

## Volkanik Kökenli Gaz Çalışması Temel Teknikleri: İzleme İle Bütünleşmiş Bir Yaklaşım

*Monitoring Volcanoes: Techniques and Strategies Used by the staff of the  
Cascades Volcano Observatory, 1980-90.*

Çeviren  
**Haydar İLKER**  
Jeoloji Yük.Müh.

### ÖZ

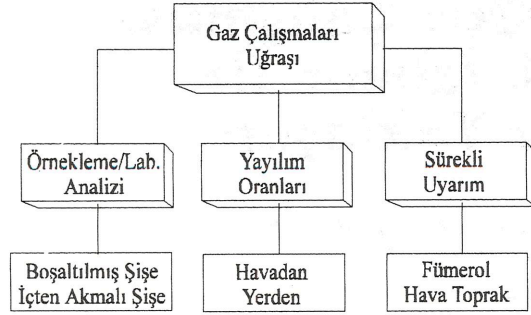
*Volkan izlenmesi için temel gaz çalışma metodları: numune alımı, laboratuvar analizleri ile yükselen gaz oranlarının ölçümlerini içerir. Araziden alınan numunelerin laboratuvar analizleri, belli bir zamandaki özel bir bölge için detay kimyasal bilgi sağlar. Gaz yayılım ölçümleri genellikle SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> için ortalama bir veri sağlar. Sürekli izleme gaz konsantrasyonlarındaki geçici değişimleri anlamamızı sağlar. Her metodun avantaj ve dezavantajları vardır. İzleme amaçlı ayrıntılı gaz çalışma çabaları, geleneksel jeofizik izleme metodları ile birlikte üç yaklaşımda kullanımının bir sentezidir.*

### GİRİŞ

Magma'da eriyen gazlar, silis magmalarında eriyiğin ağırlık olarak % 5'inden daha az, bazaltik magmalar'da %0.5 ten az olmalarına rağmen, aktivitenin önemli itici gücüdürler(Greenland, 1987). Magmadaki özel bir volkan gazının eriyebilirliği basınç, ısı ve magmanın kütle bileşimi gibi özelliklerin karmaşık bir fonksiyonudur. Daha da ötesi aynı magmadaki değişik gazlar farklı eriyebilirlik ve tepkilere sahiptirler. Magma yükselince, yeraltı şartlarındaki değişiklikler, magma ve yüzey arasındaki kayacın geçirgen olması şartıyla, yüzey çatlaklarından yayılan gazların yayılım oranı veya bileşimindeki değişikliklerin yansması olacaktır. Bu şartlar altında magma'nın yükselmesi, fümerollerden, aktif çatlaklardan, geçirgen yer yüzeylerinden ve magma kütlelerinden kaçan gazların araştırılmasıyla ortaya çıkar. Çok yakın bir tarihte (1989) Tilling, halen görgül (ampirik) olmasına rağmen gaz jeokimya çalışmalarını volkan işlemine ve yükselme tahminlerine yaklaşımda, ümitvar olarak ortaya koymuştur. ABD'deki volkanik gaz çalışmaları, Havai'deki 1900 lerin başındaki çalışmalara kadar gider (Jaggar, 1940). Gaz çalışma teknik-

lerinin özelliklerini ortaya koyan daha yakın tarihli volkan izleme çalışmaları UNESCO'nun özel bir ciltini (1972) ve Bulletin Volcanologique'nin volkanik gazlarla ilgili (cilt 45, no 3,1982) özel bir sayısını içerir. Gaz jeokimyası ile ilgili çalışmalar, toplanmış verilerin dikkatli bir değerlendirilmesi ve yorumlanmasını gerektirir (Casadevall ve diğerleri 1987, Giggenbach 1989). Bu makalede izleme amaçlı güncel gaz çalışma tekniklerinin mantıksal olarak üç sınıfta değerlendirilmesi önerilmektedir. Biz her bir sınıflamanın önemini ve bu metodların beraberce kullanımının, gaz izleme işleminin kapsamlı olarak ele alınmasında nasıl etkili olacağını vurguladık.

Gözlem amaçlı gaz çalışmaları, çeşitli şekillerde ele alınır(Şekil 1). Fümerollerin arazide numunelendirilmeleri ile laboratuvar analizleri çatlak-gaz bileşimi hakkında detaylı bilgi sağlar. SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi gazların, yayılım-oran çalışmaları, magma sisteminin, temin oranı ve diğer özellikleri hakkında tahminler verebilir. Gaz sensörleri ile yapılan sürekli yerinde uyarı işlemi, fümerollerin, çatlakların ve gözenekli volkanik toprağın içindeki ve etrafındaki gaz bileşimlerinin geçici deği-

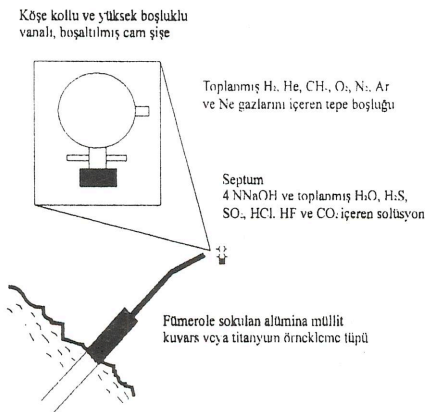


Şekil 1. Volkan uyarım amaçlı temel gaz çalışmaları, periyodik ve sürekli numune alınımı ve yayılım-oran ölçümlerini içeren, bütünleşmiş arazi ve laboratuvar çalışmalarından oluşmalıdır.

şiklikleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Biz bu gaz tekniklerinin herbirini kendi başına ve diğer volkan işleme metodları ile nasıl bir bağlantı içinde oldukları anlamında ele aldık.

### LABORATUVAR ANALİZLERİ İLE BİRLİKTE NUMUNE ALIMI

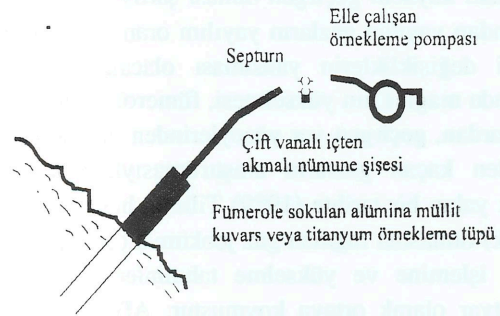
Fümerolik gazları toplamak ve analiz etmek için iki primer metod kullanılır. İç boşaltılmış şişe metodu Giggenbach tarafından standartlaştırılmıştır (1975:Giggenbach ve Goguel, 1988). Bu metod minimum ekipman kullanarak detay gaz analizi elde etme avantajına sahiptir; ayrıca birçok volkan tipini ve jeotermal sistemini etüd etmek için kullanılmıştır. Pratikte, titanyum, alumina,mullite veya silika, numune tüpü (kimyasal olarak tesirsiz ve fiziksel olarak dayanıklı) fümerol içerisinde yerleştirilir ve tüpteki yoğunluk den-



Şekil 2. Örnekleme tüpü ve numune şişesini gösteren boşaltılmış şişe örnekleme planı.

geleninceye kadar ısıtılır, buda genellikle 5 dakika veya biraz daha azdır (Şekil 2). Denge, numune tüpünün çıkışındaki gaz akışıyla temsil edilir. Fümerolik gaz, teflon tüp içinden kısa bir mesafe geçirilerek numune tüpüne gider. Numune tüpüde, yüksek vakum vanalı, borosilikat cam şişedir. Şişe kısmen konsantre (4N) sulu sodyum hidroksit ile doludur ve içi boşaltılarak tartılır. Vana açılır ve gaz alkali solüsyonun içinde kaynaşarak şişeye geçirilir. Su, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, HCl ve HF sulu kesimde erir. N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO He ve Ne, solüsyonunun içerisinde kaynaşarak tepe boşluğunda toplanırlar. Litrelerce fümerolik gaz tek bir şişede toplanabilir çünkü, volkanik gaz tipik olarak su ve yoğunlaşabilir asit gazlardan oluşmuştur. Bu metodu gazlar solüsyonda ve tepe boşluğunda toplanır böylece daha sağlıklı analitik hassasiyet sağlanır. Tepe boşluğundaki "kalıcı" gazlar, termal iletkenlik dedektörü ve argon taşıyıcı gazlar ile bir moleküler elek sütunu üzerinde gaz kromatografisi ile analiz edilirler. Çözünmüş gazlar, yaş kimyasal, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O ve HCl için kullanılan gravimetrik teknikler ve HF için kullanılan iyon-selektif elektrod metodolojisi ile analiz edilirler. Diğer, boşaltılmış-şişe numunelendirilmesi ve analiz teknikleri Piccardi ve Cellini-Legittimo (1983) ve Greenland(1986) tarafından tanımlanmışlardır.

Şişe içinden akıtılarak toplama, boşaltılmış şişe ile toplamadan daha çabuk yapılır ve kapsamlı bir gaz analizinin gerekli olmadığı veya arazi koşullarının boşaltılmış şişe toplaması için tehlikeli olduğu durumlarda kullanılır. Numune tüpü düzenlemesi boşaltılmış şişe metodu ile benzerdir, fakat şişenin iki vanası vardır (Şekil 3).



Şekil 3. Örnekleme tüpü, numune şişesi ve pompasını gösteren içten akmalı örnekleme planı.

Numune şişesini gazla doldurmak ve bir seviyede tutmak için elle çalışan küçük bir pompa kullanılır. Önceki paragrafta belirtilen su, HCl, HF dışındaki gazlar için numuneler, gaz kromatografisi ile analiz edilirler. İçten çıkmalı numunedeki kükürt gazları yalnızca 6 saat duraylıdır, bu yüzden bu gazların analizi toplamadan hemen sonra tamamlanmalıdır. Diğer gazlar aylarca duraylıdır. Ancak küçük molekül boyutları ve yüksek difüzyonları ile Helyum ve Hidrojen bunların dışındadır. Kalıcı gazlar yukarıda tanımlandığı şekilde analiz edilirler. Asidik gazlarda ikinci bir kromatografi üzerinde analiz edilirler ve bu işlem sırasında su-buhar karışımını ortadan kaldırmak için bir silikajel önsütunu ile chromosorb 107 veya propak-Q gibi gözenekli polimer ve Helyum taşıyıcı kullanılır. Greenland tarafından ele alınan (1984) bu metod Kilauea'nın zirve fümerol gazlarının karbon/kükürt oranlarının ölçülmesi için Havai'de kullanılmıştır. Bu oranlar, ortaya çıkmış magmatik sokuşumlarla ve magma stok oranlarındaki değişikliklerle yakın davranışlar göstermektedirler (Greenland ve diğerleri, 1985).

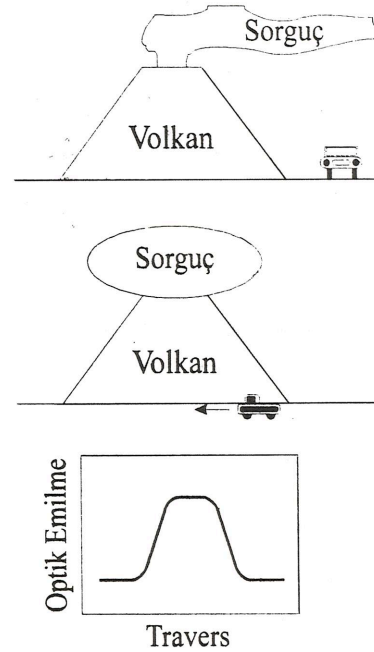
### YAYILIM-ORAN ÇALIŞMALARI

Gazların yayılım oranları, volkandan yayılan  $SO_2$  ve  $CO_2$  miktarlarını tahmin edebilmek için çalışılmıştır ve magma kütesinde yapılan ölçümlerle icra edilir. Sülfür dioksit yayılım oranı, gazsızlaştırılmış magma hacmini (Casadevall ve diğerleri, 1983) ve magma temin oranlarının tahmini için kullanılır (Casadevall ve diğerleri, 1987).  $SO_2$  ve  $CO_2$  hernekadar farklı yollarla ölçülse bile, bu iki gazın ölçümleri metrik tonun üniteleeri cinsinden günlük akış olarak kaydedilirler.

$SO_2$ , korelasyon spektrometresi (COSPEC) ile ölçülür (Barringer araştırma şirketi-Kanada). Özel dalga boylarının dağınık ultraviole enerjisi, magma kütesinin kalınlığına ve  $SO_2$  konsantrasyonuna bağlı bir oranda emilirler. Bu emilme mesafe uzunluğu ve konsantrasyon birimleri ile birlikte COSPEC'le ölçülür ve aletteki  $SO_2$  gaz standartının emilmesiyle kalibre edilir. Volkan ışık-emme profilinin üretimi ve rüzgar hızı  $SO_2$  dağılım oranını meydana çıkarır. Bu teknik; Casadevall ve diğerleri (1981, 1983, 1987), Stoiber ve diğerleri (1983) ve Milan ve diğerleri (1976) tarafından tanımlanmıştır. Bu metod volkanik  $SO_2$  ölçümleri yapmak için dünya ölçeğinde düzenli olarak kullanılır. Ölçümler yerden ve

ya havadan yapılabilir. Rüzgar hızı elde taşınan bir anemometre ile saptanır. Havadaki  $SO_2$  ve  $CO_2$  ölçümleri için yerel havaalanlarının kayıtlarında içeren, çeşitli metodlarla ölçülmüş rüzgar hızlarını kullanır. Alternatifli rüzgar hızı, gerçek hava hızıyla (rüzgara karşı ve rüzgar yönünde uçarak) gerçek yer hızının mukayesesi ile bulunur. Rüzgar hızının doğru tanımı güvenilir dağılım oran tanımlanması için tehlikelidir (Casadevall ve diğerleri 1987).  $SO_2$  nin hava ölçümleri yer ölçümlerinden daha güvenilirdir, çünkü rüzgar hızı ölçüm alanında tanımlanır.

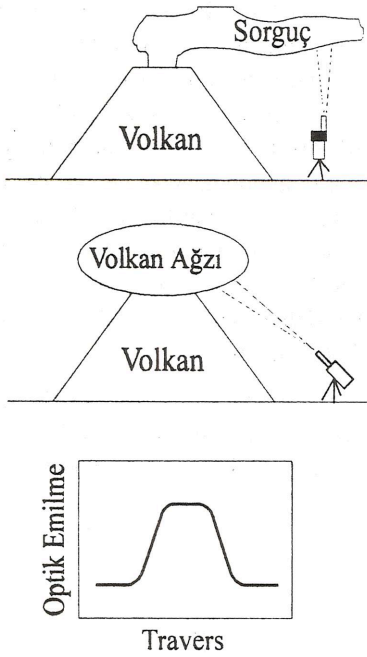
COSPEC ile yer ölçümleri bir araçla yapılır; Volkan'ın altında alet yukarıya çevrilerek tarama yapılır (Şekil. 4). Alternatif olarak alet çatlağında yanında üç



Şekil 4. Araca monte edilmiş COSPEC ile yerden yapılan sülfürdioksit ölçümleri. A- Yandan görünüş B- önden görünüş C- Sembolik Veri.

ayaklı bir sehpaye monte edilir (Chartier ve diğerleri, 1988) ve Volkan'ın içerisinde dikey ve yatay incelemeler yapılır (Şekil. 5).

Havadan  $SO_2$  ölçümleri, volkanın altında ve volkan yörüngesine dik açılarla uçarak yapılır (Şekil 6.) Hem hava hemde yer ölçümleri için çok yönlü taramalar, da-



Şekil 5. Üçayağa oturtulmuş COSPEC ile yerden yapılan sülfürdioksit ölçümleri, kesikli çizgiler sabit açılı COSPEC'in görüş alanı göstermektedir. A- Yandan görünüş, B- Önden görünüş, C- Sembolik veri.

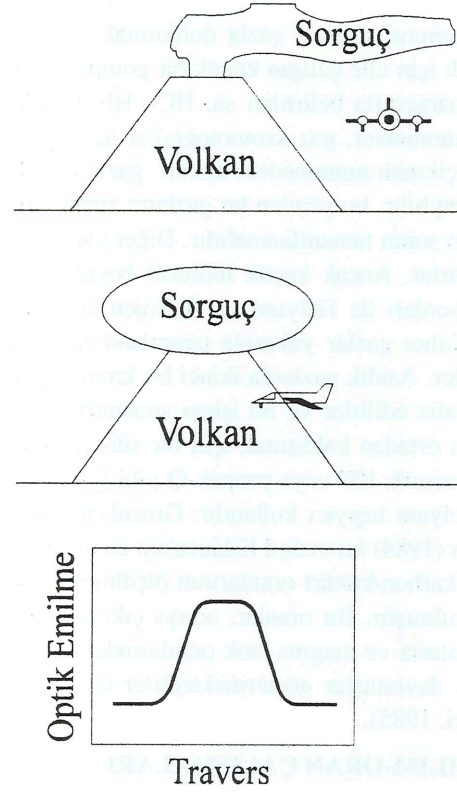
ha sonra günlük oranlara ölçeklendirilen SO<sub>2</sub> dağılım oranlarını hesaplamak için ortalanırlar.

CO<sub>2</sub> dağılım ölçümleri spektroskopik olarak yapılır. Fakat bu volkan'ın yanında ölçüm yapılmasında gerektirir. Buda, volkan'ın arasından yörüngesine dik açılı uçuşların tekrarlanmasıyla yapılır (Şekil 7).

Kızılötesi (IR) emme ölçümleri, sabit kanatlı bir uçağa monte edilen, spektroskopik düzenli MİRAN IR Spektrofotometresinin içerisinden volkan gazının pompalanması ile yapılır. Bu metod volkan için bir konsantrasyon profili oluşturur ve rüzgar hızıyla CO<sub>2</sub> yayılım oranının hesaplanması için kullanılır. Metod Harris ve diğerleri tarafından tartışılmıştır (1981) ve St. Helen dağında ve Havai'de ölçüm yapmak için kullanılmıştır.

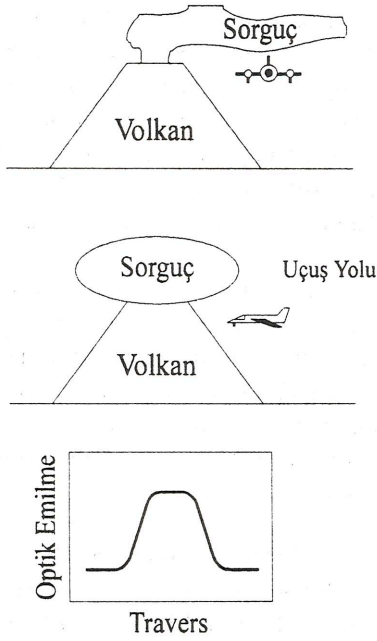
#### SÜREKLİ GAZ UYARIMI

Bazı gaz dağılım olayları birkaç dakika kadar kısa sürelidir ve toplama vede periyodik numune alımı veya



Şekil 6. COSPEC ile havadan yapılan sülfürdioksit ölçümleri. A- Yandan görünüş B- Önden görünüş, C- Sembolik veri.

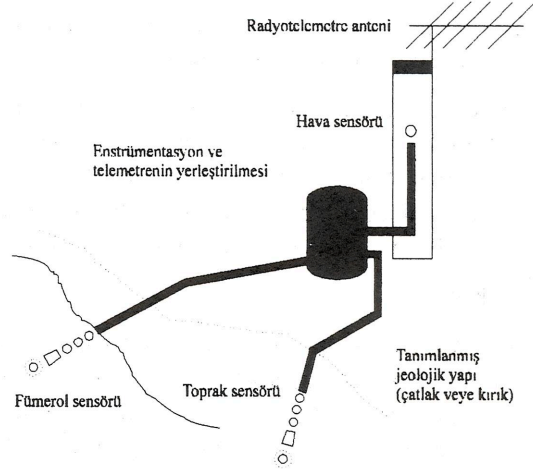
dağılım-oran ölçümlerini içeren analiz teknikleriyle ortaya çıkmazlar. Sürekli ölçümler kısa süreli konsantrasyon değişikliklerini izlerler. Sürekli gaz gözlemi bölgedeki gaz konsantrasyonlarını ölçmek için bir veya daha fazla sensor kullanımını gerektirir. Teknik ilk olarak 1970'lerin ortasında Sato ve meslektaşları (Malone ve Frank, 1975; Sato ve diğerleri, 1976) tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır; Baker dağıının aktivitesini izlemek için uygulanmıştır (Frank ve diğerleri, 1977). Bilgi, sensor'lardan 10 dakikada bir alınır ve radyo, uydu veya telefonla alıcıya iletilir (McGee ve diğerleri, 1987). Amerikan jeolojik araştırmalarındaki bilim adamları tarafından yapılan gaz işleme çalışmalarında yakıt hücreli bir sensor kullanılmış ve geliştirilmiştir. Bu alet, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, COS, HCI ve HF gibi gazları azaltmaya elverişlidir. Sert ve aşınmış arazi şartlarında elastiki olan sensor, Sate ve McGee tarafından tanımlanmıştır (1981). Bu sensor'un yakın tarihlerdeki detay çalışması Sutton ve McGee (1989), McGee ve



Şekil 7. Miron aleti ile havadan yapılan sülfürdioksit ölçümleri, A- Yandan görünüş, B- Önden görünüş, C- Sembolik veri.

Sutton (1990) tarafından yayımlanmıştır. Tür ayırt edici dayanıklı, ticari olarak uygun gaz sensorlerini yakın tarihlere kadar uygun fiyatta bulmak çok zordu. Kimyasal gaz algılama teknikleri ve uygun fiyatlı vede potansiyel olarak yararlı gaz sensor'leri Sutton tarafından açıklanmıştır (1990). Ticari sensor'ler şu anda  $H_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO$ ,  $COS$ ,  $HCl$  ve  $HF$  için uygundur. Bu sensor'lerin hemen hemen hepsi volkanik çevrelerde kullanılmadan önce bazı değişiklikleri gerekli kılar ve tür ayırt edilebilmesi dikkatli düzenlemeleri gerektiren, sıkça rastlanan bir problemdir. Örneğin bir  $SO_2$  sensor'ü  $H_2S$ 'e çapraz duyarlılık gösterebilir.  $SO_2$  hassasiyeti olmayan bir  $H_2S$  sensor'ünün orijinal  $SO_2$  sensorü ile birlikte düzenlenmesiyle, bunlardan bir tanesi iki gazıda izleyebilir ve  $SO_2$  sensor çıkışı için doğrulama algoritmi kurulabilir. Sürekli gaz uyarım ölçümleri, fümerollerde, aktif fümeroller yakınındaki havada, ve yapısal özelliklerin yanındaki topraklarda yapılabilirler (Şekil 8). Sürekli fümerolik ölçümler, gaz sensorlerinin çatlaklara doğrudan yerleştirilmeleriyle yapılır. Havai'de Kilauea volkanının daki geniş yayımlı bir gaz olayı, düşük ısılı fümerollere yerleştirilmiş gaz sensor'leriyle,

doğu rift'inin yükseliminden önce belirlenmiştir. (McGee ve diğerleri, 1987).



Şekil 8. Hava, fümerol ve toprak, sensorleri'ne sürekli gaz uyarımı. Telemetre, radyo, uydu, kablo veya telefon olabilir.

Bu tip yerleştirme (sensor'lerin) magma sisteminin ana kanallarıyla, fümeroller arasında iyi bir bağlantı sisteminin olduğunun düşünüldüğü durumlarda yararlıdır.

Hava uyarımı, aktif dumanlı bir alanın yanına yerleştirilen ağaç bir sehpa üzerine kurulan, 1-2 m yüksekliğindeki gaz sensorleriyle yapılır. Bu metod fümerolik gözlem için avantajlara sahiptir. Hernekadar, rüzgar yön değişimi gibi, pik sensor okumalarına konu olursada, bu metod, köksüz bir fümeral seçiminin muhtemel hatasını önler ve herhangi bir arazide ayrıca birçok sensor zor fümerolik şartlara dayanamazken, hava gözleminin yapılabilirdiği sürece çok değişik sensörler kullanılmıştır. St. Hellens dağı'nın güney kanadında Sato ve McGee (1981) tarafından hava gözlemi yapılmıştır ve aktif St. Hellens dağı lav domunda ise hava gözlemi yapılmaktadır 1986.

Toprak gazlarının sürekli izlenmesi muhtemel faylı bir alanda veya diğer gaz geçirimli zonlarda, sensor'un en azından bir metre derine gömülmesiyle olur. Uygun toprak-gaz işleme bölgeleri gözlemsel metodlarla tespit edilir. Örneğin, Allard ve diğerleri (1989), Sicilyadaki Etna dağı'nın volkanik yapısının jeolojisi hakkında bilgi elde etmek için, portatif infrakırmızı (kızıl ötesi)  $CO_2$  dedektörü kullanmışlar ve toprak gazlarından yayılan

CO<sub>2</sub>'nin, Etna dağı'nın zirvesindeki kraterden yayılana, yaklaşık olarak eşit olduğunu ortaya koymuşlardır. Thomas (1987), sıg yer gazlarındaki radon konsantrasyonunun, Kilauea volkanındaki volkanik ve sismik aktiviteyle aniden değiştiğini ortaya koymuştur.

Sürekli toprak gaz işleme çalışmaları, Kaliforniya'daki Uzun Vadi kalderası'nda da yapılmıştır (Mc Gee ve diğerleri, 1982; McGee ve Sutton, 1990). Toprak-gaz numunelendirilmesi ve sürekli helyum gazı işlenmesi Friedman tarafından tanımlanmıştır (1987).

### TARTIŞMA

Volkanik aktivite işlenmesi için temel gaz çalışma teknikleri Çizelge 1 de özetlendiği üzere avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Laboratuvar analizi ile birlikte fümerolik numunelendirme, belli bir zamanda, özel bir gaz-yarıklık lokasyonu hakkında detay kimyasal bilgi verir. Yayılım-Oran çalışmaları, sadece SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> için belli bir süre boyunca, bir volkanın kapsamlı gaz çıkışlarını mevcut-günlük tekniklerin kullanımıyla ortaya koyar.

Ayrıca, yeniden aktiviteye geçen belli volkanların yüksek SO<sub>2</sub> yayılım oranları, geniş fakat sıg hidrotermal sistemde toplanan orijinal magmatik gazların serbest kaldığına işaret eder (Giggenbach, 1989). Bundan

dolayı tek başına yüksek SO<sub>2</sub> değerleri direkt olarak bir magmatik kaynağa işaret etmiyebilir. Sürekli izleme fümerol, hava ve topraktaki birkaç kimyasal türün göreceli konsantrasyonundaki geçici değişimler hakkında bilgi sağlar, hernekadar halihazırda kullanılan sensorlarla bundan dolayı kesin yorum yapılabilmesi zorsada bu üç yaklaşımın birlikte kullanımıyla volkanik gaz yayılımının daha bir tamamlanmış durumu elde edilir.

Laboratuvar analiziyle numunelendirme, toplam izleme ve gazın faz ilişkileri temel bilgileri sağlamakta ve sürekli izleme çalışmalarının doğruluğunu kontrol etmektedir. Yayılım-oran çalışmaları, sürekli izleme ve laboratuvar analizli numunelendirmeye nitelikli bir şekilde kontrol edilen bütün gaz-yayılım oranları üzerinde odaklanmıştır.

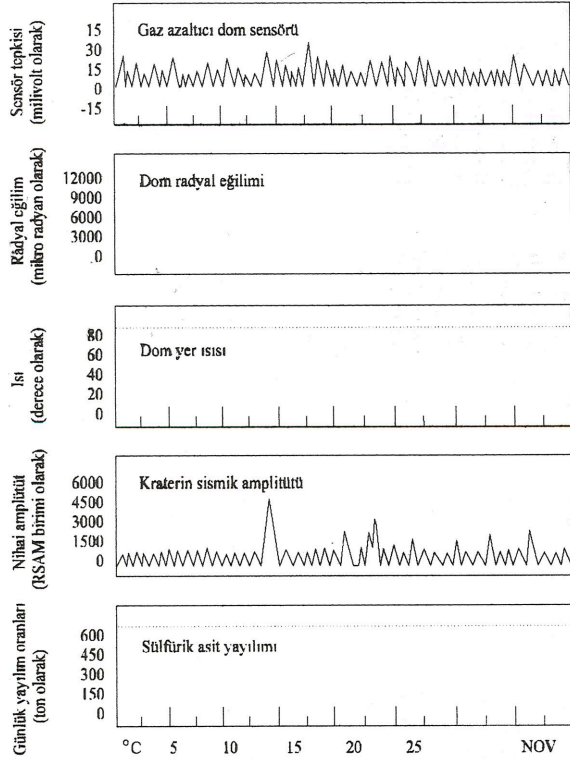
Burada tanımlanmayan diğer doğrudan gaz çalışma metodları, yerinde gaz analizi için taşınabilir gaz kromatograflarını (LeGuern, 1982) ve gaz örneklerinin meteorikmi yoksa magmatik kökenlimi olduklarını tanımlayan izotopik gaz çalışmalarını içerir (Evans ve diğerleri, 1981). Dolaylı gaz çalışma metodları, doğrudan gaz numune alımının mümkün olmadığı yerlerde yararlı olan, kül damıtma çalışma metodlarını içerir (Williams ve diğerleri 1986; Hinkley, 1987). Irmakların ve krater göllerinin kimyasal ve fiziksel parametreleri-

Çizelge 1. Temel volkan gaz çalışma tekniklerinin avantaj ve dezavantajları.

Avantajları :	Numune Analizi	Yayılım oranları	Sürekli Uyarım
	Zaman ve mekan içinde, tek nokta hakkında çok özel ve daha çok veri elde edilir.	SO <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> hakkında kapsamlı çıktı verir. Mağma ihtiyacı oranı güvenilirdir.	Gaz çıkışlarını geçici olarak çok iyi kontrol eder. Sürekli veri elde edilir. Gerçek uyarım yapar.
Dezavantajları :	Veride geçici uzay boşlukları olur. Yoğun emek gerektirir. Zararlı olabilir.	Sadece iki gaz içindir. Her veri noktası için bölgeye gitmek gerekir. Yoğun emek gerektirir. Havaya bağımlıdır.	Az sayıda dayanıklı ve seçme sensor ile yapılır. Telemetre gerektirir.

nin izlenmesi , bu sistemler içinde, yenilenmiş magma hareketini göstermektedir (McGee ve diğerleri, 17. kısım).

Gaz çalışma sonuçları, diğer zaman-seri verileriyle birlikte volkanik aktivitesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Şekil 9, Ekim 1986 da St. Hellens dağındaki dom yapıcı aktivitenin izleme dasetını göstermektedir.



Şekil 9. 22 Ekim 1986'da St. Hallen dağındaki dom püskürmesini de içeren zaman dilinimi için, gaz jeokimyası, eğim, ısı, RSAM ve havadan aralıklarla gelen sülfürdioksit verilerinin karşılaştırılması.

Kraterde yerleştirilen bir gaz azaltıcı sensor, bir eğim ölçücü, yer ısı sensor'ü ve seismometer dom oluşum olayını kaydetmiştir. Ara ara ölçülen SO<sub>2</sub> yayılım oranlarında benzer bir örneği göstermiştir.

## SONUÇ

Volkan izleme amaçlı gaz çalışmaları, üç temel tekniğin kullanımıyla yönlendirilmiştir: En çok ve en az uçucu türler için yapılan laboratuvar analizli fümerol numunelendirmesi, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin yayılım-oran ölçümleri ve kimyasal sensor'ler kullanımıyla, yapılan gazların sürekli mahallinde izlenmesi. Fümerol numunelendirme ve laboratuvar analiz teknikleri, iyi tesis edilmiş olup özel çıkış bileşimine yönelik en iyi bilgiyi verirler. Böyle teknikler, magmatik gaz bileşimlerini ve uçucu birikimleri değerlendirmek için kullanılırlar (Gerlach ve Casadevall 1986; Gerlach ve Graeber 1985). SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> için yapılan yayılım-oran ölçümlerinde benzer biçimde iyi tesis edilmiş olup magma çıkış oranı ve volkan aktivitesinin genel düzeyindeki değişiklikleri kaydedebilirler. Sürekli izleme fümerol, hava ve topraktaki seçilmiş gaz türleri için geçici süreğenlik oluşturur ve yakın gelecekte, özellikle daha fazla çeşitli gaz türleri için, ticari sensorler yaygınlaştıkça en çok gelişme gösterecek olan gözlem tekniğidir.

Burada anlatılan gaz-çalışma teknikleriyle birlikte özelliklede zaman-seri jeofizik verileriyle uyumlu olarak kullanıldığında çok daha yararlıdırlar. İyi bir volkan çalışması, magmatik sistemdeki fizikokimyasal değişimleri ölçen jeofiziksel ve jeokimyasal metodlarda içermelidir.