

# TOPRAK GAZLARI ; KÖKEN, DAVRANIŞ VE JEOTERMAL KAYNAK ARAMA ÇALIŞMALARINDA UYGULAMALAR

İsmail CİHAN

## 1.Köken, Davranış ve Genel Bilgiler

Toprak içerisinde çeşitli derinliklerde atmosferik, biyojenik, radyojenik ve derin kaynaklı çeşitli gazlar bulunur. Bu gazlar (Rn, He, Hg, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vb.) manto degassing (gazsızlaştırma), kabuksal radyojenik üretim, kayaç alterasyonu ve biyojenik aktiviteler sonucunda yerin farklı derinliklerinde oluşmaktadır. Kökenleri ne olursa olsun bu gazlar difüzyon, adveksiyon ve dispersiyon gibi taşınım süreçleriyle yeryüzüne çıkarlar. Bu gazlardan Rn, He ve Hg izleyici gaz, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> vb. gazlar ise taşıyıcı gazlar olarak adlandırılırlar.

Jeotermal kaynak arama çalışmalarında toprak jeokimyası (toprak ve toprak gazı) çalışmalarının genel amacı gömülü fay-kırık ve çatlakların belirlenmesi ve jeotermal kaynağın potansiyel alanının belirlenebilmesi için alan daraltmadır.

### 1.1.Toprak Gazları Ölçüm Yöntemleri

Toprak gazı ölçümlerinde pasif ve aktif olmak üzere iki ana yöntem vardır. Pasif yöntemde yüzeyden itibaren belirli derinliklere gömülen çeşitli numune alıcılar belirli süreler burada bekletildikten sonra, laboratuvar ortamında analiz edilirler. Aktif yöntemde ise yüzey veya yüzeyden itibaren belirli derinliklerde toprak propları ile toplanan numuneler ya örnekleme aparatları ile laboratuvara gönderilir veya toprak proplarına bağlı ölçüm cihazlarıyla anında ölçümü yapılır. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Şekil 1).

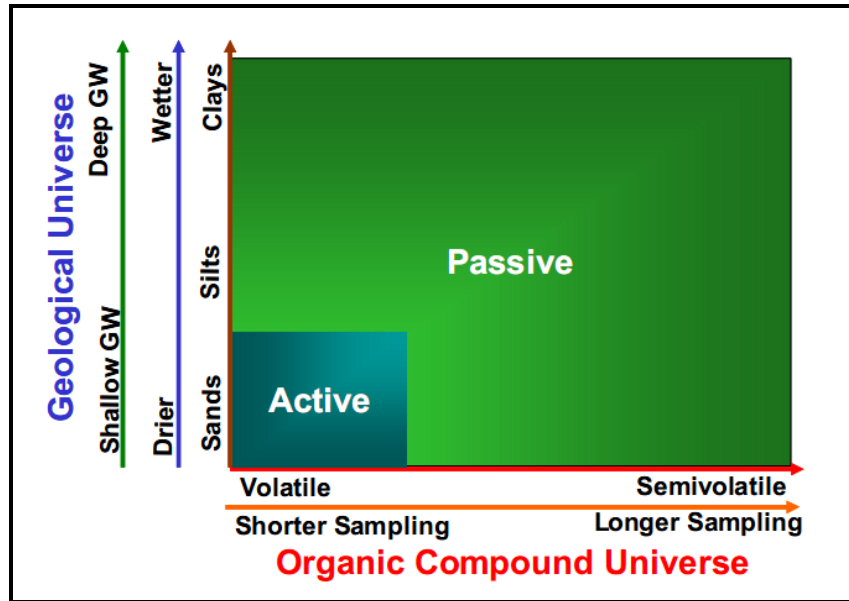
#### 1.1.a.Pasif yöntem

- Örnekleme yöntemi basittir.
- Teknik ekipman gerektirmeyen, ucuz bir yöntemdir.
- Teknik ekipman kullanılmadığı için, ölçüm sırasında insan hataları ve cihazlardan kaynaklanan hatalar (kalibrasyon dahil) söz konusu değildir.
- Düşük-yüksek permeabiliteye ve nemliliğe sahip topraklarda uygulanabilir.
- Örnekler üzerindeki analizler laboratuvar ortamında yapılır.
- Analiz sonuçlarının elde edilmesi zaman alır.

#### 1.1.b.Aktif yöntem

- Örnekleme (ölçme) yöntemi karmaşık olabilir.

- İlk yatırım pahalı olabilir.
- Ölçüm sırasında insan hatası ve cihazlardan kaynaklanan hatalar olabilir.
- Farklı birimlerde farklı uygulama güvenilirliğine sahiptir.
- Genellikle daha fazla insan gücü ve ekipman gerektirir.
- Sonuçlar anında elde edilir.



Şekil 1. Toprak gazı ölçümlerinde kullanılan pasif ve aktif yöntemlerin karşılaştırılması (Hodny 2009'dan alınmıştır.)

### 1.1.c. Ölçümlerde dikkat edilmesi gereken ortak noktalar

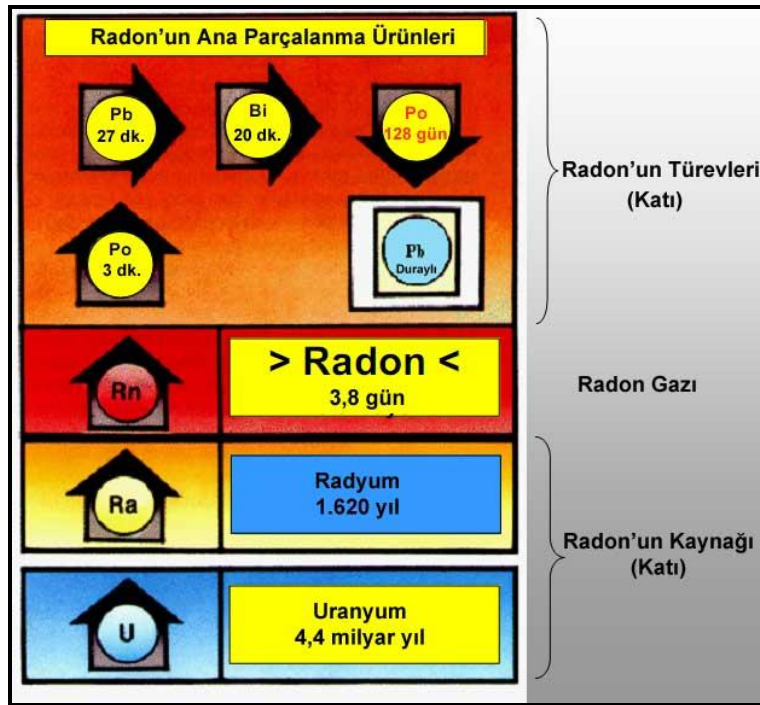
- Toprak gazlarında ölçümler, meteorolojik ve iklimsel etkileri minimuma indirmek için genellikle kuru sezonda (yaz aylarında) yapılmalıdır. Karşılaştırma yapmak amacıyla farklı sezonlarda ölçüm yapılabilir.
- Ölçümler sırasında atmosferik sıcaklık, atmosferik basınç, toprak sıcaklığı ve rüzgar hızı-bitki tipi-bitki yoğunluğu (daha çok akı-flux- ölçümleri yapılırken) ölçülmelidir.
- Anomali olabilecek kadar yüksek değerler elde edilen noktalarda farklı günlerde ölçüm tekrarı yapılmalıdır.

## 2. Jeotermal Kaynak Arama Çalışmalarında Kullanılan Toprak Gazları

Bu bölümde jeotermal kaynak arama çalışmalarında, toprak gazları içinde en çok kullanılan Radon (Rn), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Civa (Hg) ve Helyum (He) gazı hakkında genel bilgiler başlıklar halinde verilecektir.

### 2.1.Radon (Rn)

Radon'nun ana kaynağı Uranyum-238'dir. Radon, Uranyum-238 ve Toryum-232'nin radyoaktif olarak bozunması sonucu oluşur. Uranyum-238, duraylı Pb-206 izotobunun oluşumuna kadar birçok türev meydana getirir (Şekil 2).



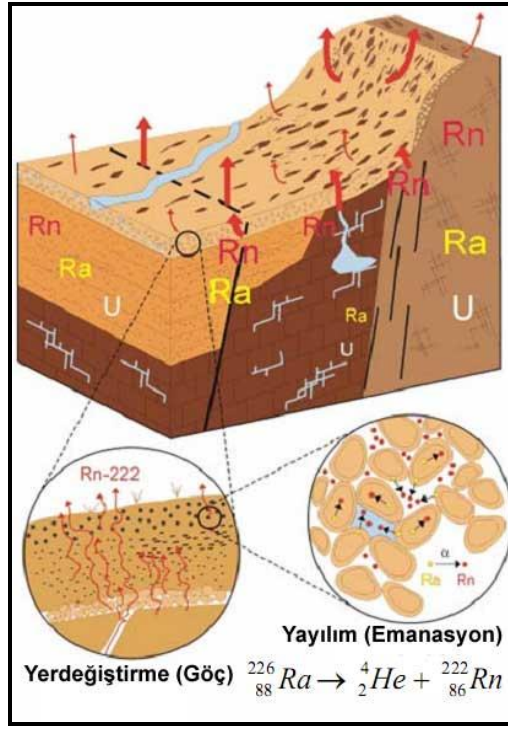
Şekil 1. Radon parçalanma zinciri (*www.usgs.gov adresinden alınmıştır*)

Ra-226'dan (Radyum, yarılanma ömrü 1600 yıl) kaynaklanan parçalanma zincirini iki kısma ayırabiliriz. Radon (yarılanma ömrü 3,82 gün) ve Toron (yarılanma ömrü 54,7 saniye) parçalanma zincirleri. Bu özellik bu iki radon türevinin jeotermalde kullanılmasını sağlamaktadır. Radon'nun iki izotopu vardır. Uranyum-238 parçalanma serisinden gelen Radon-222 (Radon) ve Toryum parçalanma serisinden gelen Radon-220 (Toron).

Yüze yakın derinliklerdeki radon aktivitesi ana kayaç ve topraktaki Rn dağılımına, ana kayacın permeabilitesine ve taşıyıcı gazların akışına bağlıdır.

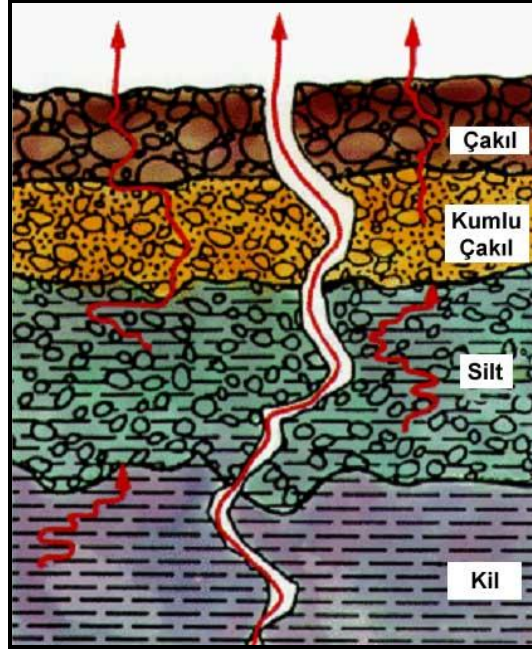
Radon konsantrasyonu pCi/l, Bq/m<sup>3</sup> veya cpm (count per minute) olarak ölçülür. Bq saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır ve 1 Ci=3,7x10<sup>10</sup> Bq olarak çevrilebilir.

Radon'un kısa yarılanma ömrü (3,82 gün) ve ana kayacın fiziksel parametreleri onun toprak içindeki difüzyonunu sınırlamaktadır. Bundan dolayı derin orjinli radonun yeryüzüne çıkabilmesi için kendisine mobilite kazandıracak diğer toprak gazlarına (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> vb.) ihtiyacı vardır. Radon sıcak akışkan veya taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla (adveksiyon ile) yeryüzüne taşınmaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Radon'un göçü ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) adresinden alınmıştır)

Normal bir poroziteye sahip kuru bir toprakta radon birkaç metre yol alabilir (Tanner, 1964). Nemli toprakta, kuru toprağa göre daha yavaş göç eder. Ana kayac ve toprakta yüksek permeabiliteye sahip fay, kırık ve çatlak gibi süreksizlik yapılarında (Şekil 4) uzun mesafe yol alabilmesi (göç edebilmesi) için radonun taşıyıcı gazları kullanması gerekir.



Şekil 3. Radon'un süreksizlik yapılarını kullanarak yeryüzüne göçü (*www.usgs.gov adresinden alınmıştır*)

Göçün miktarı, topraktaki ve ana kayaçtaki Uranyum'un dağılımına, toprağın porozitesine, permeabilitesine, nemliliğine, mikro çatlaklara, tanelenme özelliğine ve yüzey rüzgarları gibi meteorolojik parametrelere bağlıdır.

Göç sırasında karışım, kirlenme, atmosferik seyrelme, kimyasal reaksiyonlar ve yeraltı suyunun farklı çözünürlüğü gibi nedenlerle orjinal gaz konsantrasyonu değişebilir.

Radon ölçümlerinde kaynak ile ölçüm noktası arasındaki mesafe, sıcaklık ve rezervuar kayacın mineralojisi de etkilidir.

Radon gazının topraktaki dağılımının belirlenmesi yönteminden jeotermal alan aramalarında (Balcazar vd., 1991), volkanik aktivitelerin izlenmesinde (Seidel vd., 1984; Baubron vd., 1991), depremlerin önceden tahmin edilmesinde (Hauksson ve Goddard, 1981; Singh vd., 1991; Wattananikron vd., 1998; Planinic vd., 2001) ve fay zonlarının haritalanmasında (Tanner, 1980; King vd., 1996; Fytikas vd., 1999; Al-Tamini ve Abumurad, 2001; guerra ve Lombardi, 2001; Atallah vd., 2001; Baubron vd., 2002; Ajayi ve Adepelumi, 2002; Tansi vd., 2005; Swakon vd., 2005) yararlanılmaktadır.

## 2.2. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Toprak gazlarından CO<sub>2</sub> ise manto kökenli olabildiği gibi, karbonat içeren kayaçların metamorfizması, organik malzemenin dekompozisyonu ve yüzey biyolojik aktiviteleri ile de oluşabilir.

Jeotermal kaynak arama çalışmalarında CO<sub>2</sub> gazının topraktaki dağılımının belirlenmesi ile yapısal (süreksizlik yapıları) unsurların araştırılması amaçlanmıştır.

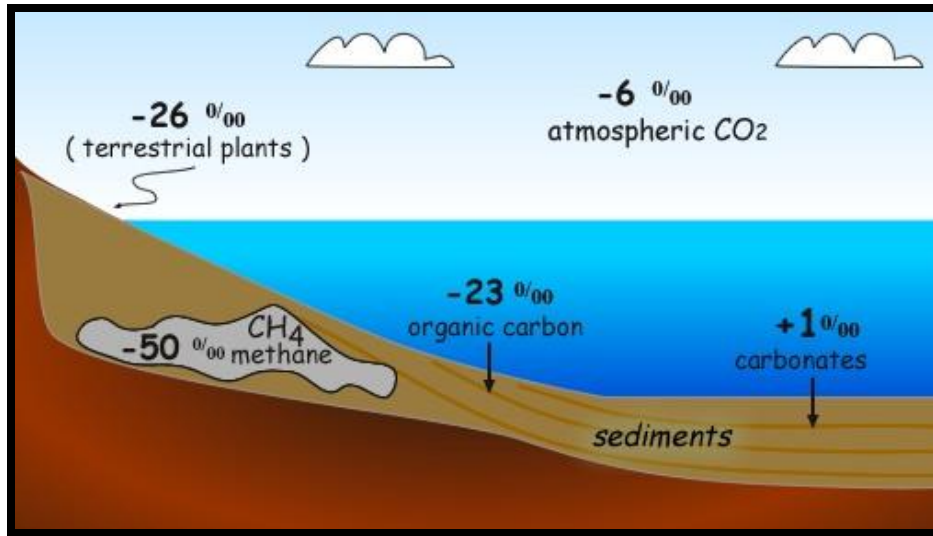
CO<sub>2</sub> gazını ölçmenin diğer bir yöntemi CO<sub>2</sub> akısının (flux) ölçülmesidir (closed-chamber yöntemi). Ölçüm birimi g/m<sup>2</sup>/gün'dür. Genel bir doğruluğu olmasa bile bu metotla ölçülen değerler laboratuvarında ölçülen değerlerden ± 10% hatalı olabilir.

Bu ölçüm sırasında toprak sıcaklığı ve atmosferik basınç ölçümleri yapılmalıdır.

CO<sub>2</sub> akı ölçümleri kum, toprak (organik) vb. malzemelerde kolaylıkla yapılabilmesine karşılık volkanik arazilerde yapılamayabilir (uygulanamayabilir).

Bu yöntem kaynayan jeotermal rezervuardan gelen (sızan) CO<sub>2</sub> için tercihli yol olarak kullandıkları kırıkların-çatlakların-fayların ve muhtemel ısı kaynaklarının yerinin belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca bu yöntem rezervuardan kaynaklanan toplam ısı çıkışının belirlenmesinde de kullanılır (kaynaktan yapılacak üretim hakkında bir yaklaşım sağlayabilir).

Jeotermal kaynak arama çalışmalarında CO<sub>2</sub> gazının kökeninin bilinmesi önemlidir. CO<sub>2</sub> gazının kökeninin belirlenmesi için <sup>13</sup>C ve <sup>12</sup>C izotopları kullanılır. Biyojenik kökenli karbonun δ<sup>13</sup>C değeri -24‰ ile -34‰ arasında değişirken, magmatik kökenli olan -2‰ ile -8‰ arasında değişir. Karbonatlardan kaynaklanarlarda ise bu değer +1'e kadar çıkabilir (Şekil 5).



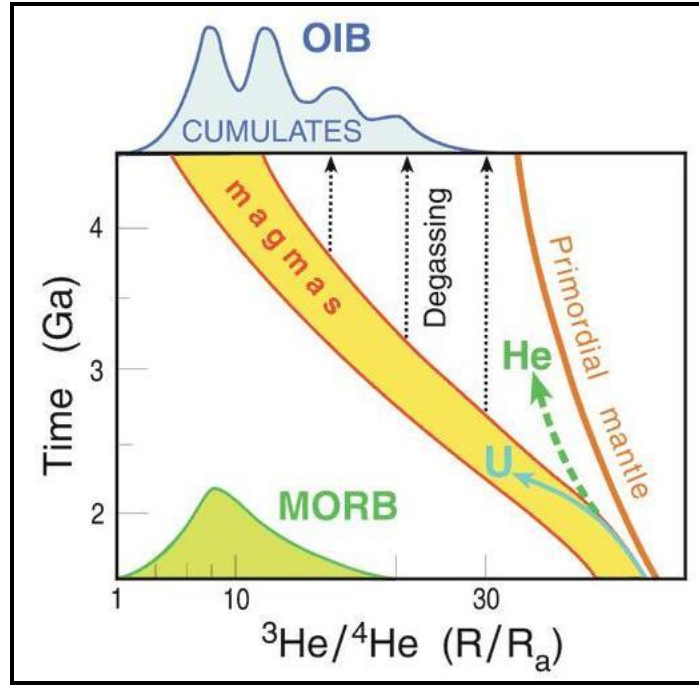
Şekil 5. Farklı kaynaklardan gelen CO<sub>2</sub> gazının δ<sup>13</sup>C değerleri (Mutlu 2010'dan alınmıştır.)

### 2.3. Helyum (He)

Helyum 4 (<sup>4</sup>He) U ve Th içeren kayaçların, U ve Th'un radyoaktif olarak parçalanmasıyla oluşur, helyum 3 (<sup>3</sup>He) ise manto kaynaklıdır. Helyum izotop analiz sonuçları mutlak <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He (R) oranı ve havadaki normal <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He (R<sub>A</sub>) ile oranlanarak gösterilir (Şekil 6, 7). Helyum kimyasal olarak inert, biyojenetik olmayan, yüksek mobiliteye sahip hafif bir soygazdır. Radyoaktif olarak stabildir. Suda çözünürlüğü azdır. O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>'ye göre 10 kat daha fazla yayılma özelliğine sahiptir (difüzyon katsayısı 1,68 cm<sup>2</sup>/s'dir). Helyum atmosferik havada 5.2



ppm, kabukta 8 ppb ve deniz suyunda 4 ppt konsantrasyonlarında bulunur. Radona göre daha derin orjinlidir.



Şekil 6. Helyum izotop oranlarının evrimi ([www.mantleplumes.org](http://www.mantleplumes.org) adresinden Anderson ve diğ.'nin *Helium: Fundamental Models* adlı makalesinden alınmıştır.)

Hot springs type	He isotope signature (R/R <sub>A</sub> )
Radiogenic (1)	0.02-0.04 (crustal)
Volcanic / Magmatic (2,4,5,6)	2-16 (2)
"Deep circulation" (2,3,5)	~0.70 (3)

Sources: (1) Brugger et al., 2005; (2) Kennedy and van Soest, 2005; (3) Kennedy and van Soest, 2007; (4) Christenson et al., 2002; (5) Ballentine et al., 2002; (6) Poreda et al., 1988.

Şekil 7. Bazı jeotermal akışkanların R/R<sub>A</sub> oranları (*Kolker 2008'den alınmıştır.*)

Topraktaki dağılımı kayaçların permeabilitesine, orjinal kaynağın derinliğine, yüzeye yakın ortamın etkilerine bağlıdır.

Helyumun göçü geçirgen (permeabil) faylar ve kırıklar boyunca adveksiyon ile gerçekleşir.

He jeotermal aktiviteler, özelliklele mağmatik jeotermal aktiviteler ile ilişkilidir.

Yüksek He ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu derin kabuk kaynaklı, yüksek CO<sub>2</sub> ve düşük He konsantrasyonu sığ kaynaklı gazlar olarak yorumlanır.

## 2.4. Civa (Hg)

Hg ölçümleri toprakta (absorbe edilmiş) ve toprak gazında (toprak buharında, serbest halde) yapılır. Topraktaki Hg içeriği ve Hg toprak gazı jeotermal kaynaklar için indikatör olarak görev yapar (Klusman,1993). Hg oldukça uçucu ve mobil bir elementtir. Çok düşük konsantrasyonlarda kayalarda bulunur.

Hg taşıyıcı olarak CO<sub>2</sub>'yi kullanır. Jeotermal akı (ısı akısı) kayalardaki cıvayı uçucu hale (buharlaştırır) getirir ve jeotermal kaynaktan dışarıya ve yukarıya doğru CO<sub>2</sub> ile taşınır.

Hg fosil ve aktif jeotermal sistemlerle ilişkilidir.

Hg'nin sızıntısı, barometrik basınç, sıcaklık, yağış ve yeraltısuyu tablasının düzensiz değişimi ile ilgili süreçlerle kontrol edilir.

Hg konsantrasyonunu kontrol eden ikincil parametreler ise organik karbon ve pH'dir.

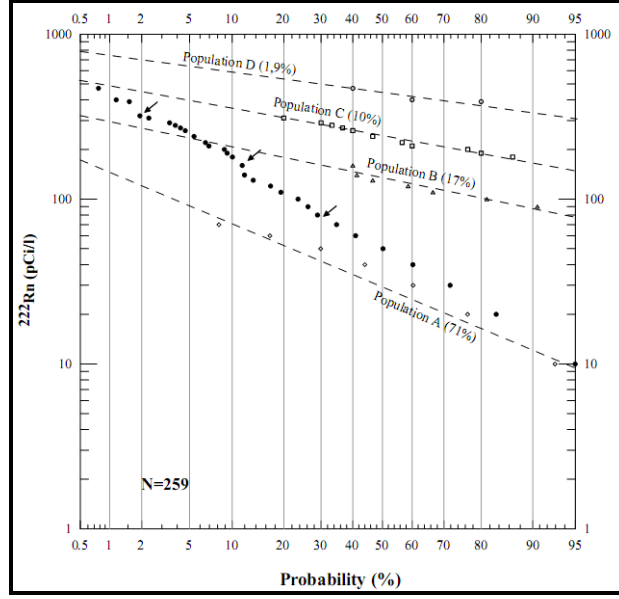
Arsenik (As) ve Boron (B) jeotermal kaynaklar için indikatör elementlerdir. As ve B gazlarla değil, jeotermal akışkanlarla göç ederler. Jeotermal kaynak arama çalışmalarında Hg araştırmalarını destekleyici (tamamlayıcı) unsurlar olarak kullanılırlar. As ve B analizi için toprak ve bitki örnekleri kullanılır.

Hg anomalileri genellikle sıcak kaynak ve fümerollerin çevresinde yüksek değerlere ulaşır. As ve B anomalileri ise genellikle sıcak kaynaklar etrafında yoğunlaşır.

## 2.5. Toprak Gazları Ölçümlerinin Değerlendirilmesi ve Bazı Örnekler

- Toprak gazı ölçümleri genellikle geniş alanlarda, çok sayıda ve farklı noktalarda yapılan ölçümlerdir. Dolayısıyla çok sayıda veri setinden oluşur. Bu veriler değerlendirmeye tabii tutulmadan önce istatistik-jeostatistik yöntemler kullanılarak sınıflandırılmalıdır. Bu sınıflandırmada ölçüm sahasında ilgili gazın background (baz) değerleri ve anomali olarak yorumlanan değerler belirlenir (Şekil 8).

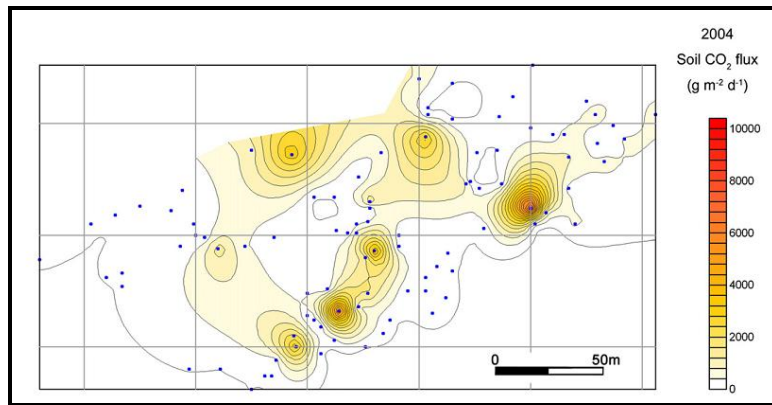




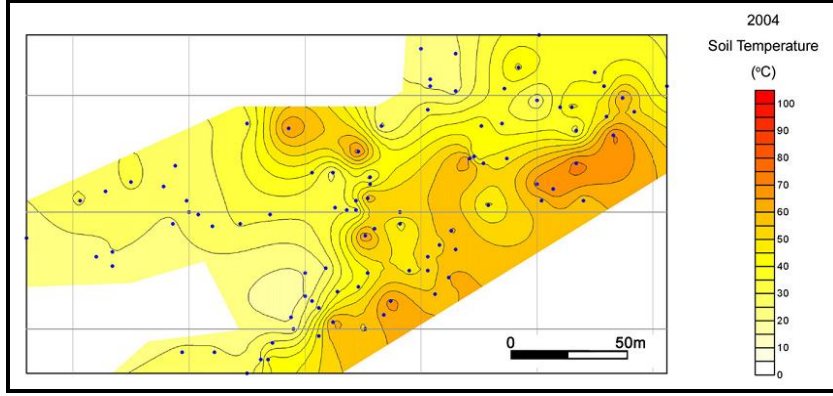
Population	$f_i$ (%)	No. of points	$x_i \pm \sigma_i$ (pCi/l) *	Range (pCi/l)	Type
A	71,0	184	$37,97 \pm 20,48$	0 – 80	Background
B	17,0	44	$108,96 \pm 16,39$	80 – 140	Background
C	10,0	26	$227,80 \pm 48,88$	140 – 320	Anomalous
D	1,9	5	$466,92 \pm 87,83$	>320	Anomalous
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>259</b>			

Şekil 8. Radon değerlerinin farklı sınıflara bölünmesi ve değerlendirmeye alınacak verilerin belirlenmesi (Rodriguez 2008'den alınmıştır.)

- Sınıflama yapıldıktan sonra farklı istatistik-jeostatistik yöntemler (kriging, co-kriging, üçgenleme, vb.) kullanılarak ölçülen gazlara ait kontur haritaları ve tematik haritalar oluşturulmalıdır (Şekil 9a-9b).

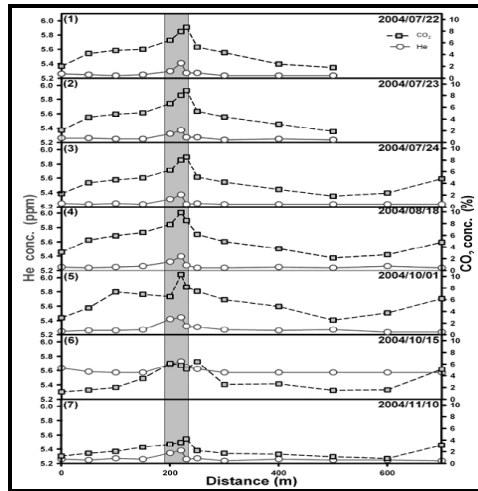


Şekil 9a. CO<sub>2</sub> akı değerlerine göre hazırlanmış eş-kontur haritası (Lan 2007'den alınmıştır.)

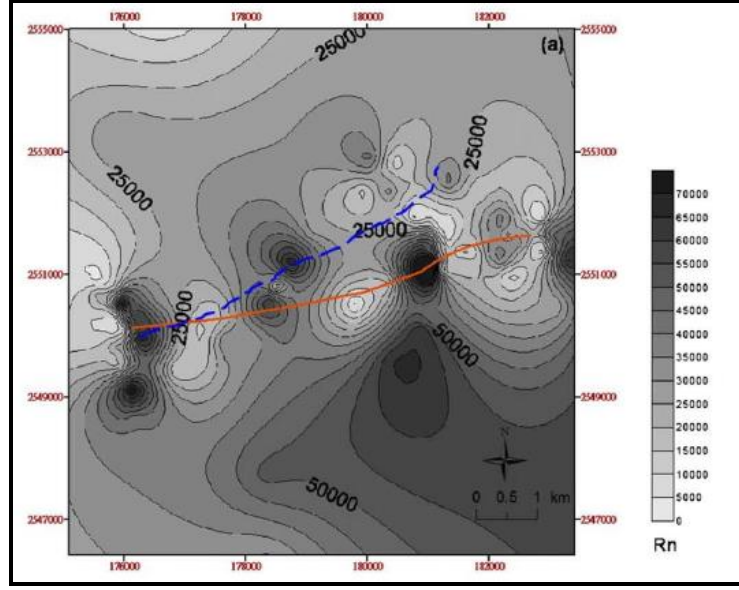


Şekil 9b. Toprak sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış eş-kontur haritası (*Lan 2007'den alınmıştır.*)

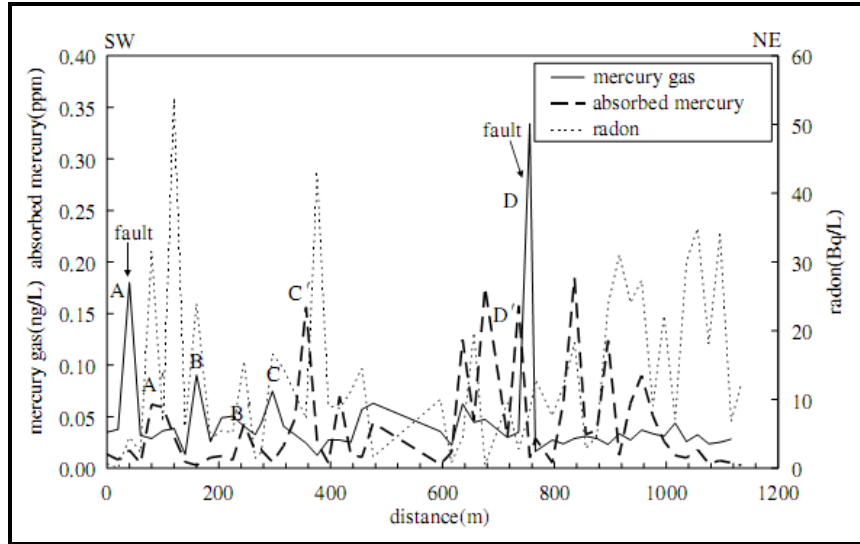
- Şekil 9a ve 9b'de gösterilen kontur haritaları yorumlanırsa; bu çalışmada yüksek CO<sub>2</sub> değerine karşılık düşük toprak sıcaklığı, volkanik gazların yüzeye çıkışları sırasında havuz (pond) suyunun soğutucu etkisi ile açıklanıyor. Yüksek toprak sıcaklığına karşı düşük CO<sub>2</sub> ise tayfun sezonunda toprağın porozitesinde ve permeabilitesindeki lokal değişimler ile açıklanıyor. Yüksek sıcaklığa sahip volkanik gazlar kolaylıkla toprak içine difuze eder ve toprak sıcaklığını yükseltir, fakat toprak permeabilitesi azalmaya başlayınca, gaz ısıyı taşır. Ancak örtü katmanlarına difuze edemez bu da yüksek sıcaklığa karşı düşük CO<sub>2</sub>'nin açıklamasıdır.
- Gaz ölçümleri sonucunda oluşturulan grafikler, kontur ve tematik haritalar kullanılarak gömülü fayların-kırıkların-çatlakların yerleri tespit edilir (Şekil 10,11,12).



Şekil 10. Gri renkli olarak işaretlenmiş, diğer ölçüm noktalarına göre yüksek He (anomali) değerleri elde edilen zon olası bir fay zonu olarak yorumlanmıştır (*Fu 2005'den alınmıştır.*)

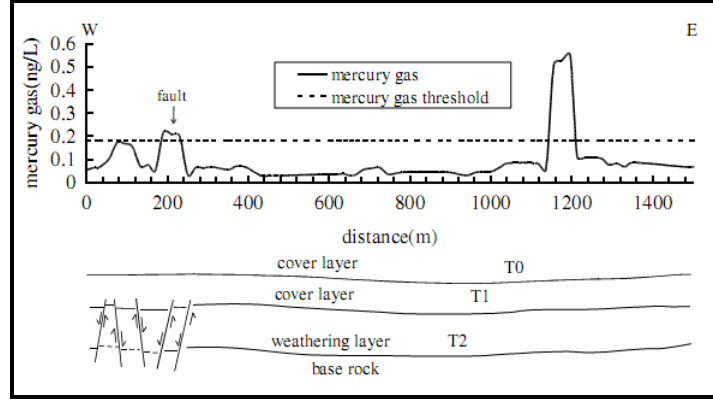


Şekil 11. Radon anomalilerine göre olası fay olarak yorumlanmış çizgisellikler (*Walia 2010'dan alınmıştır.*)



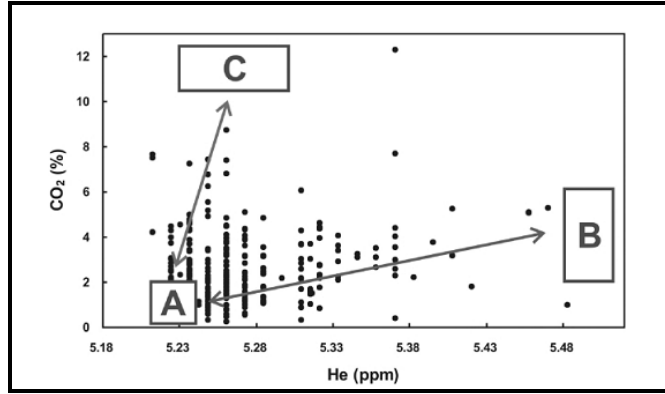
Şekil 12. Hg buharı, Hg konsantrasyonu ve Rn anomalilerine göre olası fay olarak yorumlanmış pikler (*Wang 2006'dan alınmıştır.*)

- Grafik ve kontur-tematik haritalarda olası fay-kırık ve çatlak olarak yorumlanmış çizgisellikler, bu süreksizlik yapılarının yeraltındaki devamlılıklarının belirlenmesi amacıyla çoğu zaman jeofizik ölçümlerle desteklenirler (Şekil 13).

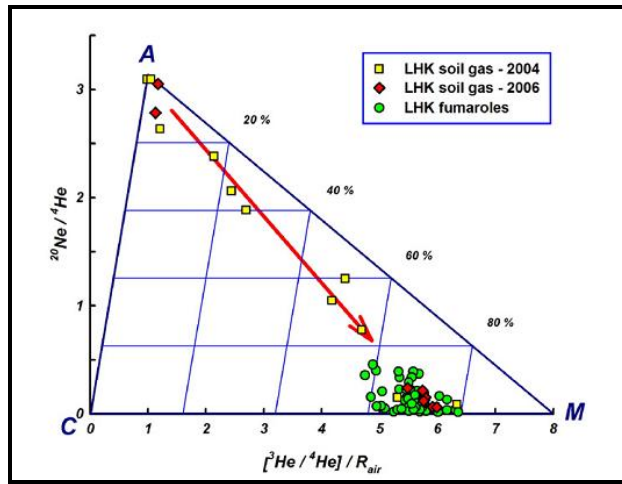


Şekil 13. Hg buharı anomalilerine göre olası fay olarak yorumlanmış çizgiselliklerin, jeofizik ölçümlerde elde edilen kesitler ile denştirilmesi (*Wang 2006'dan alınmıştır.*)

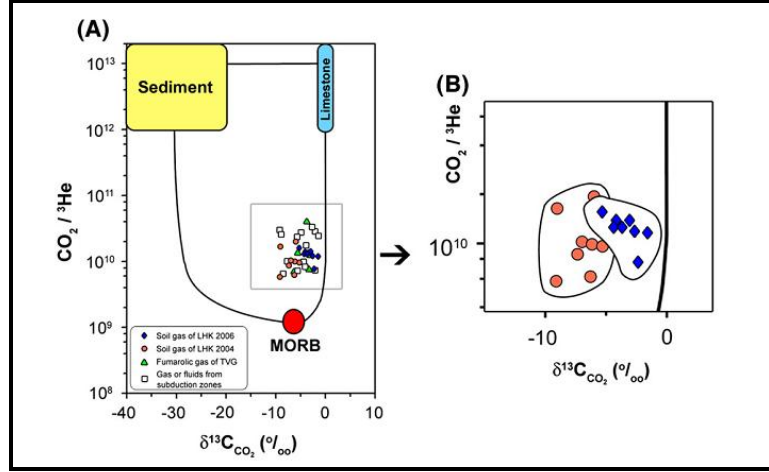
- Helyum ölçümleri ile toprak gazının kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Helyum değerleri CO<sub>2</sub> ve Ne değerleri ile birlikte değerlendirilir (Şekil 14,15,16).



Şekil 14. A havadaki düşük He ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu, B yüksek He ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna sahip derin kaynaklı gazı, C ise yüksek CO<sub>2</sub> fakat düşük He konsantrasyonuna sahip sıg kaynaklı gazı göstermektedir. (*Fu 2005'den alınmıştır.*)

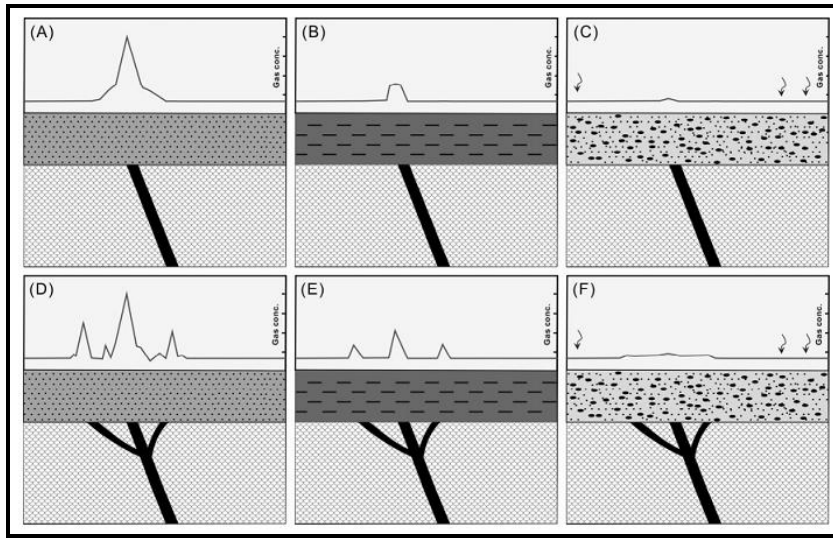


Şekil 15. Yeşil yuvarlak olarak işaretlenen fumerol örnekleri manto kaynaklı olup, çok küçük oranlarda kabuk ile karışım sözkonusudur, toprak gazlarındaki bölgesel trend ise hava-manto karışımını ifade eder (*Lan 2007'den alınmıştır.*)



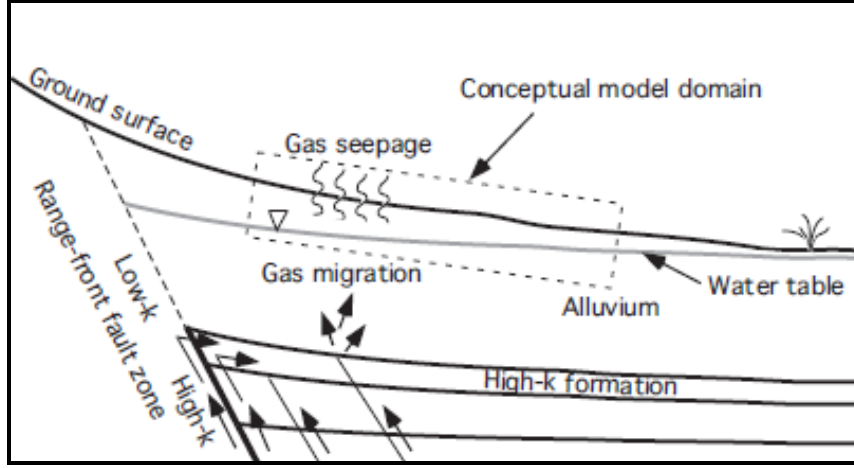
Şekil 16. Bu çalışmadaki toprak gazları manto kaynaklıdır ve ada yayı bölgesine düşmektedir. (Lan 2007'den alınmıştır.)

- Toprak gazı ölçümlerinde, aynı gaz akısı farklı litolojilerde farklı anomaliler verebilir (Şekil 17). A ve D şeklinde; Yüksek poroziteye sahip kumlu topraklarda temiz (net) anomaliler elde edilebilir, B ve E şeklinde düşük poroziteye sahip killi-çamurlu topraklarda düşük anomaliler, C ve F şeklinde çakıl vb. malzemeden oluşan topraklarda ise, havanın kirletici ve seyreltici etkisinden dolayı çok düşük anomaliler elde edilebilir.



Şekil 17. Farklı litolojilerdeki gaz anomalileri (Fu 2005'den alınmıştır.)

- Farklı porozite ve farklı permeabilite özelliğine sahip birimlerde elde ettiğiniz anomali değerlerinin yeri, o anomaliyi sağlayan kaynağın-fayın-kırığın-çatlağın birebir yerini refere etmeyebilir (Şekil 18).



Şekil 18. Farklı porozite ve permeabiliteye sahip litolojilerde anomali yerinin yorumlanması  
(Lewicki 2005'den alınmıştır)

## KAYNAKÇA

- Akkuş, İ., Yıldırım., 1995, Ilıca (Erzincan) Sıcaksu Sahası Ve Böğert Maden Suyu Hidrojeoloji İncelemesi,İ MTA Raporu (Yayınlanmamış).
- Al-Hilal, M., Al-Ali, A., 2010, The Role Of Soil Gas Radon Survey İn Exploring Unknown Subsurface Faults At Afamia B Dam, Syria, Radiation Measurements, 45, 219-224.
- Baykara, O., Doğru, M., İnceöz, M., Aksoy, E., 2005, Measurements Of Radon Emanation From Soil Samples İn Triple-Junction Of North And East Anatolian Active Faults Systems İn Turkey, Radiation Measurements, 39, 209-212.
- Cihan, İ., Uytun, H., Güler, B., 2010, Kütahya-Pazarlar Ruhsatlarında Yapılan Toprak Gazı Ölçüm Raporu, Kayen Kayı Enerji Yatırımları A.Ş., Kurum içi rapor, Yayınlanmamış
- Fe, C., Yang, T.F., Walia, V., Chen, C.H., 2005, Reconnaissance Of Soil Gas Composition Over The Buried Fault And Fracture Zone İn Southern Taiwan, Geochemical Journal, 39, 427-439
- Fridrikson, T., 2009, Diffuse CO2 Degassing Through Soil And Geothermal Exploration, Short Course On Surface Exploration For Geothermal Resources,
- Hodny, J., Whetzel, J.E., Anderson, H.S., 2009, Quantitative Passive Soil Gas And Air Sampling İn Vapor Intrusion Investigations, Proceedings Of Vapor Intrusion 2009, Air&Waste Management Association

- Hoşgörmez, H., Gözübol, A.M., Emre, H., Tezel, O., Yalçın, M.N., 2010, Determination Of The Geothermal Potential With Soil Gas (Sniffing) İn Altmoluk (NW-Turkey), World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia
- Ioannides, K., Papachristodoulou, C., Stamoulis, K., Karamanis, D., Paulides, S., Chatzipetros, A., Karakola, E., 2003, Soil Gas Radon : A Tool For Exploring Active Fault Zones, Applied Radiation And İsootopes, 59, 205-213.
- İnceöz, M., Baykara, O., Aksoy, E., Doğru, M., 2006, Measurements Of Soil Gas Radon İn Active Fault Systems: A Case Study Along The North And East Anatolian Fault Systems İn Turkey, Radiation Measurement, 41, 349-353.
- JICA, 1987, The Pre-Feasibility Study On The Dikili-Bergama Geothermal Development Project İn The Republic Of Turkey Progress Report II, Japan İnternational Cooperation Agency
- Klusman, R.W., 1979, Mercury İn Soils Of The Long Valley, California, Geothermal System, Journal Of Volcanology And Geothermal Research, 5, 49-65
- Kolker, A.M., 2008, Geologic Setting Of The Central Alaska Hot Springs Belt: Implications For Geothermal Resource Capacity And Sustainable Energy Production, Ph.D Thesis
- Lan, T.F., Yang, T.F., Lee, H.F., Chen, Y.G., Chen, C.H., Song, S.R., Tsabo, S., 2007, Compositions And Flux Of Soil Gas İn Liu-Huang-Ku Hydrothermal Area, Northern Taiwan, Journal Of Volcanology And Geothermal Research, 165, 32-45
- Lechler, P.J., Exploration For Concealed Structures At Desert Peak Using Mercury Soil Gas Detectors
- Lewicki, J.L., Oldenburg, C.M., 2005, Near-Surface CO<sub>2</sub> Monitoring And Analysis To Detect Hidden Geothermal Systems, Proceedings-Thirtieth Workshop On Geothermal Reservoir Engineering
- Lombardi, S., Voltattorni, N., 2010, He And CO<sub>2</sub> Soil Gas Geochemistry For The Study Of Active And İnactive Faults, Applied Geochemistry, 25, 1206-1220.
- Moussa, M.M., El Arabi, A.G.M., 2003, Soil Radon Survey For Tracing Active Fault: A Case Study Along Qena-Safaga Road, Eastern Desert, Egypt, Radiation Measurements, 37, 211-216.
- Murray, K.S., 1997, The Use Of Soil Hg To Delineate Zones Of Upwelling İn Low-To-Moderate Temperature Geothermal Systems, Geothermics, 26, 193-202



- Opondo, K.M., 2010, Radon And Soil Gas Surveys In Paka Geothermal Prospect, Kenya, World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia
- PYLON, 2001, Pylon Model Vacuum Soil Probe Assembly Instruction Manual
- Rodriguez, A., Torres, Y., Chavarria, L., Molina, F., 2008, Soil Gas Radon Measurements As A Tool To Identify Permeable Zones At Las Pailas Geothermal Area, Costa Rica, UNU GTP 30th Anniversary Workshop
- Voltattorni, N., Sciarra, A., Quattrocchi, F., 2010, The Application Of Soil-Gas Technique To Geothermal Exploration: Study Of Hidden Potential Geothermal Systems, World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia
- Walia, V., Lin, S.J., Fu, C.C., Yang, T.F., Hang, W.L., Wen, K.L., Chen, C.H., 2010, Soil-Gas Monitoring: A Tool For Fault Delineation Studies Along Hsinhua Fault (Tainon), Southern Taiwan, Applied Geochemistry, 25, 602-607.
- Wang, G., Liu, C., Wang, J., Liu, W., Zhang, P., 2006, The Use Of Soil Mercury And Radon Gas Surveys To Assist The Detection Of Concealed Faults In Fuzhou City, China, Environ. Geol., 51, 83-90
- Yang, T.F., Walia, V., Chyi, L.L., Fu, C.C., Chen, C.H., Liu, T.K., Song, S.R., Lee, C.Y., Lee, M., 2005, Variations Of Soil Radon And Thoron Concentrations In A Fault Zone And Prospective Earthquakes In SW Taiwan, Radiation Measurements, 40, 496-502.