hızla gelişen teknolojiler buna yönelik çabalarda da başvurulan yerler oldu ve oluyor. Dünyadaki değişik kurumlarda bu konuda araştırma programları uygulanıyor, kurumlar arası işbirlikleri destekleniyor, önemli fonlar ayrılıyor bu çalışmalara.

Çalışmaların bir bölümü arama ve araştırma teknik ve yöntemlerinin geliştirilmesi doğrultusunda yapılıyor. Bir bölümü ise sahalarda geliştirilmesinde en temel çalışma olan sondajcılıktaki maloluşları düşürmek, fiziksel güçlükleri aşmak ve doğru karar verme olanak ve süreçlerini geliştirmeye yönelik.

Bu alanda atılıma hazırlandığı düşünülen ülkemizdeki mühendislerin de dünyaya kulak vermeleri ve yarın uluslararası firmaların pazarı olmadan kendi bilgi ve donanımlarını geliştirmesi önemli bir görev. Bu nedenle bu araştırma ve geliştirme evreninde dolaşmakta yarar var.

Jeotermal kaynaklar alanında dünya pazarının önümüzdeki 10-15 yıl içinde 25 milyar USD'a ulaşması bekleniyor. Buna karşılık jeotermal kaynakların geliştirilmesinin mal oluşu henüz alışılmış enerji kaynaklarının en düşük mal oluşlarından biraz daha yüksek ve bu nedenle de rekabet gücü zayıf. Bir yolla jeotermal kaynak geliştirmenin mal oluşunun düşürülmesi gerekiyor.

Bu doğrultudaki çalışmaların en derli toplusu, ABD Enerji Bakanlığı "Enerji Etkinliği ve Jeotermal Enerji" bölümünce sürdürülen **Jeotermal Teknolojileri Programı**. Bu çalışmalar merkezi ve federal hükümetler, üniversiteler, firmalar ve araştırma enstitülerinin katılımıyla sürdürülüyor. DOE, ABD'deki jeotermal kaynakların ülkenin 30.000 yıllık enerji gereksiniminin karşılanmasına yetebilecek iken bugün kurulu güç kapasitesinin yalnızca 2.800 MW oluşunun kabul edilemez olduğunu bildiriyor. Jeotermal kaynakların, yeryüzündeki petrol ve gaz yataklarından 50.000 kez daha zengin; ama, arama ve geliştirme teknolojileri henüz yeterince olgunlaşmamış bir alan olduğu inancıyla başlatılan program, EGS; arama ve kaynak belirleme; sondaj ve rezervuar yönetimi; güç sistemleri enerji dönüşümü konularında yoğunlaşmış.

Bu çalışmalarda birçok yeni teknoloji geliştirilmiş. NREL'de geliştirilen yeni bir kondenser modeli (ADCC); Brookhaven National Laboratory'de geliştirilen ve Haliburton'un ThermoLock adıyla markalaştırdığı yeni bir kuyu içi çimento türü; yine BNL'de geliştirilen ve yeraltına geri basılan atık akışkanın içindeki sorun yaratan silisin satılabilir bir ürün olarak akışkandan elde edilmesine yönelik bir teknoloji; BNL'in geliştirdiği bir başka ürün olan ve korroziona uğrayabilecek metal donanımların kaplanmasında kullanılacak, ısı iletkenliği yüksek olduğu gibi karbon lifleri katıldığı için fiziksel aşınmaya karşı da dirençli olan polifenilensülfat (PPS); Dandia National Laboratories(SNL)'de geliştirilen ve sondaj sırasında delme dizisine takılıp hızlı ve güvenilir veri aktarmaya yarayan ve yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı akustik telemetri aygıtı; yine SNL'in çevreye zarar vermeden kuyu testleri yapılmasına elveren düşük emisyonlu atmosferik ölçülü seperatör (LEAMS), hep bu program çerçevesinde geliştirilip ödül almış projeler. Programın kapsamında ayrıca EGS (kısırlanmış jeotermal sistemler), Raft River Bölgesi'nin geliştirilmesi; batı eyaletlerini jeotermal kaynaklardan yararlandırmaya yönelik "Geo Powering the West" konularında yoğunlaşan çalışmalar da var. 2004 yılında hazırlanan stratejik plana göre, Program ilk aşama hedeflerine 2010'da ve son hedeflerine de 2040'te ulaşması (bütçe arttırılırsa bunun 2020'ye çekilebileceği) öngörülmüş. Hedeflenen amaç ise üretilecek jeotermal elektriğinin mal oluşunun 5 sent'in altına indirilmesi; ekonomik olarak üretilebilir kaynakların kapasitesinin 40.000 Mw_e'a çıkarılması; EGS'inden üretilecek elektriğin mal oluşunun 5 sent'in altına çekilmesi.

Dünyada benzer başka teknoloji geliştirme çalışmaları da var. Ancak, iyi bir örnek oluşu nedeniyle DOE'nin çalışmalarına kabaca bir bakmak yol gösterici olabilir.

2. GİZLİ KALMIŞ JEOTERMAL SAHALARIN ARANMASINA YÖNELİK HANGİ YENİ TEKNİKLER GELİŞTİRİLİYOR?

Bugüne değin yüzeyde sıcak su ve benzeri termal belirtilerin görüldüğü yerlerin çevresindeki ve görece olarak sığ jeotermal sahalar geliştirildi. Oysa, gün geçtikçe daha derin, yüzeyde çok tipik bir belirtisi olmayan, ya da yüzey belirtileri ile asıl sistemin yerleri arasında bir kayma olan sahaların da bulunduğu; bunların belki de daha yaygın olduğu yönünde bir kanaat oluştu. Şimdi, bu tür sahaların daha kesin ve duyarlı biçimde keşfi ve tanınmasına katkıda bulunacak arama teknikleri geliştirilmeye başlandı.

DOE'nin programı bu alandaki hedeflerini, geniş alanlarda arama yaparak yeni jeotermal sahalar bulmak olarak tanıtır. Henüz bilinmeyen kaynakların bilinenlerden daha çok olduğu kabul edilip özellikle iki umut verici teknik üzerinde çalışılıyor. Hiperspektral görüntüleme projesi ile yerdeki düşük düzeyli ısı ve kimyasal sızıntıların havadan taranması amaçlanmıştır.

2.1. CO₂ Gaz Akısı Ölçümlerinden Nasıl Yararlanılıyor?

Yer kabuğunun her yerinden çok zayıf ta olsa atmosfere salınmakta olan CO₂ gazı akısının, gazın yer altında zenginleştiği yerlerde çok daha yüksek olması gerektiği öngörüsü ve dünyanın pek çok yerinde bunun doğrulanmış olması aramalarda gaz akısı ölçümlerini sonuç alıcı bir teknik olarak ortaya çıkarmıştır.

Yakın zamana kadar bu amaçla toprak atmosferinde CO₂ gazı oranını belirlemeye yönelik ölçüm ve analizler yapılagelirdi. Şimdi ise, gaz akısını, birim alandan atmosfere birim zamanda ne kadar gaz boşaldığını ölçen aygıtlar geliştirildi. Bu aygıtlar bir gaz toplama odası ve bir de infrared gaz analiz biriminden oluşmakta. Bu yolla hızlı, güvenilir ve temsil etme yeterliği yüksek bir tarama yapılabilir. Önce tarımsal amaçlarla geliştirilen bu sistemler artık jeotermal sahalarda, gaz alanlarında, volkan gözlemlerinde, vb pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Bunlar, ya değişik noktalarda anlık gaz akılarını ölçebilmek üzere; ya da bazen, aynı noktadaki gaz akısının zaman içindeki değişimini ölçüp kayıt etmek üzere tasarlanmıştır.

Topraktan atmosfere gaz akısı sızma (difüzyon) biçiminde olmaktadır. Bu, basınç değişimleri, rüzgar, sıcaklık, yağış gibi etkenlerden de etkilenmektedir. Bu nedenle, söz konusu etkileri giderebilecek şekilde tasarlanmış toplama kutuları kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılmak üzere tasarlanan ve ticari olarak kullanılan birkaç sistem bulunmaktadır. Aygıt bir gaz toplama kutusu, bir taşınabilir infrared gaz analiz birimi ve veri derleme ve iletişim birimlerinden oluşmaktadır.

Volkanlardan atmosfere görünen ya da görünmeyen biçimde büyük miktarlarda gaz salındığı bilinmektedir. Bu sayede, diri volkanların etkinliğinin izlenmesinde gaz salımının izlenmesi de önemli bir jeokimya aracı durumuna gelmiştir. Son 15-20 yılda gaz salımı çalışmaları esas olarak CO₂ üzerinde yoğunlaşmıştır; çünkü, bu gaz magmanın sudan sonra en uçucu ve magma derinlerden yükselirken magmadan ayrılan ilk ana bileşendir[1].

Bu nedenle, topraktan CO₂ gaz akısı ölçümleri dünyanın değişik yerlerinde oldukça sık ve başarıyla uygulanmaktadır. Örneğin, Yunanistan'ın Nisiros Adası'nda güney Lakki Ovası'nda yapılan iki çalışmayla CO₂ gazının esas olarak hidrotermal patlama kraterleri çevresinden sızdığını ortaya koymaktadır. İncelenen toplam 1,3 km²'lik alandan günde 68 ton CO₂ gazı sızdığı hesaplanmıştır[2]. Benzer bir başka çalışmanın yapıldığı Vezüv Yanardağı ve çevresinde, günlük gaz salımının 151 ton olduğu hesaplanmıştır[3]. İtalya'da bu yöreyi de kapsayan çok daha geniş bir bölge için yapılan bir başka çalışmada da[4], yalnızca 66 km²'lik bir alanda salınan gazın miktarının 3,8x10⁸ mol/yıl olduğu hesaplanmıştır. Avrupa Jeofizikçiler Birliği'nin düzenlediği "*Volkanik Tehlikeler: İzleme, Öngörme ve Önlemler Sempozyumları*"nda bu alanda yapılmış çok sayıda çalışmanın (örneğin[5]) sonuçları sergilenmektedir. Japonya'da Usu Volkanı'nda yapılan gaz akısı çalışmalarıyla gaz akısının 31 Mart 2000 tarihindeki püskürmeden 6 ay önce günde 120 tondan günde 340 tona yükselişi ve püskürmeden sonra da günde 39 tona düşüşü belgelenmiştir[6].

Volkanik sistemlerde magmatik etkinliklerle yeraltısu dolaşımı arasındaki ilişkinin jeofizik ve gaz akısı ölçümleri ile izlenebileceği öne sürülmektedir. Nikaragua Masaya Volkanı çevresinde CO₂ gaz akısı ile SP arasında yakın bir ilişkinin belirlendiğini belirtmektedir[7].

Werner (2005)[8] te, Yeni Zelanda Rotorua Jeotermal Alanında gaz akısı ve toprak sıcaklığının dağılımını incelemiştir. Rotorua kentinin bütünü altıda yaygın (28 km²) bir öz direnç anomalisi bulunuyor. Bir kalderanın içinde yer alan bu sistemin bazı bölümlerinde toprak sıcaklıkları normalden en az 5-6°C daha yüksek, 5-100°C arasında değişiyor. Buralarda CO₂ akısının da yüksek olduğu belirlenmiş (belirlenemeyecek kadar az ile 11.535 g/m²/g arasında). Bu iki değişken arasında çok güçlü olmasa da bir ilişki olduğu ortaya çıkarılmış. Ölçülen gaz akısı, aktif volkanlarda karşılaşılanlara ulaşıyor ve tipik biyojenik boşalmaların 3 merteye üzerinde. Bunun büyük bölümünün yükselen jeotermal akışkanın basıncının düşüşünden ötürü bu akışkandan ayrılan gaz olduğu yorumu yapılıyor.

El Salvador'daki Berlin Jeotermal Alanı'nda yapılan toprak gazı ölçüm çalışması sonucunda da belirgin anomaliler saptanmıştır[9].

Tipikliğinden ötürü değinilebilecek bir başka çalışmada da[10], CO₂ gaz anomalilerinin faylarla sınırlandırıldığını belirlendiği gösterilmektedir. Faylarla toprak gaz salınımı anomalilerinin arasındaki ilişki Doğu İtalya'da da saptanmıştır[11].

Gaz akısı çalışmaları doğrudan toprak üzerinde yapıldığı gibi, bazı ivedi durumlarda farklı yükseltilerde yapılan uçuşlarla havadan yapılması da denenmiştir. ABD, Kaliforniya Mammut Dağı Volkanı üzerinde yapılan böylesi bir incelemede çok tipik ve sürekli ağaç ölümleri görülen bir sahayı da kapsayan bir anomalinin elde edildiği belirtilmektedir[12].

Bu bölgede, CO₂ gaz salımının yerden yapılan ölçümleri sonucunda daha ayrıntılı bir resim elde edilmiştir.

Yine Long Valley Kalderası'nda yapılan düzenli gözlem ve ölçü çalışmaları kapsamında CO₂ gaz akısı ölçümleri de yapıldığı ve değişimlerin yorumlanmaya çalışıldığı görülmektedir[13].

Gaz akısı ölçüm sonuçlarını saptıracak pek çok etkenin bulunduğu kuşkusuzdur. Bu çalışmalarla derlenen verilerin düzeltilmesi için geliştirilmiş bazı modeller de bulunmaktadır[14]. Bazı sıcak su sahalarında denenilen bir çalışmada gaz akısının yaz ve kış değerleri arasında farklar olduğu ve CO₂ gaz salımının kışın daha az olduğu belirlenmiştir[15].

Volkanik ve hidrotermal sistemlerde CO₂ gaz salımının ölçülmesi yoluyla sistemin saldıdığı ısının hesaplanması için de bir yöntem önerilmektedir[16]. Yapılan çalışmalarda, fümerollerde ölçülen buhar/gaz oranıyla topraktaki ısı (termal) gradyan ve toprak gazı akısının oranının logu arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu ilişkiyi denetleyen ana parametre zeminin ısı iletkenliğidir(K_c). Her bir saha için, 0,4-2,3 W m⁻¹ °C⁻¹ arasında değişen K_c değerleri bulunmuş ve toprak CO₂ gazı akısı, derin sıcak akışkanların bir belirtisi olarak kullanılarak, sistemde yoğunlaşan buhardan salınan ve 1-100 MW arasında değiştiği görülen toplam ısılar hesaplanmıştır.

Bu değinmeler, gaz akısı anomalilerini belirlemenin CO₂ gazının aranmasında çok başarılı ve etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Jeolojik olarak CO₂ gazının oluşma ve birikmesine yatkın bir alanda olduğuna karar verildiğinde, bunu doğrulamak için başvurulabilecek en ucuz, en hızlı ve en başarılı araştırma tekniği gaz akısı ölçüleridir.

Bu ölçülerde yere yereleştirilen bir kutudaki gaz derişimi ölçülmekte ve bu ölçüm sürdürüldükçe kutudaki CO₂ gazı derişiminin artışı izlenmektedir. Önerilmiş olan sistemin hacmi 4843cm³ ve ölçülen zemin alanı 317,8 cm²'dir.

Kutuda toplanan gaz kutunun tavanından alınmakta, infrared gaz analiz aygıtına gitmekte ve yeniden toplama kutusunun tabanından geri verilmektedir. Dolaşan gaz yeterli karışımı sağlayabildiği için kutunun içindeki havayı karıştırmak üzere ayrıca bir fan kullanılması gerekmemektedir. Kutunun içindeki ve dışındaki basınçları denkleştirebilmek için de toplama kutusuna takılı 30 cm uzunluk ve 2 mm çaplı esnek bir tüp kullanılmaktadır. Tüpün uzunluğu kayda değer bir sızma olmasını engellemektedir.

Toplama kutusunun alt kenarları keskinleştirilmiştir ve hafifçe bastırıldığında toprağa 1 cm kadar gömülebilmektedir. Bu kutu istendiğinde toprağa 2 cm'den çok batabilecek şekilde keskinleştirilmiş bir PVC borunun üzerine yerleştirilip sızdırmaz bir köpük conta ile de kullanılabilir.

Gaz akısı ölçümünün duyarlılığı kutudaki ve dışarıdaki basınçlar arasındaki farklar, kutudaki havanın nasıl karıştırdığı, kutudaki havada bulunan CO₂ gazı derişimi ve su buharının seyreltme etkisine bağlıdır. Topraktaki CO₂ gazı dışarıyla arasındaki derişim farkına bağlı olarak sızar. Kutudaki gaz derişimi arttıkça, toprak atmosferi ile kutudaki hava arasındaki derişim farkı azalır. Bu, ölçülen gaz akısının zamanla üssel olarak azalmasına neden olur.

Önceleri bu süreçler göz önüne alınmaz ve gerçektekenden daha düşük gaz akısı değerleri okunurdu. Daha sonraları fazla gazı somuran kimyasallar kullanılmaya başlandı. Bunun da hatalı sonuçlara yol açtığı belirlenince bu kimyasallar kullanılmadan, toprak gazı CO₂ derişimi ile başlangıçta toplama kutusundaki CO₂ gazı derişiminin değişimini göz önüne alan üssel bir fonksiyon geliştirildi ve bu düzeltmeler yapılarak gerçek gaz akısı okunmaya başlandı[17].

Ölçümlere başlamadan, önce dış hava CO₂ gazı derişimi ölçülür. Kutu yerine yerleştirildiğinde kutunun içinde kalan dış hava CO₂ gazı emilip alınır. Emici kapatılır ve gazın kutudaki derişiminin yükselişi ölçülür. İstenen gaz akısı değeri, kutudaki değer, dış havanın gaz derişimine ulaştığı zaman okunur. Aygıt bu işlemi yeteri kere yineleyerek ölçüm duralığını yükseltir. Bu yinelemelerin sonunda bir regresyon grafiği elde edilir ve bu grafikte dış havadaki CO₂ gazı derişimine denk gelen akı değeri belirlenir.

Toplama kutusu da rüzgarlı ya da durgun hava koşullarının etkilerini giderebilecek şekilde tasarlandı[18].

2.2. Jeobotanik Ne İşe Yarıyor?

Yeryüzünü kaplayan bitkiler buldukları alanın toprak ve anakaya kimyasıyla doğrudan ilişki içinde. Jeotermal alanlardan yüze sızan sıvı ve gaz akışkanların oluşturduğu anomalilerin incelenmesi de umut verici bir araç olarak geliştirilmeye çalışılıyor. Özellikle uydu görüntüsü hiperspektral verilerinin çözümlenmesi yönünde yapılan denemeler açık anomaliler ortaya koyuyor.

2.3. İzotop Kimyasında Ne Yenilikler Var?

İzotop jeokimyasında da gizli jeotermal sistemlerin alışılmışın dışındaki yüzey belirtilerini bulma ve tanımlama doğrultusunda kullanılma olanakları araştırılıyor. Bu açıdan karbon ve helyum izotopları özellikle ilgi görüyor. LBNL'den Kennedy'nin yürüttüğü çalışmalar etkili teknikler geliştirilmesine yaradı. Örneğin, kabuğun inceliği, sünek-gevrek kabuk sınırının oldukça sığ oluşu ve hidrotermal sistemin akışkan kimyasında astenosferin önemli etkilerinin oluşuyla bizim Menderes Grabeni sistemleriyle benzerliği çarpıcı olan Coso Jeotermal Alanının doğu kesiminde ısı kaynağını kimyasal ve izotop teknikleriyle inceleyen Chirstenson(2007)[19] CO₂ ve CH₄ teki C¹³ dağılım oranından ve He³/He⁴ oranından manto kökenine ilişkin belirtiler saptamışlardır.

2.4. İnfared Ölçümlerinden Artık Nasıl Yararlanılıyor?

Uzaktan algılama teknikleri de jeotermal kaynak aramasında giderek artan bir öneme sahip olmaktadır. GRC'in Eylül 2006 Arama Çalıştayı'nda verilen örnekler tipiktir [20]. Steamboat ve Brady sıcak su sahalarında uygulanan TIR (termal infrared) taramaları sıcaklık anomalilerinin belirlenmesinde oldukça başarılı görünmektedir. Gün içinde değişen sıcaklıklar ve yamaçların duruşuna göre değişen yansımalarla ilgili düzeltmeler yapıldığında anomaliler vurgulanmaktadır. İleri kil alterasyonları ve sinter oluşumları yüksek albedoya sahip olduklarından gün ışığını daha çok yansıtmakta ve çevrelerine göre daha soğuk olmaktadır. Güneye bakan yamaçlar daha parlak görünse de daha çok gün ışığı aldığından çevrelerine göre daha sıcak olmaktadır. Gündüz ve gece TIR bant 5 ışınları, yamaç konumu ve albedo etkileri çıkarıldığında, tipik yüksek ısı akısı anomalilerini ortaya çıkarmaktadır.

Kısa dalga infrared (SWIR) tekniği de Brady jeotermal alanında denenmiştir. Burada, 0,45-2,5 mikrometrelik 127 kanal görüntüsü kullanılarak 3 m'lik ayrımlar yapılabilmektedir. Uygun bant aralıkları bulunarak kireçtaşı ve kireç çökelleri haritalanabilmiş, kireçli çökeller izlenerek fayların uzanımları öngörülebilmiş, benzer bir yaklaşımla opalin silis çökelen sahalar haritalanabilmiş, yine asit sülfat alterasyon zonları ve ögsterit ve jips çökelen alanlar haritalanabilmiştir.

Nash'in da aynı çalıştadaki sunumu bu olanakları sergilemektedir. Uzaktan algılamada yeryüzündeki mineraller ve bitki örtüsünün yansıtma süreçleri etken olmaktadır. Bu kapsamda multispektral veriler, Landsat ve ASTER verileri yapısal jeolojii, alterasyonları, litolojiyi haritalamada kullanılabilir. AVIRIS, HyVista Hymap, HyVista ARGUS gibi hiperspektral veriler de mineralojik dağılımların, litoloji ve yapısal jeolojinin, toprak minerallerindeki anomalilerin, bitkilerdeki anomalilerin haritalanmasında kullanılmaktadır. Radar verileri ise InSAR interferometri yöntemiyle yeryüzündeki değişimlerin izlenmesinde kullanılmaktadır.

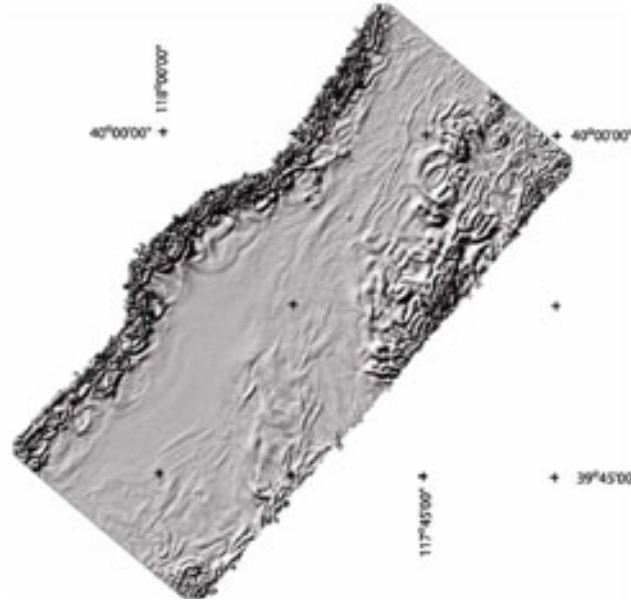
2.5. 3 Boyutlu Manyetotellürik Ölçüler Neler Başarıyor?

Yine LBNL'den bu kez Hoversten'in Sandia Laboratuvarları ile birlikte magnetotellürik verilerin 3 boyutlu dönüştürülmesi için geliştirdiği yöntem ve yazılımlar derin iletken zonların çok daha açıklıkla belirlenmesinde kullanılmaya başlandı. Yaklaşık 40 milyon USD'lık Proje Hawaii'de Kilauea denendi. 20 km derinliğe kadar veri derlenen bu çalışma sismik tomografi ve gravite ölçümleriyle de sınılandı. Sandia özellikle sonlu farklar modeli ve dönüştürme yöntemlerinin geliştirilmesinde katkıda bulundu. Örneğin, Newman et. al.(2005)[21] Coso jeotermal alanında bu işleme yöntemlerini kullanarak karmaşık jeotermal sistemin yapısının biraz daha aydınlatmaya çalışmakta.

2.6. Havadan Elektromanyetik ve Gravite Ölçüleri Bu Alana Neler Getiriyor?

LBNL'den Ki-Ha Lee ve G.M. Hoversten'in yürüttüğü bir projeye havadan elektromanyetik ve gravite ana bileşeninin çözümlenmesiyle hızlı kaynak değerlendirmesi yapma olanağı araştırılıyor.

Idaho Dixie Valley Jeotermal alanı çevresindeki grabende yüksek çözünürlüklü havadan manyetik taramalarla elde edilen veriler işlenerek yüzeyde izi olmayan havza içi fayların ortaya çıkarılabildiğini belirtmektedir [22]. Verilerin ek süzgeçlenmesi ve işlenmesiyle faylar çok daha belirgin olabilmektedir.



Şekil 1. Havadan alınan manyetik verilerden türetilen rölyef haritası

Şekil 1.'de, havadan manyetik verilerinin psödograviteye dönüştürülmesi ve gradyent penceresi yöntemiyle hesaplanan yerel ve sıg yapılarla ilişkili yatay gradyan genliklerinin gölgelendirilmiş rölyef haritası veriliyor.

Şekil 2 ise yüzeyden haritalanabilmiş faylarla havadan manyetik inceleme sonucu bulunan faylar birlikte sergileniyor.



Şekil 2. Yüzeyden haritalanmış ve havadan manyetik çalışmalarla bulunan faylar

2.7. Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Jeotermal Kaynak Yeri Belirlemede Nasıl Kullanılır Oldu?

Lawrence Berkeley National Laboratory'nin D.Vasco'nun önderliğinde yürüttüğü bir araştırma programı yüksek çözünürlüklü radar görüntüleri kullanılarak yeryüzündeki biçimdeğişirmeleri izleniyor. InSAR yöntemi ile yapılan taramalarla çöküntü ve kabarma alanları belirlenerek rezervuar olabilecek yerler belirlenmeye çalışılıyor.

3. YÜKSEK SICAKLIKLARDA ÇALIŞABİLEN ÖLÇÜM VE İZLEME AYGITLARINDAN NASIL YARARLANILIYOR?

Jeotermal sahalarda delme, kuyu logu alma ve testler sırasında yapılması gereken ölçümler çok sıcak ve korozyif ortamlarda bozulmayacak elektronik sistemler kullanılmasını gerektiriyor. Bu sağlanabildiğinde sondajın denetimi ve rezervuar tanımlaması doğrudan ve anında yapılabilip sondaj ekonomisi sağlanabilecek. Sandia Laboratuvarlarının yürüttüğü projede ayrıca bir kılıf gerektirmeden bu zor ortamlarda sınırsız süre çalışabilen elektronik sistemler ve koruyucular araştırıldı. Bu amaçla özellikle silikon yalıtıcı (SOI) teknolojisi üzerinde çalışıldı. Bu çerçevede, yüksek sıcaklık veri loglayıcısı, fiber optic basınç ve sıcaklık aygıtı, yüksek sıcaklıklı buhar kalite ölçeri, yüksek sıcaklık kristal saat osilatörü ve basınç duyarı, yüksek sıcaklık sapma duyarı, bürün yüksek sıcaklık jeotermal ölçü aygıtlarının gerektirdiği büyük değerli kapasitörler geliştiriliyor.

4. DAHA SONDAJ SIRASINDA REZERVUARA İLİŞKİN TANIMA VE TANIMLAMA YAKLAŞIMLARI KUYU BAŞARISINI NASIL ARTTIRIYOR?

Jeotermal sahalarda yapılan sondajlar yapılırken tanı yapılması (DWD) hedefe ulaşıp ulaşılmadığının anlaşılması, matkap ve takımın durumunun izlenmesi sondaj mühendisine anında önlem alma olanağı sağlayacak. Bu teknoloji yerleştiğinde jeotermal elektrik maloluşunun %30 kadar düşürülebilmesi bekleniyor.

Sert kaya matkaplarının geliştirilmesi, aside dayanıklı çimento, çimentonun yapısal dayanıklılığının analizi de geliştirilmeye çalışılan teknolojiler arasında.

5. JEOTERMAL KAYNAKLARLA İLGİLİ ARAŞTIRMA STRATEJİLERİ

ABD Enerji Bakanlığı'nın öncülüğünde yürütülen ve yukarıda kısaca örneklenen çalışmalar, ülkenin temiz, yenilenebilir ve güvenilir bir yerli enerji kaynağını en verimli bir biçimde değerlendirilebilmesi için bu kaynağın ekonomikliğini sağlamaya yönelik. Ülkenin jeotermal kaynak gizili titiz ve ayrıntılı olarak belirlenir ve sık yinelenen gözden geçirmelerle tazelenirken bir yandan da bu sektörde karşılaşılan teknik güçlüklerin aşılabilmesi için teknoloji geliştirme çalışmaları yapılıyor. Bütün bu çalışmalar kamu öncülüğünde ve akademik araştırma kurumlarının yürütücülüğünde gerçekleştiriliyor. Projeler 30 yılı aşan bir zaman süreci için planlanmış. Bir yandan Bakanlık tarafından sağlanan kaynaklar, bir yandan da araştırmayı yürüten kuruluşların kendi bütçeleri ve projelere katılan özel firmaların katkıları ile zenginleşip projelerin yürütülmesi sağlanıyor. Araştırma bulguları ve geliştirilen teknolojiler patentlerle korumaya alınıyor; araştırmacılar bulgularını özgürce yayınlıyor; sonuçlar çalıştay ve sempozyumlarda tartışılıyor.

Jeotermal kaynaklarının zengin olduğunu düşünen ve buna büyük umut bağlayan ülkemiz yarın bu teknolojilerin alıcısı mı olacak; yoksa, kendi sahalarının özelliklerini göz önüne alan –farklı ve özgün teknolojiler geliştirerek, pazar olmaktan kurtulma yolunu mu seçecek?

Şurası açık ki, jeotermal kaynaklarımızın hızlı ve etkin bir biçimde geliştirilebilmesi için ayrıntılı, gerçekçi ve doğru bir stratejiye gereksinimimiz var. Bu strateji öncelikle, ne tür kaynaklarımızın olduğunu göz önüne alarak arama, geliştirme ve işletmede hangi bilimsel, teknik, teknolojik, ekonomik, finansal, hukuksal ve kurumsal sorunlarımızın olduğunu ortaya koymalı. Daha sonra, yaşamsal önemde olanlardan başlayarak ulusal araştırma projelerini belirlemeli. Bu projelere, hangi kurumların katılabileceğini ortaya koymalı ve bunların yönetim, finans, program ve denetim kurallarını kapsamalı. Bu strateji, ülkenin jeotermal kaynaklarına sahip çıkacak yeni bir kurumsal yapılanmanın da temellerini oluşturmalı.

Önümüzdeki görev, sahalarımızın en uygun yollarla değerlendirilmesi saha dağıtma, hak paylaşma, ekonomik teşvik ve kayırmalarla sağlanamayacak kadar karmaşık ve güçlü. Düşünmemiz gereken önemli bir konu da bu olmalı.

KAYNAKLAR

- [1] PEREZ, N., SALAZAR, J., HERNANDEZ, P., LİMA, R., CASTRO, L., MELİAN, G., GALİNDO, I., PADRON, E., MORİ, T. and NOTSU, K., 2001, Diffuse Degassing Rate of Carbon Dioxide and Volcanic Activity, American Geophysical Union, Fall Meeting 2001, abstract #V31A-0942
- [2] BROMBACH, T., HUNZIKER, J.C., CHİODİNİ, G., CARDELLİNİ, C. and MARİNİ, L., 2001, Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki plain, Nisyros (Greece), *Geophys. Res. Lett.*, 28(1), 69–72
- [3] FRONDINI, F., CHİODİNİ, G., CALIRO, S., CARDELLİNİ, C., GRANIERI, D. and VENTURA, G., 2004, Diffuse CO² degassing at Vesuvio, Italy, *Bull. Volcanol.*, vol. 66, n°7, pp. 642-651
- [4] GAMBARDELLA B., CARDELLİNİ C., CHİODİNİ G., FRONDINI F., MARİNİ L., OTTONELLO G. and VETUSCHI Z. M., 2004, Fluxes Of Deep CO₂ In The Volcanic Areas of Central-Southern Italy, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.136, N°1-2, Pp. 31-52
- [5] RYMER, H.(convenor), Symposium VPP6
- [6] HERNÁNDEZ, P. A., NOTSU, K., SALAZAR, J. M., MORİ, T., NATALE, G., OKADA, H., VİRGİLİ, G., SHİMOİKE, Y., SATO, M. and PÉREZ, N. M., 2001, Carbon Dioxide Degassing by Advective Flow from Usu Volcano, Japan, *Science*, Vol.292. no.5514, pp.83-86.
- [7] LEWICKİ, J.L., HİLLEY, G.E. and CONNOR, C., 2004, The scaling relationship between self-potential and fluid flow on Masaya Volcano, Nicaragua.
- [8] WERNER, C., 2005, Soil Gas from the Rotorua Geothermal Field, Rotorua Geothermal Field management Monitoring Update June 2005, Environmental Publication 2005/12.
- [9] MAGANA, M.I., DE HENRÍQUEZ, E. and LOPEZ, D., 2003, Study on diffuse degassing and alteration mineralogy in the Berlin Geothermal Field, *Int. Geoth. Conf.*, Reykjavik
- [10] FARİA, C., FERREİRA, C., GASPAS, J.L., and SOUSA, F., 2003, Tectonic structures revealed by CO₂ soil diffuse degassing anomalies at Faial Island (Azores) *Geoph. Res. Abstr.* Vol 5, 13119,
- [11] DE GREGORİO, S., DİLİBERTO, I. S., GIAMMANCO, S., GURRIERİ, S. and VALENZA, 2002, Tectonic control over large-scale diffuse degassing in eastern Sicily (Italy), *Geofluids*, V.2, pp.273.
- [12] GERLACH, T.M., DOUKAS, M.P., MCGEE, K.A., and KESSLER, R., 1999, Airborne detection of diffuse carbon dioxide emissions at Mammoth Mountain, California: *Geophysical research letters*, vol. 26, n. 24, p. 3661-3664.
- [13] MC GEE, K., GERLACH, T. and DOUKAS, M., 2004, CO₂ Measurements, in Long Valley Observatory Quarterly Report
- [14] HANKİN, R.K.S., COSTA, A. and CHİODİNİ, G., 2005, Simulation of heavy gaz dispersion based on depth-averaged equations, *Univ. Of Bristol*

-
- [15] KLUSMAN, R. W., MOORE, J.N. and Le ROY, M.P., 2000, Potential for Surface Gas Flux Measurements in Exploration and Surface Evaluation of Geothermal Resources, *Geothermics*, 29, 637-670
- [16] CHIODINI, G., D. GRANIERI, R. AVINO, S. CALIRO, A. COSTA, and C. WERNER (2005), Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems, *J. Geophys. Res.*, 110, B08204,
- [17] DEMETRIADES-SHAH, T. H., DAYLE, K., MCDERMITT, D., XU, L., GARCIA, R. L., ZANG, Z. and XIABO, L., 2005, Some Critical Considerations for Measuring Soil CO₂ Fluxes, *Int. Symp. On Ecosystem Carbon Balance and Cycle: Theory and Application*, abstr.
- [18] XU, L., FURTAW, M., MADSEN, R., WELLES, J., DEMETRIADES-SHAH, T., ANDERSON, D., GARCIA, R. and Mac DERMITT, D., 2005, Critical Considerations for Accurate Soil CO₂ Flux Measurement, *AGU Fall Meeting Abstracts*, B43A-0140
- [19] CHRISTENSON, B.W., KENNEDY, B.M., ADAMS, M.C., BJORNSTAD, S.C. and BUCK, C., 2007, Chemical and Isotopic Characteristics of the Coso East Flank Hydrothermal Fluid: Implications for the Location and Nature of the Heat Source, *Proc. 32nd Workshop on Geoth. Res. Eng.*
- [20] COOLBAUGH, M., KRATT, C. and CALVIN, W., 2006, Remote Sensing Case Histories, *GRC Expl. Workshope*
- [21] NEWMAN, G.A., HOVERSTEN, M., GASPERIKOVA, E. and VANNAMAKER, P.E., 2005, 3D Magnetotelluric Characterization of the Coso Geothermal Field, *Proc. 30th Workshop on Geoth. Res. Eng.*
- [22] SMITH, R.P., GRAUCH, V.J.S. and BLACKWELL, D.D., 2003, Preliminary Results of a High Resolution Aeromagnetic Survey to Identify Buried Faults at Dixie Valley, Nevada,

ÖZGEÇMİŞ

Tahir ÖNGÜR

1944 İstanbul doğumlu olan Öngür, 1966 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi'ni Jeoloji Yüksek Mühendisi olarak bitirdi. 1966-80 yılları arasında, 14 yıl boyunca Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nde çok sayıda genel jeoloji ve jeotermal enerji araştırma çalışmasına katıldı ya da yürüttü. Özellikle volkanoloji, hidrojeokimya ve jeotermal mühendisliği konularında deneyim kazandı. 1978-79 yılları arasında Petrol ve Jeotermal Enerji Daire Başkanlığı yaptı. Daha sonra MASU Sondajcılık Firmasına Proje Yöneticisi olarak katıldı. 1982-1984'te GEOTEKNİK AŞ'nde yeraltısuyu ve mühendislik jeolojisi konularında Proje Yöneticisi olarak çalıştı. 1984'te kurulan GEOSAN AŞ'nin kurucu ortaklarından biri ve Genel Müdürlük görevini yürütüyor. Ana ilgi alanı geoteknik, yeraltısuyu hidrolojisi ve jeotermal kaynaklarda yoğunlaştı. Değişik yayınlarda birçok araştırma yazısı, çok sayıda toplantıda bilimsel bildirileri yayınlandı. 1976-1979 yılları arasında Türkiye Jeoloji Kurumu Başkanlığı yaptı. Yabancı Dili: *İngilizce, Sırpça* tahirongur@turk.net