

# Ankara Üniversitesi

## DİL VE TARİH - COĞRAFYA

### Fakültesi Dergisi

---

Cilt XXVIII - Sayı : 3 - 4

\*

Temmuz - Aralık 1970

---

#### JEOTERMAL ENERJİ

Doç. Dr. Özdoğan SÜR

Teknik ilerleme, hayat koşullarının daha iyiye ve enerjiye dönük bir şekilde gelişmesi, bugün dünya ülkelerini büyük bir sorun olan "enerji" problemi ile karşı karşıya bırakmıştır. Bu sorun giderek dergi ve gazete sütunlarından çıkmış, evlerimize, iş yerlerimize girmiş, dinlenme ve hatta eğlenme olanak ve fırsatlarını kısıtlama ya da ondan mahrum kalmaya bizi zorlar bir duruma gelmiştir. Her ülkede olduğu gibi bugün Türkiye'de de, yeni ve ucuz kuvvet kaynaklarının araştırılması ve mevcut çalışmaların ise geliştirilmesi zorunludur. Petrol ve kömür gibi bilinen enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükeneceği bir gerçektir. Su kuvveti ve onun sağladığı enerji ise sınırlıdır. Bugün milyonlarca lira güneş enerjisinden faydalanma, gel-git olaylarından enerji temin etme imkanları için sarfediliyor ki, henüz hepsi deneme safhasındadır.

Elektrik enerjisi kullanımı bir çok yerde iki misline çıkmıştır. Türkiye'de de olağan üstü orantıda artmaktadır. Her ne kadar atomik enerji sevindirici bir ufuksa da, jeotermal enerjinin varlığı ve daha ucuz elde edilme imkânları, bilim adamlarını ve teknik elamanları bu alanda inceleme, araştırma yapmayı daha cazip hale sokmuştur.

İtalyada enerji kaynaklarının yetersiz olması, yıllarca evvel bu ülkede ilgilileri başka enerji kaynakları aramağa zorlamıştır. Bunun neticesi olarak doğal buhar kaynaklarından istifade edilmeğe başlanılmış ve bugün önemli bir milli servet olmuştur. Birleşik Amerikada ise ilk jeotermal kuvvetten faydalanma tesisleri 1960 yılı sonlarında tamamlanarak işletilmeye açılmıştır.

Bugün jeotermal enerjiden, özellikle buhardan faydalanma sorunu büyük ölçüde halledilmiştir. Elverişli bir buhar kaynağının bulunması halinde ondan kuvvet elde edilmesi az masraflıdır. Bu cazip özelliği sebebiyle bugün Türkiyede de geniş ölçüde araştırmalar yapılmaktadır.

Bu yazı hazırlanırken başta F. M. Bullard ve A. Rittmann'ın eserleri olmak üzere bibliyografya ve dipnotlarında belirtilen kitap ve makalelerden yararlanılmıştır.

### JEOTERMAL ENERJİ

Yeryüzündeki bütün volkanik bölgelerde ve hatta volkanik faaliyeti binlerce yıl önce sona ermiş bulunan yerlerde bile sayısız sıcak su kaynaklarının, fumarollerin bulunması, o yörelerde satha yakın kayaların altında ve daha derin yerlerde sıcaklığın var olduğunu gösteren delillerdir. Mağma haznesi için de serbest kalan gazların basıncı zayıfladığı ve dolayısıyla volkanik faaliyet sona erdiği zaman, mağma yavaş yavaş soğumaya devam eder. Bu soğuma esnasında, büyük ölçüde subuharı olmak üzere, hidroklorik asit, karbondioksit, hidrojen, amonyum klorür. v. b. gibi gazlar çıkar. Bütün bu gazlar yeraltı suyu zonu içindeki yarıklardan geçerek yeryüzüne ulaşır. İşte bu volkanik buharlaşma esnasında çıkan gazlar tarafından ısıtılan yeraltı suyu ve diğer karışımlar, yeryüzüne sıcak kaynaklar, geyzerler, fumaroller olarak ulaşırlar.

Bazı hallerde çıkan su sıcak, bazan ise çok sıcaktır ve kaynar ya da kaynama noktasını da aşmıştır. Amerikada Wyoming eyaletinin kuzeybatısında yer alan Yellowstone National Park'daki geyzerler ve sıcak su kaynakları böyle yörelerdeki klasik ve başlıca misallerden biridir. Hernekadar Yellowstone yöresinde binlerce yıldan beri hiçbir volkanik faaliyet meydana gelmemişse de, bu alan içindeki üçbin sıcak su kaynağının mevcudiyeti ve onlarla ilgili olaylar gösteriyor ki, bu bölgede derinlerde mağma el'an soğumaya devam ediyor ve mağma, ondan çıkan gazların tabansuyunu ısıtacak kadar satha yakındır. Kalifornia'daki Lassen Dağı ve çevresindeki sıcak su kaynaklarının çıkardıkları suyun % 10'unun mağmatik olduğu tahmin edilmiştir ki, Yellowstone'da bu miktar daha azdır. Geri kalan miktar şüphesiz meteorik ya da yerin altına sızmış olan yüzeydeki yağmur suyudur. Binlerce yıldan beri Yellowstone'da mevcut olan sıcak su kaynakları ve geyzerler, sıcak su kaynaklarının depoları ile buzullar arasında bir ilişkinin olması ihtimalini kuvvetlendiriyor. Yüzeğe yakın olsa bile, mağmanın sıcaklığını kaybetmesi okadar yavaş oluyor ki, insanın ve insanlık tarihinin çok kısa sayılabilecek yaşantısı ve süresi içinde belirsiz bir sıcaklık kaynağı olarak kabul edilebilir.

Hidrotermal faaliyet tiplerinin bilinmesi, kuvvet istihali için doğal buhardan faydalanma ile ilgili teknik düşüncelerin anlaşılabilmesi bakımından lüzumludur. Bu hususta yapılmış olan çalışmalara göre, doğal buhar başlıca iki tipte incelenebilir. Birincide, buhar doğrudan doğruya mağma-

dan çıkar ve satha ulaşır. Bu sebepten *primer* ya da *iptidai* buhar adı verilmiştir. Diğeri ise, dolaşıma katılmış yeraltı suyundan, yani güngörmüş sudan meydana gelir ki, buna da *sekonder* ya da *ikinci derecede* buhar denilmiştir. Satha çıkan buhar çoğunlukla primer ve sekonder buharın karışımıdır. Buhar tipini ya da karışım oranını saptamak güç fakat önemlidir. Bu sebepten belirtilen özelliklerin incelenmesi, kuvvet kaynağı olarak buharın değerini saptamakta esas olacaktır.

### Mağmatik Buhar

Yeryüzüne ilk defa varmış bulunan buhar şeklindeki mağmatik su volkanik erüpsiyonlarda önemli rol oynar. R. Goranson'un yaptığı tecrübelerle göre, bir granit eriği, 17 km derinliği karşılayan bir basınçta ve 900 °C sıcaklıkta % 9 oranında su, 2 km. derinlikte ve aynı sıcaklıkta ise % 4 oranında ayrılmış su ihtiva eder<sup>1</sup>. Subuharı ve diğer gazların mağma cepleri içindeki basıncı volkanik erüpsiyon meydana gelinceye kadar artar. Püsküren bir yanardağın tepesinden yükselen büyük gaz bulutunun büyük bir kısmı subuharıdır. Buna karşılık, halen bir erüpsiyonun oluşmadığı İtalyadaki Larderello yöresi gibi yerlerde, sathta bulunan kayaçların yarıklarından subuharı çıkar ve yüzeye ulaşarak *jet buharları* ya da *soffioni* adı verilen oluşmaları meydana getirir.

Mağmatik buharın yeryüzüne ulaşmaya kadar geçirmiş olduğu safhalar ilginçtir. Buhar kırıklar boyunca yükseldikçe, basıncı onu çevreleyen kayaçlar tarafından muhafaza edilecektir. Bu basınç hidrostatik basıncı aşmış olacağından sıcaklık kaybı onu bünyesinden sevkeden taş duvarlar içinde kalacaktır. Bu yüksek basınçlı buharın yukarı doğru hareketi sırasında geçirgen formasyonlara ulaşıncaya, basınç bu cins taşların direncini aşar ve aynı zamanda geçirgen taşların direnci basıncı kontrol edemez. Ancak hidrostatik basınç kısmen dengeyi sağlar. Bu sırada buhar yeraltı suyuyla temas geçer. Sıcaklığın kaynama noktası üzerinde kalıp kalmaması ise taban suyunun karışma miktarına bağlıdır. Ya sathtaki yarıktan buhar olarak çıkması için gerekli sıcaklığı muhafaza edebilir ya da geçirgen tabakalar içinde tamamen yayılır ve yeraltı suyunun sıcaklığının artmasına sebep olur. Şayet yeryüzünün hemen altında geçirimsiz bir örtü tabakası ya da kayası mevcutsa, buhar yeraltı suyuyla karışmaksızın o örtünün altında birikebilir.

Önemli olan bu husus da, derinlerden bir yarık boyunca yukarı doğru çıkan buharı geçirgen tabakalara ulaşmadan elde etmektir. İçinde buhar taşıyan yarık, geçirgen tabakaların altındaki bir noktada açılan sondaj kuyuları tarafından katedilirse buharın yeraltı suyuna karışmasına ya da geçirgen kayaçlar içinde yayılmasına engel olunur. Böylece, özellikle kırık-

1 R. Goranson (1931) The Solubility of Water in granitic magmas. Am. Jour. of Sci. 5 th ser., Cilt: 22, Sayfa: 483-502.

ların durumu dikkate alınarak bir yörenin yapısı üzerine dikkatli çalışmalar yapılırsa, jeotermal enerjiden faydalanmak üzere yapılacak yatırımlar değerlendirilmiş olur, fayda sağlar ve mağmadan çıkan suyun ya da buharın araştırılmasında açılacak kuyuların yerini seçmede isabet fazlalaşır.

Jeotermal enerjiden faydalanmak üzere açılan bir kuyunun başlangıçta ıslak buhar ihtiva etmesi mümkündür, fakat daha sonra yeraltı su seviyesinin alçalmasıyla iyi kalitede hatta kuru buhar çıkar. Yeni Zelanda da Wairakei yöresinde bazı kuyular ıslak buhar verirler. Bu durumuyla ikinci tipe, yeraltı suyundan çıkan buhar tipine, uyan fazlaca ıslak buhar çıkarırlar. Şurası bir gerçek ki, fazla sıcak ve yüksek basınçlı buhar, termal sahalar da açılmış satıh kuyularına kendilerinden çok şey kaybetmeden daha ekonomik ve değerli olarak varırlar ve sisteme dahil olurlar.

### **Yeraltı Suyundan Gelen Buhar**

Dünyanın birçok yerinde ısınmış yeraltı suyu yüzeye normal sıcaklıkta varır. Bilindiği gibi, yerin derinliklerine inildikçe sıcaklıkta bir artma vardır. Bu artış ortalama olarak her 33 m de 1 °C dir. Diğer yandan, bazen jeolojik yapı suyun çok derinlere inmesine sebep olabilir. Bu durumda olan yerlerde, derinlere inen su çok ısınmış olacaktır. Daha sonra satha doru yükselecek, ılık ya da sıcak su olarak kaynaktan çıkacaktır. Sıcak kaynakların fazlaca bulunduğu yere misal olarak Birleşik Amerikanın Arkansas eyaletindekileri, ılık olanlara ise Gorgia'dakileri göstermek mümkündür. Arkansas'da olduğu gibi, yerin içindeki sıcak zona kadar inen sular, satha çıkarlarken bazan beraberlerinde mağmadan aldıkları bazı maddeleri de taşırlar. Ayrıca, sıcaklığın artışına, kırık boyunda hareket esnasındaki sürütme ve radyoaktif maddeler sebep olabilir.

Sıcaklığın en önemli kaynaklarından biri de faal ya da çok yakın zamanda faaliyeti sona ermiş yanardağ bölgeleridir. Volkan yörelerinde, yüzeye yakın yerlerdeki mağma binlerce yıl sıcak kalabilir ve sıcaklığı onun çevresindeki kayalara yayılır. Sıcaklığını gittikçe kaybeden bu tip bir mağma buhar vermeyebilir ya da çok az buhar çıkarır. Yellowstone National Park'da bu durum müşahade edilmektedir. Yeraltı suyu, soğuyan mağma ile temasta olan kayalar tarafından ısıtılır. Bu ısıtılma sonunda su hafifler ve gözenekli formasyonlar arasına girerek satha yükselir. Daha sonra, soğuk su boşalan yeri almak için hareket eder ve böylece bir dolaşım sisemi başlar, Kaynama noktasının basınç ile ilişkisi ve dolaşım esnasında mağmatik suyun kayboluşu sebebiyle suyun sıcaklık taşıma kapasitesinin belirlenmesi bu tip olaylar için bilinen önemli özelliklerdir. Herhangi belirli bir derinlikte geçirgen kayalar içindeki bir termal sistemde toplanan sıcaklık ve buhar basıncı, hidrostatik basınç tarafından kontrol edilir. Fakat aynı derinlikte, altında su geçirmez bir tabaka ile sınırlanmış olan sistemde hidrostatik basıncın etkisi olamayacağından ve kontrol edilemeyeceğinden daha fazla bir sıcaklık ve buhar basıncı ile karşılaşmak mümkündür.

Teknik bir kelime olan *enthalpy* ile ifade olunan suyun toplam dahili sıcaklığı, kaynama noktasına yaklaştığı sıvı durumdaki sıcaklığını aşmaz. Suyun üzerindeki basıncın azalmasıyla kaynama noktasının değeri düşer. Hiç bir zaman su kendi dahili sıcaklığı ile buharlaşamaz. Suyun buharlaşma yüzdesi ise suyun oijinal sıcaklığına ve basıncın artma miktarına bağlıdır.

## SONDAJLA DOĞAL BUHARIN ELDE EDİLMESİ

İlk çağlardan beri insanlar sıcak su kaynaklarından temizlik ve banyo için faydalanmıştır. Roma İmparatorluğunda, imparatorlar ve diğer ileri gelen kimseler, İtalyanın volkanik yörelerindeki sıcak su kaynaklarının buldukları yerlerde hamamlar yaptırıldılar. Bugün de bu kaynakların çevrelerinde modern dinlenme yerleri ve hamamlar bulunmaktadır. Yirminci yüzyılın ilk yarısına kadar yerin derinliklerinden gelen sıcak su ve subuharını bir enerji kaynağı olarak değerlendirmek için ciddi bir teşebbüs yapılmamıştır.

22,5 °C yıllık ortalama sıcaklık, satih sıcaklığına ve ortalama jeotermal gradyana esas olarak kabul edilirse, yüzeydeki su kaynama noktasına 1500 m den daha fazla bir derinlikte ulaşabilecektir. Bugün derinlerdeki maden ocaklarının büyük problemlerinden biri de sıcaklıktır. Bu sebeple bir çoklarına soğutma cihazları konulmuştur. Delici makineler ile kuyular açılırken artan derinlikle doğru orantılı olarak fazlalaşan sıcaklık bir sorun olarak belirir. Bugün geliştirilmiş sondaj makineleri ile çoğunlukla 6000 m derinliğe inilebilmektedir. Bu derinlikten sonra ise artan sıcaklık bir sorun olarak belirir.

Normal şartlar altında, yeryüzünün herhangi bir yerinde jeotermal sıcaklık elde etmek için kuyu açmak pratik ve kârlı bir iş değildir. J. A. Bruce ve F.B. Shorland'ın yaptıkları tahminlere göre, bir yıl devamlı sıcaklık elde edebilmek için 4000 beygir gücüne denk bir kuvvetle 48 km derinliğinde ve 61 cm çapında bir delik açmak gerekecektir<sup>2</sup>. Yakın zamanlara kadar sondaj ile subuharı elde etme teşebbüsleri yapılmamış ve bilinmiyordu. 1885 de yayınlanan tanınmış bir bilimsel dergi olan *Geological Magazine*'de J. Starkie Garder'in bir yazısı çıktı. Bu yazıda sondaj yoluyla doğal buhar elde etme teşebbüsünden bahsediliyordu.

Gerçek olan şudur ki, volkanik faaliyetin yakın zamanlarda meydana geldiği yörelerde, mağmanın sıcaklığının yüzeye intikali daha kolaydır. Zira kafi derecede satha yakın olan mağmatik ceplerin bulunduğu yerlere yapılacak sondajlarla olumlu sonuçlar elde edilir ve daha az masraflı olur. Bugün jeotermal enerjiden faydalanabilmek için bütün dünyada ve bilhassa volnik arazinin bulunduğu yerlerde geniş ölçülü bir faaliyete girişilmiştir.

<sup>2</sup> J. A. Bruce ve F. B. Shorland (1932) Utilization of Natural Heat Resours in Thermal Regions. New Zealand Jour. of Agri., cilt: 45, sayfa: 272-279, ve ayrıca cilt: 47, sayfa: 29-33, 1933.

Ancak yapılan bu teşebbüsler sonunda elde edilen buhardan enerji üretimi sağlayan ülkeler henüz pek fazla değildir. Jeotermal enerji kaynaklarının bulunduğu alanlar haritada da müşahade edilebileceği gibi (Harita: 1), buralar daha ziyade kırık sistemlerinin yer aldığı yeryüzünün hareketli ve volkanik olayların meydana geldiği bölgelerdir. Jeotermal kaynaklardan enerji üreten ve tesisler kurmuş olan başlıca ülkeler İtalya, Yeni Zelanda, İslanda, Birleşik Amerika, Meksika, Sovyetler Birliği ve Japonyadır. Jeotermal enerjiden faydalanabilmek gayesiyle araştırma yapan ülkeler ise Türkiye, Avustralya, Tayland, Endonezya, Filipinler, Cameron, Kenya, Şili, Salvador, Fas, Tunus, Costa Rica, Venezuela, Antiller, Etopya, İsrail, Kongo, Ürdün, Macaristan, Çekoslavakya'dır.

### İTALYADA JEOTERMAL ENERJİ ALANLARI VE FAYDALANMA

Günev Avrupada Alpin sistemin bir uantısı halinde olan Apennin dağları İtalya yarımadasının adeta bel kemiğini teşkil eder. Yakın denilebilecek bir jeolojik devre içinde, Pleistosen başlarında, bu yarımadanın başından yükselme ve yerel çökme olayları geçmiştir. Bu esnada İtalyanın kara olan bir çok yeri geçici olarak Akdenizin suları ile örtülmüştür. Apennin dağları yükselirken batıda şimdi Tirenien Denizi olan kısım yükselmeler Pleistosen buzul devrinden önce başlamıştır ve el'an bazı yörelerde devam etmektedir. Görülüyor ki, İtalya yarımadası Alpin sistem içindeki hareketli yerlerden biridir. Bu itibarla arazi kırık sistemlerinin çok yer aldığı bir özelliğe sahiptir. Bu kırıklar üzerinde gelişen merkezi erüpsiyon yerleri yeryüzünün çok tanınmış faal volkanik yörelerinden birini teşkil eder.

Jeotermal enerji ile yakın ilgisi sebebiyle İtalyadaki yanardağların dağılışını kısaca gözden geçirmek faydalı olacaktır.

#### İtalyada Yanardağların Dağılışı

İtalyada yanardağlar Apenin dağlarına ve Tirenien denizi kıyılarına paralel olan bir hat boyunca yer almışlardır. Bu yanardağlar, Tirenien Denizinin çökmesi ve Appenin dağlarının yükselmesinden meydana gelen kırıklar sistemi üzerinde birbirine yakın ya da uzak volkanik merkezler halinde bulunurlar. Kırık sisteminin kuzeydeki başlangıç yeri, aşağı yukarı Floransa ile Roma arasındaki mesafenin yarı yoludur (Harita: 2). Güneye doğru başlıca volkanik merkezler ise: Buradaki volkanik merkezlerden ortasında büyük bir göl bulunanlardan biri Vulsini'dir, ortasındaki çanağa Bolsena Gölü adı verilir. Gölün uzunluğu yaklaşık olarak 16 km, genişliği ise 13 km. dir. Suları Marta akarsuyu ile Tirenien Denizine dökülür. Bir diğer erüpsiyon merkezi Cimini'dir, yine erüpsiyon merkezindeki çanak su ile dolu olup Vico Gölü adı verilmiştir. Sabatini püskürme merkezinde de Bracciano Gölünün yer aldığı bir çanak bulunmaktadır. Diğerleri sıray-



DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI ALANLARI

(Harita: 1)

la, Alban tepeleri, Roccamonfina, Napoli yöresindeki volkanik merkezler ki, buna Vezüv ve Phlegraean Fields'de dahildir.



İTALYADA YANARDAĞLAR ve LARDERELLO VOLKANİK BÖLGESİ

Bütün bu volkanik merkezler, volkanologların Akdeniz Tipi diye belirttikleri tipe dahil olup aynı karakteri gösterirler. Kentlerin çevrelerinde hafifçe yükselen volkanik merkezler, ortalarında krater ya da kaldera ihtiva eden daha ziyade sürger taşlarından meydana gelmiş alçak konilerdir. Üzerlerinde ekseriya küçük lav akıntıları vardır. Yalnız Vezüv bu kuşağın gü-



neyinde yer alan yüksek bir volkan olarak diğerlerinden ayrılır. Vezüv tarihi çağlardaki erüpsiyonlarında çok miktarda lav akıntıları meydana getirmiştir. Alban tepeleri sahasından kuzeye doğru arazi krater ve içlerinde göller bulunan kalderalarla çok güzel bir görünüme sahiptir. Belirtilen özellikleriyle İtalyanın bu yöresinin ayrı bir turistik değeri vardır.

Yukarda değinilen kırık zonu üzerindeki volkanik merkezlerde faaliyet önce kuzeyde başlamış, güneye doğru gelişmiştir; bugün bu hat üzerinde yalnız Vezüvde görülür. Jeolojik zaman ölçüleri içinde çok yakın bir zaman sayılabilecek Pleistosen'de volkanik faaliyet başlamıştır. Roma'nın kuzeyindeki erüpsiyon merkezlerinde tarihi zamanlarda hiç bir volkanik faaliyet tesbit edilmemiştir. Milattan önce 290'a kadar Romanın güneyindeki Alban tepelerinde zayıf erüpsiyonlar müşahade edilmiştir. Napoli yöresinde ise volkanik faaliyet bugüne kadar devam etmiştir.

İtalyada halen iki ayrı yörede volkanik faaliyet devam etmektedir. Biri, Sicilyanın kuzeyindeki Lipari adalarından Stromboli ve Vulcano'da; diğeride Sicilyadaki Etna yanardağıdır.

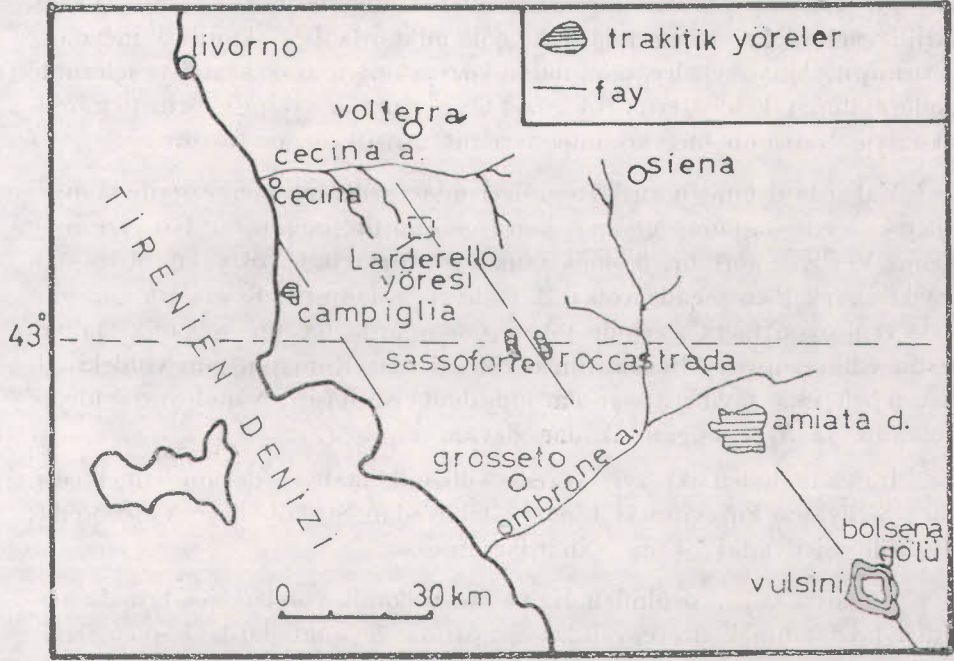
Yukarda kısaca değinilen İtalya'nın volkanik yöreleri, jeotermal enerjiden faydalanmak üzere yapılan araştırma ve sondajlarda başlıca ilginç yerler olmuştur.

### JEOTERMAL ENERJİDEN FAYDALANMA

İtalya jeotermal enerjiden faydalanma teşebbüsünü yapan ilk ülkedir. Aynı zamanda bu konu ile ilgilenen diğer ülkeler için bir laboratuvar olmuştur.

İtalyada geniş bir alan yakın zamanlara kadar ve bazı yerlerde de bugüne kadar volkanik faaliyetlere sahne olduğu için sıcak su kaynaklarına, indifa sonu ekshalasyonlara o nisbette fazla yer vermiştir. Önce sadece Larderello yöresinden, Toskana, Floransa'nın güneyindeki doğal buhar buhar kaynaklarından, faydalanılma yoluna gidilmiştir. Yıllarca evvel enerji noksanlığı nedeniyle bir çok teşebbüse girilmiş olan İtalya'da yalnız bu bölgede 1952 de İtalyada istihsal edilen toplam elektrik gücünün % 6'sı jeotermal enerjiden faydalanılarak elde edilmiştir. Larderello'da bu tip enerji istihsalinin iyi sonuç vermesi, ülkenin diğer yerlerinde de bu sanayiın kurulmasına sebep olmuştur.

Toskana'nın doğal buhar kuyuları tahminen 160 km<sup>2</sup> lik elipsvari bir şekil gösteren arazide başlıca yedi gruba ayrılmış bir durum gösterir. Bu yöre Votterra'nın 25 km güneyinde, Floransa'nın ise yaklaşık olarak 80 km güneybatısında yer almıştır (Harita: 4). Toskana bölgesinde işletilen yedi merkez şunlardır; Larderello, Castelnuovo, Serrazzano, Lustignano, Sasso, Lago ve Monterotondo. Hem kuvvet hem de kimyasal madde istihsali bakımından en büyük inkişaf Larderello'da görülmüştür (Harita: 3).

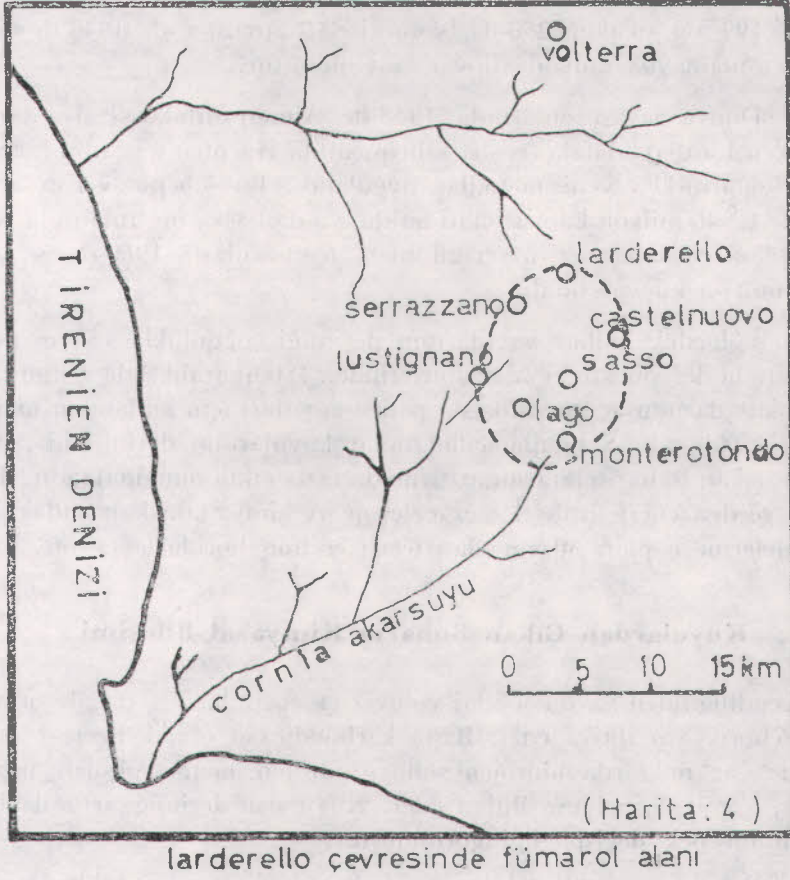


NW-SE yönünde uzanan volkanik kuşak üzerindeki  
larderello yöresi (Harita: 3)

Doğal buhar kuyuları “*Soffioniler*” ve *Lagoni* adı verilen buharın yoğunlaştığı su havuzları bu bölgede asırlardan beri bilinmektedir; fakat uzun süre buhar kuyuları köylüler tarafından zararlı kabul edildiğinden istifade edilememiştir. 1777 de Toskana dükü Leopold III’ün sarayındaki bir eczacı su havuzlarındaki suyun borik asidini ayırmayı başardı. Bu önemli bir olaydı. Zira Yabancı memleketlerden, doğudan çok pahalı ithal edilen boraks, borik asidin soda ile reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Daha sonra borik asit elde etmek için bir takım teşebbüsler yapıldıysada 1827’ye kadar başarı sağlanamamıştır. Bu tarihte sürgünde bulunan Francisco Larderel adındaki bir fransız kontu borik asit eriyiklerini elde edebilmek için buhar kullanılmasının gerekli olduğunu açıklayarak faydalı bir endüstrinin gelişmesi yolunda ilk adımı atmış oldu<sup>3</sup>. Daha sonra bu endüstri dalının gelişmesinde büyük katkısı olan F. Larderel’in adı bu bölgeye verildi.

Doğal buhardan elde edilen sıcaklık yıllarca kimya endüstrisinin çeşitli dallarında kullanılmıştır. fakat XIX. Yüzyılın sonlarına kadar kuvvet elde etmek için bir teşebbüste bulunulmamıştır. Ancak 1897 de makineleri hareket ettirmek için kazanların ısıtılmasında doğal buhar kullanılmıştır. 1904

<sup>3</sup> Utilization of volcanic steam in Italy. Smithsonian Annual Report for 1925, sayfa: 519-521, 1925.



de ilk defa, buhar kuyusundan çıkan buhar bir makinenin pistonunu hareket ettirmek için kullanıldı. Daha sonra 1913 de bir sofione'dan çıkan buharı doğrudan doğruya kullanmak üzere ilk buhar türbünü kurulmuş ve türbün 250 kilovatlık elektrik jeneratörüne bağlanmıştır. 1916 da ise her birine 3000'er kilovatlık üç ünite ilave edilmiştir. Yalnız bir hususu belirtmek gerekli, o da, türbünlerde buhar kuyularından (sofionilerden) çıkan kaynar haldeki saf sudan hasil olan buhar kullanılmıştır ve böylece doğal buharın ihtiva ettiği % 5 oranındaki gazların meydana getirebileceği güçlüklerden kaçınılmış olur. Bu metod 1923 yılına kadar tatbik edildi. Bir takım yeni aletlerin bulunması ile doğal buhar doğrudan doğruya turbo-jeneratörlere verilebildi. Böylece tehlikeyi önlemek için kullanılan aracı devrelere lüzum kalmadı. XX. Yüzyılın başlarında açılmış olan kuyuların derinlikleri 150 m den daha azdır ve buhar ortalama iki atmosferlik bir basınçla çıkmıştır. Sıcaklık ise 100 °C den 190 °C'a kadar değişen bir değer göstermiştir. 1931 de daha derin sondajlar yapılarak daha yüksek basınç ve sıcaklık elde edilmiştir. İlk büyük kuyunun açılması da bu yıla rastlar.

Soffionissimo NO. 1 adı verilen kuyu 270 m derinliğinde, saatteki buhar istihali 199 ton, sıcaklığı 250 °C, basıncı ise 3,7 atmosfer idi. 1943 de elektrik verimi toplam 908 milyon kilovat saat olmuştur.

II. Dünya Savaşı sonlarında, 1945 de, Alman orduları İtalya'dan geri çekilirken Larderello'daki tesisler tahrip edildi. Harpten sonra bu bölgedeki tesisler onarılırken yeni metodlar uygulandı. Bu sebeple verim artarak 1952 de 1.840 milyon kilovat saati buldu, ya da başka bir anlatımla İtalyanın toplam elektrik enerjisi veriminin % 6 sına ulaştı, 1960 da ise üretim 1.914 milyon kilovat buldu<sup>4</sup>.

Bu bölgedeki buhar kuyularının derinliği çoğunlukla 150 m ile 450 m. arasında değişmektedir ve birbirlerinden 180 m aralıklarla açılmışlardır. Buhar kuyularının açılmasında da petrol kuyuları için kullanılan makkaplardan istifade dilir. Sondajla açılan buhar kuyularının derinliğini fazlalaştırmak, çıkan buhar miktarını arttırmada fazla etkili olmamaktadır. Buhar çıktığı yerden enerji istihsal merkezlerine ve kimya fabrikalarındaki birikme kulelerine çapları 30 cm olan tecrit edilmiş borularla taşınır.

### Kuyulardan Çıkan Buharın Kimyasal Bileşimi

Kendiliğinden ya da sondaj yoluyla çıkan buhar % 0,1 ile ortalama % 0,06 borik asit ihtiva eder. Başta karbondioksit olmak üzere (% 90'ın üstünde), az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, metan, oksijen, nitrojen, nişadır, argon ve helyum ihtiva eder. Kuyuların derinliği artsa da buhar karışımının pek değişmediği görülmüştür.

Larderello yöresinde 1 kilogram buharın içinde tesbit edilen gaz miktarı şöyledir:

	Gram
H <sub>2</sub> O .....	945.87
CO <sub>2</sub> .....	51.85
H <sub>2</sub> S .....	0.86
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> .....	0.56
NH <sub>3</sub> .....	0.10
CH <sub>4</sub> ,H <sub>2</sub> .....	0.40
O <sub>2</sub> .....	0.01
N <sub>2</sub> .....	0.42 <sup>5</sup>

Subuharının çökmesi ve borik asit ile amonyumun bertaraf edilmesinden sonra gazların karışımı ise şöyledir:

4 Review of Economic Conditions in Italy for 1954. Banco di Roma, Cilt: 8, sayfa: 21.

5 G. Manelli-The Soffioni of Larderello. Instituta di Chimica, Üniversity of Floranc.

Gazın her 100 litresinde		Litre
CO <sub>2</sub>	.....	93.0
H <sub>2</sub> S	.....	2.4
H <sub>2</sub>	.....	1.8
CH <sub>4</sub>	.....	1.8
N <sub>2</sub>	.....	1.0
Helyum, argon, .. v.b. 3 cc.		

Borik asit özel kaplar içinde buharlaştırma yoluyla çökeltilir. II. Dünya Savaşından önceki senelerde borik asit istihsali bu bölgede 8000 ton civarında, boraks ise 4500 ton idi. Larderello'da diğer kimyasal maddeler de elde edilmiştir. Başlıcaları: CO<sub>2</sub> ve *dry ice* (kuru buz)'dur<sup>6</sup>. Diğerleri nişadır, amonyum, sodyum perborat, amonyum klorid ve manganez boratıdır.

### LARDERELLO VE YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Larderello yöresi, yakın zamana kadar aktif volkanların bulunduğu bir kuşağın kuzeyinde yer almıştır (Harita: 2). Bu yöredeki buhar kuyularının kaynağı, halen soğumakta olan ve nisbeten yüzeye yakın bulunan mağmadır. Buharın içinde yükseldiği kırığın çevresindeki taşların yapı özellikleri ve yaşı takip edeceği yol bakımından etkili olur; fakat miktarına tesir etmez. Buhar kırık boyunca yükselirken şayet geçirgen bir tabakaya rastlarsa onun için yayılır. Daha sonra satha doğru fissürlerden faydalanaarak yükselir, yeryüzüne ulaşır ve *soffioni* denilen buhar kuyularını meydana getirirler. Bazan da *buhar kapanı* adını verebileceğimiz ve yapısal özellikten meydana gelmiş bulunan buhar birikme yerleri vardır. Geçirgen tabakanın üstünde kıvrılmış, geçirimsiz taştan oluşmuş bir örtü tabakası varsa, bu taktirde altında bir dom strüktürü görülür ki, buharın toplandığı, hap-solduğu yer burasıdır. Bu dom şeklindeki yapının içinde biriken buhar çok basınçlı ve sıcaktır. Böyle yerlerin bulunmasında petrol araştırmalarında uygulanan tatbiki jeolojik ve jeofizik metotları geçerlidir. Araştırma sonunda buhar kapanları bulunursa bol miktarda çok sıcak ve basınçlı buhar elde edilir.

İtalyada bütün enerji kaynaklarının işletilmesi devlet tarafından yönetilir ve bu iş bir devlet organizasyonu olan "Ente Nazionale Idrocarburi" tarafından yönetilir. Kömür hariç, maden ve buhar kaynaklarının işletilmesi bu müesseseye aittir. Yapılan araştırmalar sonunda İtalya yarımadasında işletilmeğe değer buhar yataklarının buldukları yerler şuralarıdır: Padova'nın 8 km güneyinde, banyoları ile tanınmış olan *Abano* kasabası

<sup>6</sup> Dry ice (kuru buz) - CO<sub>2</sub> büyük basınç altında sıkıştırıldığı ve soğutulduğu zaman meydana gelen beyaz ve katı maddeye verilen addır. Katı durumda iken sıvı hale dönüşmeden gaz durumuna geçer.

çevresi, kuzeybatı İtalyada *Acqui* kasabası çevresi, *Amiata Dağı* ve yakın çevresi, Floransanın güneyindeki *Grosseto* ile, *Latial* yanardağlarının çevresi, *Campi Fleggredi*, *Ischi*, *Vulture*, *Vulcano*, *Sicilya*.

Buharın aşırı sıcaklığı, basıncı ve büyük hacmi onun mağmatik kökenli olduğunun delilleridir. Şüphesiz bazan taban suyu da buhara katılabilir; fakat ana kaynak mağmanın enerjisidir. D. W. Keller ve A. Valduga, Larderello'da mağmanın içindeki buhar miktarının hesabetmek için teşebbüste bulunmuşlardır<sup>7</sup>. Kabul etmek lazımdır ki, elde edilen sonuçlar tahminlerden ibarettir, ancak ilginçtir. Şayet borik asit buharlaşması veren bir mağma cinsi olan bir granit batolitinin Toskana'nın altında bulunduğu kabul olunursa ve uzun bir süreden beri soğumakta ise, Larderello'da buhar hasil olması için ne kadarlık bir soğumaya ihtiyacı vardır? Bu soruyu bir takım tahmini değerlere dayanarak çözümlenmek mümkündür. Larderello'da 1938 de kuvvet elde etmek için kullanılmış olan buhar miktarı minimum bir değer olan 6.263.400 ton olarak kabul olunursa yoğunlaşmanın hesabı yapılabilir. Tecrübeye dayan incelemelerden anlaşılmıştır ki, mağma % 6 oranında su iltiva etmektedir. Granitin özgül ağırlığı için 2.67 lik bir değer ve su için de her cm<sup>3</sup> için 0,93 gramlık bir ağırlık kabul edilirse, tahminlere dayanarak, donmuş mağmanın yaklaşık bir değerle 34 milyon m<sup>3</sup>'ünün iltiva ettiği suyun hepsi buhar olursa, 1938 de hasil olan miktarda buhar temin edebilir. Buradan şöyle bir sonuca varılabilir. Yaklaşık olarak 264 km<sup>2</sup> lik bir alanın altında uzanan kütlenin çok küçük bir parçası, 17 km<sup>2</sup> lik granit kütlesi, 1938 deki buharda verimi temin edebilmiştir. Büyük bir ihtimalle çok daha fazla buharda kayaçlar arasında kaybolmuştur. Mağmanın iltiva ettiği su miktarı için verilen % 6 oranındaki değer doğru olmayabilir. Bu bakımdan sonuçlar ilginç bir incelemenin sadece esaslarını vermiştir, yanılmalar hesaba katılmalıdır.

### LARDERELLO YÖRESİNDEKİ JEOTERMAL ENERJİNİN VOLKANİK FAALİYET İLE İLİŞKİSİ

Buharın volkanik faaliyet ile ilgisi bilinen bir olaydır. Başka bir anlamla, buharın kaynağının aranması halinde, önce onun, volkanik kütleyi teşkil etmek üzere satha ulaşan mağma ile ve dolayısıyla volkanik faaliyetle ilgisini araştırmak gerekir. Larderello'da mağma satha ulaşmamıştır ve yakın çevrede de volkanik bir faaliyet meydana gelmemiştir. Belkide doğal buhar için en uygun yerler böyle yörelerdir. Zira, yanardağ gibi yüzeyde doğal yolla açılmış bir baca, buharın bu yolla dağılmasına sebep olur. Ayrıca, jeolojik yapı o şekilde olmalıdır ki, buhar sathın altında, geçirimsiz kayanın altındaki bir domda muhafaza olunmalı ve sondajsız ulaşılamamalı, fakat satha da oldukça yakın bulunmalıdır.

<sup>7</sup> D. W. Keller ve A. Valduga (1946) The naturel steam at Larderello, Italy, Jour, Geol., Cilt: 54, Sayfa: 327-334.

Büyük volkanik kraterlerin larderello'ya en yakını 105 km güneydoğudaki *Vulsini*'dir. *Volsana* adı verilen bir göl tarafından işgal edilen Vulsini volkanik kütlesi, başlıca sünger taşları ve küllerden müteşekkildir ve gölün bulunduğu kraterden başka muhtelif merkezleri vardır. Bolsena gölünün uzunluğu 14 km, genişliği ise 10 km kadardır. Larderello ile Bolsena Gölü arasında bir çok volkanik yöre bulunmaktadır. Bunlara *Amiata Dağı*, *Roccastrada*, *Campiglia Marittima* ve diğer bir çok küçük volkanik yöre dahildir (Harita: 3). Belirtilen volkanik yöreler kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan bir zon halindedir ve Tirenien Denizi kıyılarına paralel bir şekilde uzanır. Bu zonun kuzeybatısındaki volkanik faaliyet ile güneydoğusundaki arasında fark vardır ve dolayısıyla çıkardıkları malzeme de değişiktir. İlkinde, Amiata Dağı ve çevresinde daha çok lav çıkmıştır. Güneydoğuda, krater gölleri çevrelerinde ise patlama faaliyeti sonunda çıkmış materyal kül ve sünger taşlarıdır.

Volkanik yörelerin en geniş ve bu grup içinde tipik bir örnek olan *Amiata Dağı*, trakitik lav akıntılarının üst üste geldiği bir volkanik kütleden ibarettir ve lav akıntılarının patlama merkezlerinden ziyade, kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanan yarıklardan çıkmış olduğu tesbit edilmiştir. Bu çevredeki volkanik faaliyet post-Pliosende olmuştur; fakat Vulsini volkanını meydana getiren volkanik faaliyet ile güneydoğudaki volkanik merkezler daha yenidir<sup>8</sup>. Amiata Dağı kabaca konik bir volkanik kütledir. Yamaç meyili 9 derece, çevresindeki araziden ise 580 m. yüksektir. Zirvenin deniz seviyesinden yüksekliği 1575 m. dir.

Amiata Dağının 29 km kuzeybatısında *Roccastrada*, *Sassoforte* ve trakitik kütlelerden müteşekkil diğer gruplar uzanır. Materyal ve olayların gelişimi Amiata Dağında olduğu gibidir. Tortul tabakalar üzerinde yer alan trakitik lav örtüleri bir çok erüpsiyon merkezinde görülmez. Bu durum orijinal arazinin erozyon sonucu parçalanmasının bir neticesidir.

Diğer bir trakitik volkanik kütle olan *Campiglia Marittima* ise, *Roccastrada* grubunun tahminen 30 km batısında uzanır ve Tirenien Denizi kıyısına yakındır. 50 km<sup>2</sup> lik bir alana yayılmıştır ve deniz seviyesinden 600 m yüksektir. *Roccastrada* volkanik kütlesi gibi, materyal ve oluşum bakımından Amiata Dağındaki özelliklere bir neticesidir.

Larderello yöresindeki volkanik merkezler, Toskana'nın bu kısmında Kuaterner içinde volkanik faaliyetin varlığına birer delildir. Aynı zamanda, mağmanın Larderello yöresinde sathın altında ve nisbeten az bir derinlikte bulunduğu ve yavaş yavaş soğuyarak gazların kaynağı olduğu kabul edilebilir.

<sup>8</sup> C. S. Preller Du Riche (1924) Italian Mountain Geology, Northern Italy and Tuscany, London, Wheldon and Wesley, Ltd. Sayfa: 141.

## YENİ ZELANDANIN JEOTERMAL ENERJİ ALANLARI VE FAYDALANMA

Yeni Zelanda, Güney Pasifikte Avusturalyanın doğu, kısmen de güneyinde yer alan bir grup adadan ibarettir. Avustralyadan 1800 km, Güney Afrikadan 7200 km uzaktadır. Yeni Zelanda *Kuzey Adası* ve *Güney Adası* adı verilen başlıca iki büyük adadan meydana gelmiştir. İlki 114.250 km<sup>2</sup>, ikincisi ise 150.454 km<sup>2</sup> lik bir alan işgal eder.

### YENİ ZELANDANIN JEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ

Kuzey Adası 828 km uzunluk, 321 km den fazla bir genişliğe sahiptir. Orta kısmı kıvrım dağlarından meydana gelmiş olup *Cook Boğazından* kuzeydoğuya doğru uzanarak *Plenty* körfezindeki *Doğu Burnuna* kadar varır. Bu dağ sırasının üzerindeki yükseklikler 900 m. nin üzerindedir, fakat 1800 m. yi aşmaz. Sıradağların batısında geniş bir volkanik plato yer alır. Bu volkanik platoyu, taban kısmı *Plenty Körfezi* boyunca uzanan bir üçgene benzetmek mümkündür. Tersiyerde başlayan erüpsiyonlar el'an devam etmektedir. *Tarawera* ve *Ngauruhoe* adı verilen yanardağlar halen faaldir ve daha birçok sönmüş ya da uyuyan yanardağ bulunmaktadır (Harita: 5).

Güney Adasının iskeletini ise adayı baştanbaşa kateden *Güney Alpleri* adı verilen yükseklikler teşkil eder. Dağ sırasının ortalama yüksekliği 2400 m. den fazladır. 3000 m. yi aşan 17 den fazla doruk bulunmaktadır ve ova- dan itibaren dik yamaçlarla yükselerek kar sınırını aşarlar. Güney Adası sayısız buzulları, çok güzel görünüşlü çağlayanları ile İsviçreyi andırır doğa güzelliklerine sahiptir. Adanın batısında Güney Alpleri dik bir şekilde kıyı boyunca denize dalar ve kıyı bir fiyord manzarası gösterir.

Kuzey Adasında, merkezi kısımdan önce kuzey sonra kuzeydoğu istikametinde, *Plenty Körfezine* doğru nisbeten alçak bir kuşak uzanır. Tekne şeklindeki bu kuşağa *Rotorua Gölü* ve havzaları ile *Tauopo Gölü* dahildir. *White Island Hendeği* olarak isimlendirilen bu kuşak, bir çok araştırmacıya göre çok büyük miktardaki volkanik materyalin erüpsiyonu sonucu, derinde boşalan yerlerin çökmesiyle hasil olmuştur. Kuzey Adasında el'an faal ve çok yakın zamanlara kadar aktif olan yanardağlar, çöküntü hendeğinin doğu kenarı boyunca bir kırık üzerinde yer almışlardır ki, *Whakatane Kırığı* adı verilen bu kırık boyuna tektonik bir zon demek daha doğru olacaktır. Bu tektonik zon üzerinde *Plenty Körfezinden Ruapehu Dağına* kadar uzanan bir çok yanardağ yer alır. Bunlardan faal olanlar *Tarawera*, *Ruapehu*, ve *Ngauruhoe*'dir. Sönmüş ya da sükun halinde olanlar ise *Tongariro*, *Tauhara*, *Edgecumbe* ve *Maungakakamea*'dır. En büyük termal faaliyet bu kırık üzerinde yer almıştır. *Whakatane* tektonik zonu, Güney Adasının güney kenarı boyunca güney-güneybatı istikametinde uzanan Alpin kırıkla aynı hat üzerindedir. Mamafih, Güney Adasında volkanik faaliyet

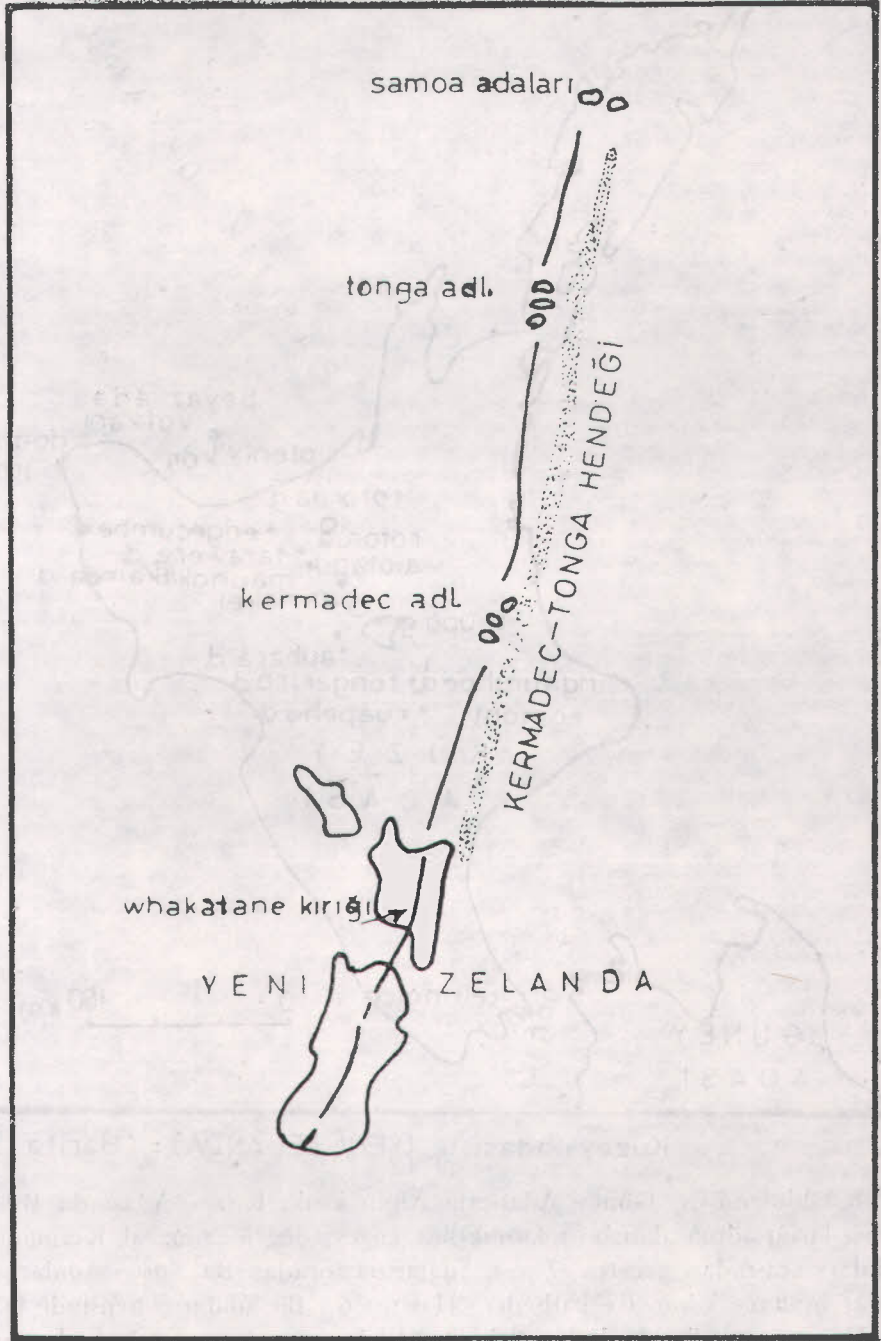




Kuzey adası (YENİ ZELANDA) (Harita: 5)

tesbit edilmemiştir. Güney Adasında Alpin kırık, Kuzey Adasında *Whakatane* kırığı adına alan bu tektonik hat, kuzeye doğru uzanarak Kermadec Adaları arasından geçerek *Tonga* Adalarına, oradan da *Samoa* Adalarına kadar binlerce kilometre kateder (Harita: 6). Bu adaların hepsinde faal ya da uyuyan volkanlar bulunmaktadır. İlk kayıtların yapılmağa başlandığı 1774 tarihinden itibaren bugüne adar 48 volkanik erüpsiyon meydana gel-

miştir. Bu tektonik hattın doğusunda ve ona paralel olarak *Kermadec-Tonga* adı verilen denizaltı çukuru uzanır. Büyük bir ihtimalle bu tektonik hendek bir dağ oluşumu esnasında yer kabuğunun bükülmesiyle hasil olmuştur.



yeni zelanda ve çevresinin strüktural durumu

(Harita: 6)

*Whakatane* tektonik zonunda volkanik erüpsiyonlar Tersiyerden bugüne kadar aralıklı olarak meydana gelmiştir. Bu volkanik faaliyetin alanı, Kuzey Adasının büyük bir kısmını örten volkanik materyalin kapladığı yerler ile belirlenmiştir. Burada sünger taşları ve kül depoları geniş bir alanı örtmüştür. Ayrıca, yapışmış riolitik tüf<sup>9</sup>, *Taupo* Gölünden itibaren kuzeye doğru 13.000 km<sup>2</sup> lik bir alana yayılmıştır. Wairakei de açılan 600 m derinlikteki buhar kuyularında ignimbritlere rastlanmıştır ki, bunun sonucu olarak volkanik materyalin 835 km<sup>3</sup> lük şaşurtıcı bir hacme ulaştığı anlaşılmıştır. Bu materyal, prehistorik çağda, muhtemelen kırıklardan ya da bu kırıklar üzerindeki merkezlerde meydana gelen patlamalı erüpsiyonlarla çıkan nuée ardente'lerle hasıl olmuştur.

Tarihi zamanlarda bütün volkanik erüpsiyonlar bu zon içinde vukubuldu. Saptanmaları ise, ancak avrupalıların 1839'lardan sonra buralara yerleşmeleri ile mümkün olmuştur. İndifalardan zikre değer olanları ise, en eskisi *Tarawera* volkanının büyük erüpsiyonudur. Kuzey Adasının hemen kuzeyinde bulunan *White* Adası volkanı da 1914 ve 1926 da püskürmüştür. Ayrıca, *Tongariro National Parkı* içinde yer alan *Taupo Gölünün* güneyindeki *Ngauruhoe* ve *Ruapehu* volkanları yakın yıllar içinde faaliyet halindeydiler. *Ngauruhoe* volkanının 1869 ve 1948-1949 yıllarında püskürdüğü tesbit edilmiştir. 1945 de *Ruapehu* volkanının içindeki lav tıkaçının yükselmesinin arkasından kül çıkmağa başlamıştır. 26 Haziran 1950 ve 19 mart 1951 lerde de yeniden kül çıktığı görülmüştür.

## YENİ ZELANDADA JEOTERMAL ENERJİDEN FAYDALANMA

Yeni Zelandanın termal mıntıkası Kuzey Adasında bulunmaktadır. Jeotermal buhar ihtiva eden kuşak, adanın merkezinde yer alan *Ngauruhoe* volkanı çevresinde volkanik alandan kuzeydoğuya doğru uzanan Plenty Körfezindeki *White* Adasına kadar devam eder<sup>10</sup>. En önemli ve verimli yerler *Taupo Gölünün* güneyinde yer alan *Tokaanu* ve *Ketetahi* kasabaları civarındadır (Harita: 5). Ayrıca, *Taupo Gölünün* kuzeyinde bulunan *Wairakei*, *Waiotapu* ve *Rotorua* meskun yerleri çevreleri de belirtilmeğe değer. Kuzey Adasında jeotermal faaliyet kuşağı ile aktif volkanlar kuşağı biribirine intibak eder.

Termal mıntıkada yaşayan insanlar ilk çağlardan beri doğal sıcak suyu, yıkanmak ve yemek pişirmek için kullanmışlardır. Enerji ihtihali için faydalanma ancak yakın zamanlarda mümkün olmuştur ve 1930'larda termal bölgedeki doğal sıcaklıktan faydalanma olanakları düşünülmüştür.

9 Bu terim, çeşitli büyüklükteki püskürük taşların yapışması ile teşekkül etmiş olan bütün piroklastik volkanik kayalara verilen bir addır. Bir çok eserde *ignimbrit* kelimesi ile ifade olunan bu taşlardır. Çoğu zaman yanlış olarak lav akıntıları için kullanılmıştır.

10 W. M. Hamilton (1954) Geothermal Energy. Cawthorn Lecture series, No. 27, Cawthorn Institute, New Zealand.

Bu hususta ilk teşebbüsü *J. A. Bruce* ve *F. B. Shorland* yaptılar<sup>11</sup>. Onlar, sıcak su kaynaklarından çıkan suyu seralarda turfanda sebze yetiştirmek, evleri ısıtmak, tuz, borik asit ve diğer kimyasal maddeleri elde etmek ve kuvvet istihsalı için kullanılmasını teklif ettiler.

Yukarda belirtilen ve diğer öneriler 1940 da teşkil olunan bir bilimsel kurul tarafından incelenerek tartışıldı. Sonunda, doğal buhardan kuvvet istihsalinin geliştirilebileceğine, fakat su kuvvetinin enerji elde edilmesi için yapılacak zahmete kafi gelmeyeceğine karar verildi. Rotorua şehri çevresinde fazla derin olmayan yerlerde sıcak kuşaklara rastlanılmıştır. Burada 1940 da açılan kuyulardan elde edilen sıcak sularla belediyeye ait bina, tiyatro, bir çok otel ve okul ile evleri ısıtmak olanağı elde edildi. 1944 da açılan kuyuların sayısı elliyi buldu ve daha sonra sayıları gittikçe arttı. 1946 da atomik bataryalar içinde bir moderatör kullanarak doğal buhardan ağır su (heavy water, D<sub>2</sub>O) elde etmek imkânları araştırılmıştır. Bu durum elektrik enerjisi kullanımındaki artışın zorladığı bir sonuçtur. Hidroelektriğin gelişimi arzuya uygun olmadığından, dikkat termal alanlar üzerinde toplanmıştır. Bu gaye ile hükümet, termal sahalarda araştırmalar yapmak üzere bir volkanoloğu görevlendirmiş ve herhangi bir yerde fabrika kurabilme olanaklarının araştırılmasını istemiştir. İncelemelerden sonra 1949 da keşif mahiyetinde sodajların yapılması uygun görülmüştür. Çalışmalara en ümit verici yer olarak tahmin edilen *Wairakei* bölgesinde başlanılmıştır ve üretim sahası olabileceği tahmin edilen 1600 m genişliğinde, 2400 m. uzunluğundaki bir alan sondaj yeri olarak sınırlanmıştır.

### KUZEY ADASININ JEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ

Kuzey Adasının doğusunda kuzey-güney yönünde uzanan derin *Tonga-Kermadec* hendeği yer alır. Bu hendeğin içinde 5100 m den 6000 m ye kadar muhtelif derinlikler tesbit edilmiştir. Kuzey Adasında Doğu Burnu adı verilen çıkıntının bir devamı olan *Kermadec sırtı* ise, daha az derin bir deniz hendeği olan *White Island* hendeğini Tonga-kermadec hendeğinden ayırır. İlginç bir durum ise, *White Island* hendeğinin güneybatıya doğru devam ederek Kuzey Adasını katedmesi ve adanın termal ve volkanik kuşaklarını içine almasıdır. Bu kuşak aynı zamanda deprem odaklarının bulunduğu bir zondur. Her ne kadar *White Island* grabeni volkanik materyalle örtülmüşse de, jeofiziksel araştırmalarla hendeğin tabanının deniz seviyesinin altında 2100 m de bulunduğu saptanmıştır (Şekil). Volkanik kül, cüruf ve diğer volkanik materyal ile örtülü olan bu büyük tektonik teknenin içi çok uzun bir zaman zarfında dolmuş olmalıdır. Radio karbon metoduyla yapılan araştırmaların verdiği sonuçlara göre, son dokuzbin yıl esnasında bu yörede bir çok volkanik erüpsiyon vuku bulmuştur.

11 J. A. Bruce ve F. B. Shorland (1932) Utilization of Natural Heat Resours in Thermal Regions. New Zealand Jour. of Agri, Cilt: 45, Sayfa: 272-279 ve Cilt: 47, Sayfa: 29-33, 1933.

Bunlardan en son olanı ise 1700 yıl önce püskürmüş ve yaklaşık olarak 22.770 km<sup>2</sup> lik bir alan çıkan volkanik külle örtülmüş ve 21 m<sup>3</sup> lük bir hacim işgal etmiştir. 700 yıl önce diğer bir volkanik faaliyet Kuzey Adasındaki Tarawera volkanında vuku bulmuştur. Daha sonra, aynı volkanda 1886 da büyük bir püskürme olmuştur. Haritada görülen *Wairakei* ile *Taupo* şehirleri arasındaki yörede bugün görülen termal faaliyetin sebebi, yukarıda bahsedilen volkanik olaylar sonucu satha yaklaşan mağmanın yavaş yavaş soğuması ile ilgilidir. Mağma tabakalar arasına sokuldukça soğumuş ve serbest kalan subuharı ve gazlar temel kayalar içindeki kırıklardan yüzeye ulaşmışlardır.

*Wairakei* çevresindeki termal sahada üst kısımda 36 metrelik bölüm gevşek çakıl ve sünger taşlarından ibarettir. Bu kısım tahminen 600 m kalınlığında riyolitik tüfün üzerinde bulunur ki, onun da altında çok geniş bir sahaya yayılan ve kalınlığı tesbit edilemeyen ignimbitler yer almıştır. İgnimbitlerin içinde çok sıcak suyun ve en yüksek orandaki mağmatik buharın hasil ettiği hafif bir dom strüktürü meydana gelmiştir.

Temel kayaların içinde yarıklardan yükselen buhar, çöküntü hendeklerini dolduran geçirgen volkanik taşların arasından satha ulaşır. Yüzeğe yakın üstteki geçirgen kayaçlar, dolaşım yapan yeraltı suları ile doymuş hale geleceğinden bu yeraltı suları yükselen buhar ve gazlarla ısıtılır. Bunun bir sonucu, Kuzey Adasında en sıcak yöreler, kuzeydoğu yönünde uzanan kırıklar boyunda yer alır. Şayet geçirgen kayaçların 600 metresi dolaşım halindeki yeraltı suları ile dolmuş olarak kabul edilirse, altıyüzüncü metrede kaynama noktası, artan basınç sebebiyle 265 °C'ye yükselecektir. 3000 metrede ise tahminen 230 °C olacaktır. Kuyuların bir çoğunda dip kısımlarda sıcaklık, kaynama noktasını gösteren değerlerden biraz daha azdır. Sath yakınlarında ise bu değer çok daha düşüktür. Kuru buhar veren kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıklara dar zonlarda rastlanır ki, buna sebep geçirgen olmayan yataklarda meydana gelen sirkülasyondur. Muhelif derinlikte ölçülen sıcaklık ve ortalama buhar miktarı şöyledir:

m	C	Atmosferik basınçta buhar miktarı %
0	100°	0
39	150°	9
162	200°	19
300	230°	25
450	250°	30
540	260°	32
645	270°	34

İtalyada, Larderello yöresinde, geçirgen olmayan örtü altında saklanmış olan mağmatik buhar kurudur ve ekseriya aşırı ısınmıştır. Böyle

bir yerde kuyu açıldığı zaman, yalıtkan örtünün altına geçinceye kadar sıcaklık düşüktür. Yeni Zelanda'da, Wairakei'de ise, sıcaklık geçirgen tabakaların bulunduğu derinlikte kaynama noktasına yaklaşır. Antiklinal strüktür, petrol üretiminde olduğu gibi buhar elde edilmesinde de uygun bir örtü kayadır. Yeni Zelanda'da buhar istihsalı volkanik materyalin yüzeye yakın tabakalarından yapılmaktadır.

### BUHAR KUYULARININ AÇILMASI

Yüksek basınca ve sıcak zemine karşı sondaj yapılırken karşılaşılan problemler bir bakıma petrol endüstrisindeki benzer ve aynı tekniğin kullanılmasını gerektiren bir çok sorun ortaya çıkar. Kuyular, makkap şeklinde dönen tipteki aletler ile açılır. Basınç kontrolü sondaj çamurunun sirkülasyonu ile temin edilir ve çamur, sondaj esnasında çok ısınan makkabı biraz soğutmaya yardım eder. Hareket eden çamur kafi derecede yoğun olduğundan, makkabın yeri delerken kopardığı parçaları dışarıya taşır. Sondaj, ilk 15-30 metrelik kısmın kolay ve emniyet içinde olması için silindirik çelik bir tüp içinde yapılır. 25 cm çapındaki bu muhafaza buhar horizonunun üzerinde durur. Büyük buhar kuyuları açıldığı zaman, başlangıçta bunlardan 60-150 m ye yükselen su ve buhar, sonrada fazla miktarda taş parçaları çıkar. Döküntülerin tamamen boşalmasından sonra gürültüyü azaltmak için çıkış yerlerine birer susturucu takılır.

Yeni Zelanda'da Kuzey Adasındaki kuyulardan çıkan buharın içindeki gaz miktarı düşüktür. nadiren % 0,05'i aşar. Şüphesiz gaz miktarı kuyudan kuyuya değişir. Subuharı içindeki gazın en fazlasını, ortalama % 90 bir değerle CO<sub>2</sub> teşkil eder. Diğerleri ise az miktarda hidrojen, nitrojen, kü-kürtlü hidrojen, metan ve etandır. Kuyulardan çıkan sıcak su ise sodyum klorid, litium, flüorid, amonyum... ihtiva eder.

### KUZEY ADASININ KUVVET KAYNAKLARI

Wairakei yöresindeki jeotermal kaynakların tamamının değerlendirilmesi halinde 134.600 kilovat elektrik enerjisi elde edileceği tahmin edilmiştir. Bu tahmin, satha yakın geçirgen tabakalardan faydalanarak elde edilecek buhar ve sıcak suyun değerlendirilmesine dayanır. Şayet daha derin yerlerden kuru buhar elde edilmek istenirse, bu değer artacaktır. Yeni Zelanda'da Wairakei yöresi ile dier bölgeler arasında bir potansiyel mukayesesi yapıldığı taktirde oralardaki jeotermal enerji imkanları hesaplanabilir ve yeniden araştırma yapmağa pek lüzum kalmaz.

### AĞIR SU (D<sub>2</sub>O) ELDE EDİLMESİ İÇİN BUHARDAN YARARLANMA

*Deuterium* (ağır hidrojen), hidrojenin bir izotopudur ve atom ağırlığı normal hidrojenin iki katıdır. Normal hidrojenin 6700 kısmının içinde bir

miktar deuterium bulunması doğaldır. Deuteriumun simgesi D'dir. Deuteriumun su içindeki oksijen ile ağır suyu ( $D_2O$ ) meydana getirir. Ağır su, nükleer araştırmalarda nötronların hızını azaltmada kullanılır. Bütün sular içinde az miktarda "ağır su" vardır. Ancak, normal suyun 5400 kısmının içinde 1 kısım ağır su toplanabilir. Ağır suyun istihsalı, atomik pillere moderatör olarak özellikle kuvvet üreten istasyonlarda kullanıldığı için önemlidir.

Bir litre su 1018 gram, bir litre ağır su ise 1119 gram ağırlıktadır. Bu farktan dolayıdır ki ağır su adı verilmiştir. Ağır suyun kaynama noktası da farklı 101.42 °C dir. Jeotermal buharın fazlaca bulunduğu Wairakei çevresinde kolaylıkla ağır su elde etmek mümkündür. Bu gaye ile Wairakei'de bir fabrika yapılmıştır. Gaye, elektriğin oluşumu ile ilgisi olan ağır suyu istihsal etmektir, fakat sonradan bu tasarıdan vazgeçilerek tesisler elektrik gücü elde etmeğe hasredilmiştir 1954 de 170-960 m. derinliğinde 18 kuyudan 20.0000 kilovatlık elektrik gücü meydana getirebilecek kadar buhar elde edilmiştir. 1958 de ise 39 kuyudan 65.000 kilovatlık elektrik gücü elde edilmiştir. Wairakei yöresinde toplam olarak 88 kuyu açılmıştır. Bunlardan ticari gaye için ayrılan 58'inin kuvvet potansiyeli 226.000 kilovattır. 1961 de tesisler artırılmış ve yörede jeotermal enerjiden elde edilen güce 91.400 kilovatt daha eklenmiştir<sup>12</sup>.

Kuzey Adasındaki jeotermal enerjiden faydalanma imkânları, gelecekte Yeni Zelandanın gelişmesinde önemli rol oynayacağı şüphe götürmez. Bugün doğal kaynakların ancak bir kısmı işletilmektedir, geniş bir volkanik alan tamamen incelenmemiştir. İlerde bu sahaların da değerlendirilmesi ile üretim artacaktır.

## İSLANDADA JEOTERMAL ENERJİ VE FAYDALANMA

E. T. Allen ve A. L. Day'ın belirttikleri gibi, sıcak kaynaklar, mağmanın yer kabuğunun içindeki derin yarıklar arasından yükselerek tabakalar arasına yayılması sırasında, mağmadan ayrılan çok fazla ısınmış buharın satıhtan gelmiş olan yeraltı sularını ısıtmalarıyla ve onlara katılarak miktarlarını arttırmasıyla meydana gelir<sup>13</sup>. Böylece, yüzeyden sızmış ve taban sularını teşkil eden sular, mağmatik orijinli buhar ile ısınarak ve hacimleri artarak tekrar yeryüzüne ulaşırlar.

Sıcak kaynakların ve geyzerlerin İslanda'da geniş bir yayılım alanı vardır; fakat en tanınmışları başkent Reykjavik'in yakınında, adanın güneybatı kısmında yer alır. Geyzer, sıcak su kaynaklarının özel bir tipidir.

<sup>12</sup> The department of Scientific and Industrial Research. Wellington, New Zealand, April 13, 1961.

<sup>13</sup> E. T. Allen ve A. L. Day (1935) Hot Spring of The Yellowstone National Park. Carnegie Inst. of Washington Publ. 466.





Kaynayan su ve buhar sütun teşkil ederek fasıllarla püskürür. İslanda'da izah ve tariflere uyan 30 adet gerçek geyzer vardır. Ancak bunlardan çok azı tanıtılmıştır. Bu geyzerler, Yellowstone National Park'takilerle, sıcak su kaynaklarının % 10'unu teşkil eden 200 geyzerle mukayese edilebilir. Yeryüzünde geyzerlerin bulunduğu yerlerden biri de Yeni Zelanda'dır. İslandaya göre bir kaç tane fazla geyzer bulunmakla beraber içlerinden biri, 1890 dan 1902'ye kadar faal olan *Waimanga* dünyanın en büyük geyzeri olma şöhretini kazanmıştır.

Sıcak su kaynaklarının bu özel tipine *geyzer* adının verilmesine sebep, dünyaca tanınmış fişkırın bir sıcak su kaynağı olan İslandadaki *Big Geysir*'dir. İslanda dilinde "fişkırın" anlamına gelen bu kelime, 1647 de pis-kopoz Sveinsson tarafından bu kaynak için kullanılmıştır. Böylece, özel bir isim olan geysir kelimesi, İslandadaki bu tanınmış fişkırın sıcak su kaynağına verilen isimdir ve sadece burada kullanılmıştır. 1846 da Alman bilim adamı R. Bunsen *Big Geysir*'le ilgili çalışmalar yaptı ve fasıllı püskürmesini açıklamaya çalıştı. Tetkikleri sonunda, aralıklı olarak akış gösteren bütün sıcak su kaynakları için kullanılmak üzere bu kelimeyi bir teknik terim olarak teklif etti. Daha sonra "geysir" kelimesi İngilizce imlâsıyla "geyser" olarak literatüre geçti.

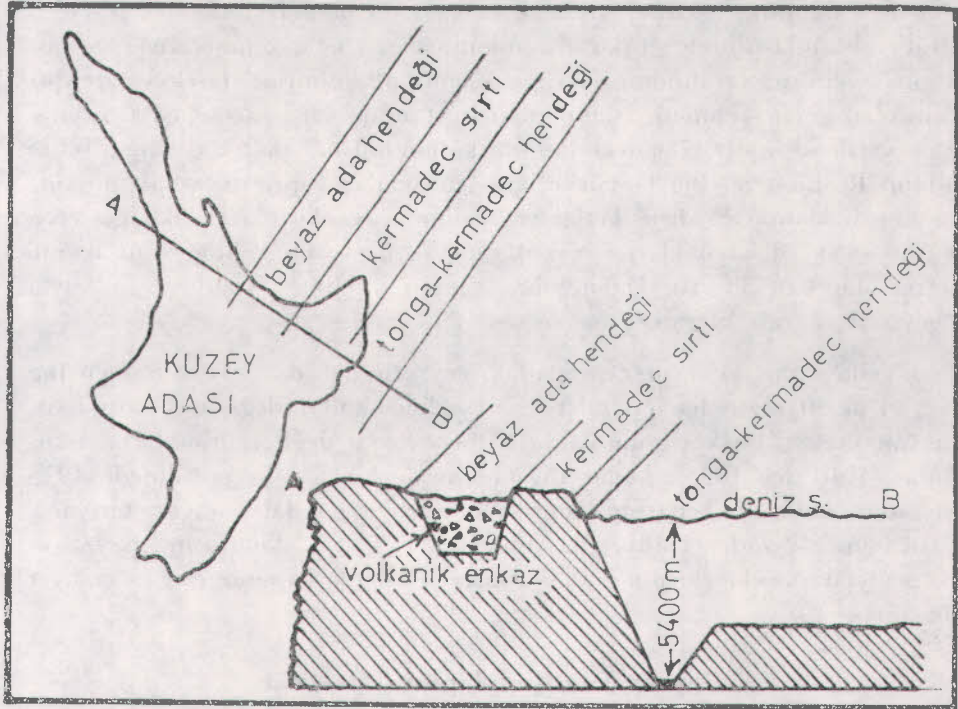
Yellowstone ve Yeni Zelandadaki geyzerlerden daha önce bilinen *Big Geysir*'in 30 metreden 60 metre yüksekliğe kadar değişen fişkirmaları, bir kaç saatten bir kaç güne ya da haftaya kadar değişen aralıklarla vukubulur. 1910 den 1935'e kadar *Big Geysir*'de bir faaliyet görülmedi. 1935 den sonra havzanın kenarında, su seviyesinden 90 cm daha aşağıda bir yarık hasıl olunca yeniden faaliyet başladı. Her ne kadar, daha sonra havzanın su seviyesi önceki durumuna ulaşmasıyla delik kapanmışsada faaliyet devam etmiştir.

### Geyzer Faaliyet Tipinin Özelliği

Geyzerlerin yanardağlarla müşterek bir takım özellikleri vardır. Ayrıca, en genç volkanik faaliyetin vuku bulduğu yerlerde görülürler. Geyzer tipi faaliyet, aralıklı püskürmeleri ve buharın oynadığı rol bakımından volkanik erüpsiyonlara çok benzerler. Bunun bir sonucu olarak *Big Geysir*'in püskürmesi bir volkanik erüpsiyonla mukayese edilmiştir<sup>14</sup>. Alman kimyacı R. Bunsen, yüz yıl hatta daha fazla bir zaman önce *Big Geysir* üzerine yaptığı çalışmalara dayanan bir teoriyi, geyzerlerin faaliyeti için genel bir izah olarak kabul edilmesini teklif etmiştir. R. Bunsen, geyzer tüpündeki basıncın fazlalaşmasıyla suyun kaynama noktasının da artmasını doğal olarak kabul etti. Bu taktirde geyzer tüpünün içindeki suyun büyük bir kısmı, yüzeydeki suyun kaynama noktasının üzerinde bir değerle ısıtılmış ola-

14 R. A. Sonder (1937) Zur Theorie und Klassifikation der eruptiven vulkanischen Vorgänge. Geol. Rundschau. cilt: 28, Sayfa: 499-459.

caktır, fakat basıncın artmış olması sebebiyle kaynama olmaz. Nihayet, tüp içindeki suyun bir kısmı basınç artmış olsa bile kayma noktasına ulaşır. Artık genişleyen buhar, su sütununun bir kısmını yukarıya fırlatacak kadar yeterli bir itiş gücüne sahip olmuştur. Bir bakıma bu olayda bir erüpsiyondur ve tüp boşalınca kadar devam eder. Sonra tekrar dolar ve olay aynı şekilde devam eder. Bazan, Yellowstone National Park'daki *Old Faithful* geyzerinde olduğu gibi, olay muntazam aralıklarla olur, fakat çoğunlukla püskürme aralıkları muntazam değildir.



kuzey adasının başlıca yapısal özelliklerini gösteren kesit(yeni zelanda) F.M.Bullard'dan  
( Harita : 8 )

Yukardaki izah, ders kitaplarındaki genel ve tanınan belirli bir tip dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak, bütün geyzerler aynı özellikleri göstermezler. Bu sebeple bir çok izah şekli vardır, fakat bunlardan İslandadaki geyzerler üzerine Th. Thorkelsson'un 1940 da yaptığı çalışma ve ileri sürdüğü fikir üzerinde durmağa değer<sup>15</sup>. Ona göre, mağmatik ve yeraltı suyundan ayrılan gazın geyzer tüpüne girmesiyle faaliyet ortamı hazırlanmağa başlar. Gaz yükseldikçe tüp ya da kanal içindeki suda hafif bir kaynama

15 Th. Thorkelsson (1940) On Thermal Activity in Iceland and Geyser Action. Isafoldarprentsmidja, Reykjavik.

olurki, bunun sonunda tüp içinde yukarı doğru bir sıcaklık akımı başlar ve suyun yoğunluğu da artar. Bu sırada sıcak su ile temas halinde olan gazlar buhar ile doymuş hale geçer. Daha sonrada geyzer faaliyeti başlar. F. W. Barth ise, İslandadaki bir geyzeri ele alarak faaliyet tarzını açıklamıştır<sup>16</sup>. Şöyle ki, geyzer içindeki su önce bir süre hafif kaynar, sonra kaynama şiddeti artar ve püskürme olur. Boşalan tüp yine hafifçe kaynayan suyla yeniden dolar ve olay yine tekrarlanır. Bu dönem tahminen bir saat kadar sürer. Fakat soğuk su geyzerlerinin varlığı, yukarıda açıklaması yapılan R. Bunsen'in teorisinin yeniden tetkikini gerektirir. Daha sonra F. W. Barth, Th. Thorkelson'un teorisini şu şekilde açıkladı: Geyzer hazinesi içinde gazın hareketi şiddetli bir kaynama hasil eder. Bu taktirde sıcaklık gaz kabarcıkları ile çabucak yukarı doğru taşınır ve kaynama aşağı doğru yayılır. Sonunda faaliyet meydana gelir ve gaz ile suyun büyük bir kısmı dışarı atılır. Bu olayı, bir maden suyu şişesinin açılmasıyla meydana gelen olaya benzetmek mümkündür. Görülüyor ki, geyzerler ve volkanlar arasında faaliyetin vuku buluş tarzı bakımından benzeşimler vardır. Her ikisinde de gaz önemli rol oynar ve erüpsiyonu meydana getiren esas unsurdur.

#### İSLANDADA JEOTERMAL ENERJİDEN FAYDALANMA

İslandalılar Reykjavik yakınlarındaki sıcak zeminden ve su kaynaklarından uzun zamandan beri faydalanmaktadırlar. Önceleri yemeklerini pişirmek için sıcak yerlerden ve banyo içinde sıcak sulardan faydalanmışlardır. XIX. Yüzyılın ortalarında kaynaklardan alınan sıcak sular, sığ kaplara konulmuş deniz suyunu buharlaştırarak tuz elde etmek için kullanılmıştır. İslandanın yıllık ortalama sıcaklığı 3 °C dir. Bu değer bir çok bitki türünün yetişmesi ve meyve vermesi için yetersizdir. Ancak sıcak su kaynakları civarında bitkilerin büyüme olanakları vardır. Bazan toprağın içinden borularla sıcak su dolaşımı yaptırılarak ılık yöreler, mikro klima alanları genişletilmiştir. Ayrıca, sıcak sulardan yararlanarak büyük seralar yapılmıştır. Buralarda hemen her türlü meyve ve sebze, hatta tropikal bitkiler, muz bile yetiştirilir.

1928 de civardaki kaynaklardan elde edilen sıcak su Reykjavik'e pompalanarak şehrin hastanesini, bir okulunu ve yüz havuzunu ısıtmak için kullanılmıştır. Sonuç çok başarılı olunca sistem genişletilerek bütün şehre tatbik edilmesine karar verildi. Bu taktirde büyük bir kaynağa ihtiyaç olduğundan Reykjavik'in 16 km doğusunda bulunan *Reykir*'deki bir kaynak bu iş için seçildi. Dakikada yaklaşık olarak 6000 lt su veren kaynağın sıcaklığı 80 °C idi. Suyun miktarını arttırmak gayesiyle, kuyunun derinliği 135 m den 360 metreye indirildi. Projenin uygulanmasına 1931 da başlandı, fakat II. Dünya Savaşının çıkması ile tamamlanmadan kaldı. 1943 de proje üzerindeki çalışmalara Danimarkalı mühendislerin kontrolünde yeni-

16 Tom F. W. Barth (1950) Volcanic Geology, Hot Spring and Geysers of Iceland. Cornegie Inst. of Washington Publ. 587, sayfa: 60.

den başlandı. Çapları 10 cm den 17,5 cm ye kadar olan bir çok kuyu açıldı. Kuyulardan çıkan suyun sıcaklığı 87 °C' dır. sath kaynaklarının ise 80 °C dir. 1943 yılının aralık ayında proje tamamlanarak şehrin evlerinin ısıtılmasına başlandı. Bugün 55.000 nüfuslu Reykjavik' deki evlerin % 90'ı belediyeye ait olan ve jeotermal enerjiden istifade edilerek kurulmuş sistem tarafından ısıtılmaktadır. Dağıtım esnasındaki başlıca problem, boru içindeki sıcak suyun sıcaklığının korunmasıdır. Kaynağın şehirden yaklaşık olarak 16 km uzakta bulunması ve üstelik 64 enlemi civarında yer alan adanın kış sıcaklıklarının düşük oluşu sebebiyle su çabuk soğur. Bu sebeplerden suyun sıcaklığının korunması önemli bir sorun olmuştur. Sıcaklığı en iyi muhafaza edebilen en uygun borular lav cürufu ve turbalardan yapılmış olanlardır. Şehir içinde kullanılan borular lav cürufundan yapılmıştır. Evlerdeki ise cam pamuğu ile örtülmüş üzerleri katranlı kâğıtla kaplanmıştır. Sıcaklık kaybı kuyuların çıkış yerinden evlerin içine kadar olan mesafede ortalama 5 °C kadardır<sup>17</sup>. Reykjavik şehrinin içinde açılan kuyuların su sıcaklıkları 138 °C nin üzerindedir ve tahminen saniyede 100 lt su verirler<sup>18</sup>. Halbuki Reykir'de kaynak ve kuyulardan çıkan sular 87 °C dir ve saniyede 320 lt su verirler.

Kuyulardan borularla çıkarılan sıcak sular, hemen kuyu yakınlarında bulunan ve izolasyonu çok iyi yapılmış olan su tanklarına nakledilir. Daha sonra bu tanklardan da, 25 cm.kalınlığında ve yalıtkan maddelerle muhafaza edilen borular yardımıyla şehirdeki büyük toplama tanklarına sevk edilir. Nihayet şehir içindeki tanklardan pompalanarak sevk edilir ve radyatörlerin dolayısıyla evlerin ısıtılmasında ve yüzme havuzlarında kullanılır. Bu şekilde elde edilen sıcak suyun fiatı, yakıt kullanmak suretiyle elde edileninkinden % 10 düşüktür. Üstelik bakım masrafları daha azdır. Tahmini bir değerle tesisat için yapılan masraf 30 milyon lira olmuştur. Yıllık kâr ise 1,5 milyon civarındadır.

Yine İslandada, *Sellfoss* kasabası Reykjaviktekinin benzeri olan belediyeye ait bir sıcak su sistemine sahiptir. İslanda'da evlerin ve seraların ısıtılması için doğal sıcaklıktan faydalanma bugün yaygın bir hale gelmiştir. 1960 da İslandada yaşayan nüfusun 1/4'ü doğal sıcaklıkla ısıtılmış evlerde yaşamakta idi. 1970'lerde ise bu değer 1/2'ye, belkide daha fazla bir orana yükseldiğini kabul etmek mübalağa olmaz.

## BİRLEŞİK AMERİKADA JEOTERMAL ENERJİ ALANLARI VE FAYDALANMA

Amerikadaki jeotermal enerji alanlarından önemlisi Kaliforniadadır. Buradaki sayısız hidrotermal yörenin en tanınanı ise *Cloverdale* kasabasının

17 F. Illingworth (1949) Iceland Municipal water system. Water and Water Engineering. Cilt: 52, Sayfa: 437-444.

18 G. Bovarsson (1960) Hot and the Exploitation of Natural Heat Resources. International Geological Congress, XXI Session, Guide to Excursion A-2, Sayfa: 46-55.

27 km doğusunda ve San Fransisko'nun 154 km kuzeyindeki *The Geysers* yöresidir (Harita: 7). Burası Pasifik kıyılarına paralel bir şekilde uzanan Kıyı Dağları (Coast Range) içinde yer alan *Mayacmas* dağ sırasının batı yamaçları üzerindedir. Bu dağ sırası içinde *St Helena* dağının doruğu (1303 m) en yüksek yeri teşkil eder. *Mayacmas* dağ sırası, kıvrımlı kırıklı bir yapıya sahip olup Jura yaşındaki Franciscan grubunun metamorfik kayalarından müteşekkildir. Temeli teşkil eden bu taşlar diabaz ve gabrolardan hasıl olmuş kumtaşları ve killerden ibarettir. Şimdi ise geniş ölçüde serpentine dönüşmüşlerdir. Bu muntukada Kretase yaşında kayalarda vardır, fakat senklinal saha içinde örtülmüşlerdir. Şüphesiz *Mayacmas* dağ sırasının ana yapısı volkaniktir. Yüksek doruklar, örneğin *St. Helena* lav ve tüflerden müteşekkildir. *Sonoma Grubu* adı verilen ve lav akıntıları, tüf, karasal konglomera, ayrıca Pliosen ve Pleistosen aluvial sedimentlerden müteşekkil olan seri, Franciscan kayalarının üzerinde yamalar halinde dağılmış bir şekilde bulunmaktadır. Buradaki ilk volkanik faaliyet sonucu lav akıntıları, arkasından da başlıca unsurlarını sünger taşlarının teşkil ettiği piroklastik materyalden meydana gelen malzeme çıkmıştır. Bu volkanik malzeme topluluğuna *Sonoma Grubu* adı verilmiştir. Daha açık bir anlatım ile şöyle izah etmek mümkündür: Volkan konilerinin teşekkülünden sonra aniden beliren akarsular yamaçları aşındırmışlar ve çevredeki yöre üzerinde volkanik materyalle ara tabakalı kumlardan müteşekkil bir seri meydana getirmişlerdir. İşte bu heterojen karışıma *Sonoma Grubu* adı verilmiştir.

### Bölgenin Yapısı

*Mayacmas* dağ sırası, daha genç Mezozoik sedimentlerinden meydana gelen komşu senklinaller arasındaki Franciscan kayalıklarının meydana getirdiği bir antiklinaldir. Bütün muntuka kuzeybatı istikametinde uzanan kırık sistemleri tarafından karışık bir şekilde parçlanmıştır ki, bu kırıklar yörenin drenajını ve topoğrafyasını etkiler ve onlara yön verir. Tersiyer sonunda başlayan kırılma ve ona bağlı hareketler günümüze kadar devam etmiştir. En son meydana gelen ve el'an gelişmekte olan kırık kuvvetli hareketlere sebep olmuştur. Arazinin güneybatı parçası kuzeydoğu bölümüne göre kuzeye doğru hareket etmiştir. Güneybatı kenar bir çok defa yükselmiştir. *Healdsburg* kasabasından geçip kuzeybatı istikametinde uzanan *Healdsburg Kırığı* boyunca 5000 km'lik çevresel bir yer değiştirme tesbit edilmiştir. Dikkate değer önemli bir husus ise, aynı tip bir hareket 1906 yılında San Francisco depreminde tanınmış *San Andreas* kırığı boyunca meydana geldi. *San Andreas*, batıda Pasifik kıyısı boyunca uzanan 48 km uzunluğunda bir kırıktır.

*The Geysers*, *Healdsburg* kırığının 112 km doğusunda kırıklı bir zon içinde yer almıştır. *The Geysers* ilçesinden geçen kırığı, *Mayacmas* dağlarının güneybatı yamaçları boyunca uzanan dar bir kanyon vadi içinde akan *Sulphur* deresi kateder. Buhar kuyularını ve sıcak su kaynaklarını

ihativa eden kuşak Franciscan kayalıklarına paraleldir. Mayacmas dağlarının batı kenarı 1862 den beri civa üretilen ilginç ve önemli bir yerdir. Franciscan kırık zonu boyunca civa sülfür yatakları bulunmuştur. Buradaki madenlerin çoğu gabro ve diabazların ufalanmasından hasil olan serpantinlerin hidrotermal yolla değişmesiyle ilgilidir.

The Geysers ilçesi ve çevresinde sıcak su kaynaklarının varlığı ancak 1846 da farkedildi ve 1852 de şehirde bir kaplıca yapıldı, fakat geyzersiz bir yöreye *The Geysers* adının verilmesi ilginçtir. Bugün şehir ve çevresi bir dinlenme yeridir. Fumarol ve sıcak su kaynakları yöresi *Geysers Creek* adı verilen akarsu ağzından tahminen 50 metre içerdedir ve bir yan dere olan *Sulphur Creek* ise ana akarsuya kuzeyden kavuşur. Sıcak kaynaklar genellikle dere yatakları boyunca uzanırlar. Burada en aktif yer 200 m<sup>2</sup> lik bir alan kaplar. En fazla hacimde buhar veren fumarol *The Smohestack*'dir; diğerleri ise *Steamboat* ve *Safety Valve*'dir. E. T. Allen ve A. L. Day tarafından 90 cm derinlikte kaydedilmiş sıcaklık *The Steamboat*'da 101,5 °C *Safety Valve* fumarolünde ise 98 °C'dir<sup>19</sup>.

Bu yörede ilk sondaj J. D. Grant tarafından buhardan faydalanarak elektrik elde etmek ümidiyle yapılmıştır ve 60 m derinlikte 3204 mm lik buhar basıncı tesbit edilmiştir. 1922 de açılan ikinci kuyuda 95 metrelik derinlikte ise basınç 3153 mm'dir. 1925'e kadar 8 kuyunun açılması tamamlanmıştır. Derinlikleri 100-200 m arasında değişmekteydi. Basınç derin kuyularda daha fazla olmakla beraber, bu fazlalık artan derinlikle aynı oranda olmamıştır. Basınç 3102 mm ile 14212 mm arasında değişmiştir. Her bir kuyudan 1000 kilovatlık elektrik elde edileceği tahmin olunmuştur. Aynı bölgede açılan diğer kuyular basıncın azalmasına sebep olmamıştır. E. T. Allen ve A. L. Day tarafından 45-120 cm derinlikte ölçülen yer sıcaklığı 98 °-99 °C olarak tesbit edilmiştir. Açılan iki kuyuda saptanan değerler ise şöyledir: 2 numaralı kuyuda 96 m. derinlikte kuyunun dip kısmında 168.6 °C, üst kısmında ise 165.6 °C'dir. 4 numaralı kuyuda 125 metre derinlikte dip kısmında 172.6 °C, üst kısımlarda ise 163.4 °C olarak tesbit edilmiştir.

### SU VE BUHARIN BİLEŞİMİ

The Geysers yöresinde su ve buhar serpantin kütlesi içinden geldiğinden fazla miktarda magnezyum ihtiva eder. İki kuyuda yapılan analizler sonucu gaz oranı şöyledir:

	Toplam	Diğer gazların % de oranı					
		H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> A	H <sub>2</sub> S
2 No lu Kuyuda	98.68	59.1	16.4	15.8	3.7	3.2	1.8
6 No lu Kuyuda	98.94	62.7	14.1	14.8	3.2	3.5	1.7
Bir fumarol	99.20	65.2	12.3	13.8	2.7	3.6	2.4

19 E. T. Allen ve A. L. Day (1927) *Steam Wells and Other Thermal Activity at the Geysers, California*. Carnegie Inst. of Washington Publ. 378.

Bu gazların diğer buharlardan ayrılan özellikleri, yüksek metan ve hidrojen ile ilişkisi ve CO<sub>2</sub> ihtiva etmesidir. Sıcak su kaynakları ve fumarollerin çevresindeki birikintilerde M. Vonsen tarafından tesbit edilen madenlerin bir kısmı magnezyum sülfat, amonyum, alüminyum ve demirdir<sup>20</sup>. E. T. Allen ve A. L. Day'ın da belirttikleri gibi, magmatik orijinli olan buhara yeraltı suyunun karışması olağandır. Magmatik orijinli olduğunun delilleri ise, volkanik gazların çıkışı, buharın çok sıcak oluşu ve ayrıca yeraltı suyunun desteğinin zayıf olmasıdır. The Geysers'de kuyulardan çıkan buharın sıcaklığı ve basıncı, Larderello'dakine eşit, hatta bazı hallerde ise daha fazladır. Ayrıca, gaz karışımı oranı düşüktür. Bu bakımdan kuvvet ithisali için uygun özelliğe sahiptir.

1955 yılında The Geysers'de 180 metre derinliğinde bir tecrübe kuyusu açılmıştır. Kayıtlara göre, kuyu kırık zonuna ulaşmıştır. Böylece buhar çıkan kırığın derinliğini ölçmek mümkün olmuştur. 180 m derinlikte temel kayaların sıcaklığı yaklaşık olarak 600 °C saptanmıştır. Başlangıçta kırık sistemi boyunca daha fazla bir derinliğe inildikçe sıcaklığın ve buhar miktarının aynı oranda artacağı sanılmıştır. Örneğin, Yeni Zelanda'da derine inildikçe aynı oran dahilinde sıcaklık da artmamıştır.

The geysers'de 30 yıldan ber doğal buhardan faydalanmak suretiyle elektrik üretilmektedir. Buhar ve sıcak su, aynı zamanda ısıtma ve yüzme havuzlarında da kullanılmaktadır.

## DÜNYADAKİ DOĞAL BUHAR VE SICAK SU KAYNAKLARININ BULUNDUĞU DİĞER ÜLKELER

Yeryüzündeki bütün doğal buhar kaynaklarının bulunduğu yerlerden ayrı ayrı bahsetmek mümkün olmamakla beraber, önemli ve literatüre geçmiş olanlardan kısaca bahsetmek yerinde olacaktır.

### Antil Adaları

Küçük Antillerdeki *Martinik* adasının güneyinde bulunan *St. Lucia* adasında jeotermal enerji ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Buharın sıcaklığı, yoğunlaşmış olanınkini aştığından, buharın magmatik orijinli olduğu tahmin ve kabul edilmiştir. Daha sonra yeni bir araştırma yapılmamıştır.

### Salvador

Bir Orta Amerika ülkesi olan Salvador'da ilk çalışmalar Milli Jeoloji Servisi adı verilen bir müessese tarafından yapılmıştır. Sıcak kaynaklar ve fumaroller için Salvador'un batısında bulunan *Ahuachapan* yakınları ümit verici bir yöre olarak dikkati çekmiştir. A. McBirney'in sath sıcaklığının

20 M. Vonsen (1946) Minerals at the Geysers, Sonoma County, California. California Jour. of Mines and Geology, Cilt: 42.

kaybı ile ilgili çalışmaları sonucu, yörenin enerji üretimi için gerekli imkân-  
lara sahip olduğu neticesini vermiştir<sup>21</sup>. Ayrıca, yüksek basınç ve sıcaklık-  
taki buharın ancak sondajla elde edilebileceği anlaşılmıştır.

### Nikaragua

Yine bir Orta Amerika ülkesi olan Nikaragua'da jeotermale enerjinin kaynakları olabilecek bir çok sıcak su kaynağı ve fumaroller vardır. En fazla dikkati çeken yöre *San Jacinto* volkanının kuzeydoğusunda, *Leon* şehrinin 29 km kuzeyindedir. San Jacinto volkanı o çevredeki bir grup volkan konisinden biridir. Bir diğeri de 16. yüzyılda İspanyol işgalinden beri zaman zaman faaliyet gösteren *Telica* volkanıdır. San Jacinto volkanı ise tarihi zamanlarda faaliyet göstermemiştir. Bu volkanın çevresinde dar biralan işgal eden fumarol yöresinde bir çok sıcak su kaynağı ve buhar kuyuları bulunmaktadır. Buradan bir kaç km kuzeydoğuda *Tisate* diye bilinen bir diğer volkanik yöre bulunur ki, bu sıralanış bir kırığın varlığının bariz bir delilidir. A. McBirney'in belirttiğine göre, buvolkanik yörelerdeki buhar magmatik orijinlidir ve enerji istihsalı için yeterli potansiyele sahiptir<sup>22</sup>.

### Japonya

Japonyada doğal buhardan elektrik üretme çalışmaları 1920 den beri yapılmaktadır. Jeotermal enerjiden faydalanılan yerlerden biri *Naruko* ve çevresidir. Sondajlarla açılan kuyuların derinliği 1000 metreye kadar varır.

### Sovyetler Birliği

Kamçatkada volkan topoğrafyasının bulunduğu yerlerde doğal kaynaklardan elektrik üretmek için tesisler kurulmuştur. Ayrıca, Hazar Gölü civarında, Kırım havzasında ve Urallar civarında doğal buhar yöreleri bulunmaktadır.

Fazla önemli olmamakla beraber Fransa, Meksika, Şili'de de doğal buhar alanları bulunmaktadır.

## TÜRKİYEDE JEOTERMAL ENERJİ ALANLARI

Daha öncede belirtildiği gibi, jeotermal enerji yatakları genellikle genç volkanik faaliyet alanlarında yeryüzüne daha yakındır. Bu itibarla erüpsiyon merkezlerinin çevrelerinde, yüzeye nisbeten yakın jeotermal yatak-

21 A. McBirney (1956) An appraisal of the Fumarolic Activity near Ahuachapan, El Salvador. Anales del Servicio Geologico de El Salvador, cilt: 2, sayfa: 19-32.

22 A. McBirney (1955) Chemical Aspects of the Fumarolic Activity in Nicaragua and El Salvador, Comunicaciones Instituto Tropical de Investigaciones Cientificas, Universidad de El Salvador, Cilt: 5, Sayfa: 95 - 101.



ların teşekkülü ve onlardan faydalanma imkânları daha fazladır. Türkiyede bugüne kadar yapılan araştırmalarda, doğal buhar ihtiva eden yatakların daha çok volkanik kayaların buldukları kırıklı alanlarda yer aldığı görülmüştür. Bu özellikleri dikkate alınarak Türkiyede jeotermal enerji yataklarının bulunabileceği bölgeleri belirtmek mümkündür. Önce, C. Erentöz ve Z. Ternek daha sonra da M. Çetinçelik tarafından Batı Anadolu, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır<sup>23</sup>. Ayrıca her bölgede Ege (Batı Anadolu), Ankara, Kayseri, Amanoslar (Orta Anadolu), Erzurum, Diyarbakır (Doğu Anadolu) şeklinde provenslere bölünmüştür. Gene yukardaki esaslardan hareket ederek coğrafi görüş içinde aşağıda belirtilen şekilde bir sınıflandırma yapmak mümkündür:

Batı Anadolu Bölgesi	: İzmir Yöresi (Balçova) Manisa Yöresi (Turgutlu) Denizli Yöresi (Kızıldere-Tekkeköy)
İç Anadolu Bölgesi	: Ankara Yöresi Kayseri Yöresi Nevşehir Yöresi (Kozaklı) Eskişehir Yöresi
Güney Anadolu Bölgesi	: Amanoslar Yöresi
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	: Diyarbakır Yöresi
Doğu Anadolu Bölgesi	: Erzurum Yöresi

(Harita) 9

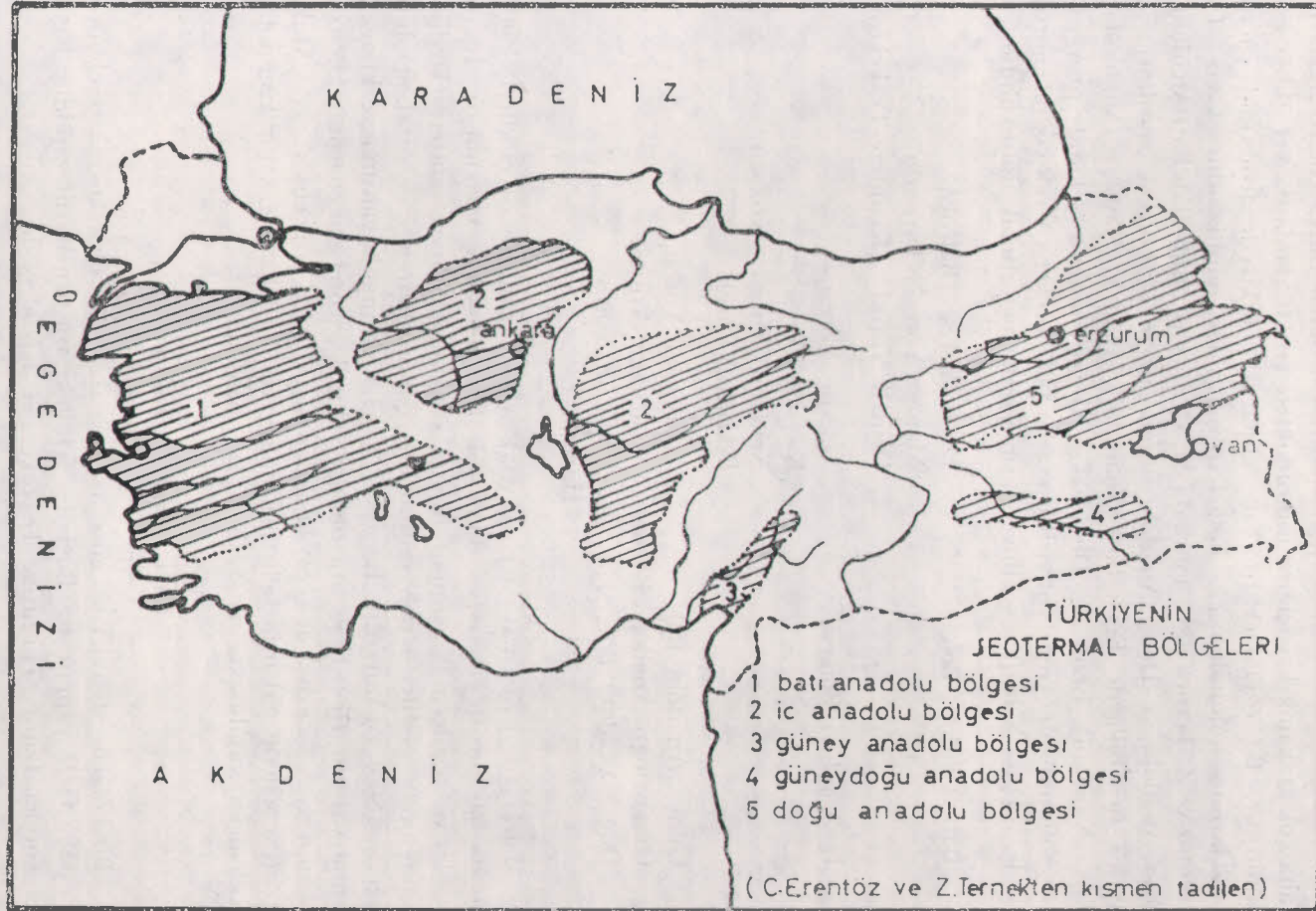
Türkiyede jeotermal enerji kaynaklarının araştırılması etüdleri 1965 yılında başlamıştır ve etüdler daha çok Ege Bölgesine yönelmiştir. İncelemeler ve tesislerin kurulması büyük yatırımlar ihtiyaç göstermektedir. Enerji üreten tesislerin tam randımanla çalışma süreleri ise ortalama bir değerle 15-20 yıl kadardır. Bir tesis % 92 randımanla çalıştığı ve kilovat başına yatırım 1650-1850 lira olduğu taktirde, jeotermal enerjinin kilovat saatinin 1, 5-2 kuruşa geleceği hesaplanmıştır (M. Çetinçelik s: 52). Mali külfeti sebebiyle yukarda belirtilen bölgelerin şimdilik ancak bir kısmında incelemeler yapılmakta ve tesisler kurulmaktadır.

### Batı Anadolu Bölgesi

Bu bölgede diğerlerine göre araştırmaların ve tesis kurma teşebbüsleri daha fazla yapılmıştır. Bu bölge içindeki araştırmaların yapıldığı başlıca yöreler İzmir, Turgutlu, Tekkeköy ve Kızıldere'dir.

23 C. Erentöz ve Z. Ternek (1968) Türkiyede Termomineral ve Jeotermik Enerji Etüdüleri. M. T. A. Dergisi Sayı: 70, Sayfa: 1-57, Ankara.

M. Çetinçelik (1970) Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermik Enerji Durumu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni. Cilt: XIII, Sayı: 1, Sayfa: 44-57, Ankara.



( Harita : 9 )

### İzmir Yöresi

Bu yöre içinde yer alan jeotermal enerji merkezi *Balçova*'dır. İzmir'in 12 km kadar batısında bulunan bu yer eski çağlarda *Agamemnon* olarak bilinir ve kaphıcaları ile tanınırdı<sup>24</sup>. Balçovanın da üzerinde yer aldığı kırık-tan çıkan üç kaynağın suları 65 °C - 75 °C dır. Burada 40-140 metreye varan sondajlar yapılmıştır. 1 numaralı sondajda 21,5 metre derinlikte subuharının sıcaklığının 110,5 °C, 40 metre derinlikte ise 124 °C olduğu saptanmıştır. Ayrıca, subuharının yüzeyde 5 m kadar yükseldiği, debisinin ise 0,5 lt/sn olduğu görülmüştür. 3 numaralı sondajda ise 140 metreden 1,25 lt/sn sıcak su elde edilmiştir<sup>25</sup>. Bu yöre içinde Cuma Ovası çevresinde de doğal buharın bulunabileceği tahmin ediliyor.

### Turgutlu Yöresi

Gediz çöküntü hendeğinin kuzeyinde, kırıklar üzerinde sıcaklıkları 38 °C - 83 °C olan bir çok sıcak su kaynağı bulunmaktadır<sup>26</sup>. Burada sondaj yapıldığı takdirde enerji üretecek doğal buharın elde edileceği sanılmaktadır.

### Tekkeköy-Kızıldere Yöresi (Denizli)

Denizli ilinin kuzeybatısındaki Sarayköy ilçesinin 10-15 km batısında yer alan Tekkeköy ve Kızıldere yöresi, jeotermal enerji bakımından en fazla ümit veren yerlerdir. Yapılan sondaj çalışmaları sonunda, Büyük Menderes çöküntü hendeğinin kuzeyinde yer alan Kızıldere'de elde edilen doğal buhar bir santral işletecek kapasitededir. Yapılan 15 sondajdan birinde, 450 metre derinlikte olanda, yüksek basınçlı doğal buhar yatağı tesbit edilmiştir ve satıla ulaşan buhar 5-50 m fişirmiştir<sup>25</sup>. Grabenin kenarlarında kırıklar üzerinde bulunan kaynak suları 90 ° - 100 °C'dir.

### İç Anadolu Bölgesi

Bu bölgede jeotermal enerji araştırmaları henüz tetkik safhasında bulunmaktadır. Bu bölge içinde dört araştırma yöresi bulunmaktadır, Ankara, Kayseri, Nevşehir ve Eskişehir. Ancak, bunlardan bir kısmında araştırmalar yapılmaktadır.

### Nevşehir Yöresi

Etüdlerin yapıldığı yörelerden biri Kozaklıdır<sup>27</sup>. Burada vadi içinde yuzden fazla kaynak bulunmaktadır. Sularının sıcaklıkları 80 °C - 100 °C'

24 R. İzbirak (1972) Türkiye 1. Milli Eğitim Bakanlığı Kültür Yayınları. Sayfa: 108, İstanbul.

25 K. Erguvanlı ve E. Yüzer (1973) Yeraltusuları Jeolojisi. İst. Teknik Üniv. Kütüphanesi, Sayı: 967, Sayfa: 279, İstanbul.

26 S. Ürgün (1964) Gönen-Ekşidere, İlhaoba Termomineral Etüdü. M. T. A. Rap. No: 3636, Ankara.

27 W. Niehoff (1965) Kozaklı bölgesindeki jeotermik etüdlerin devamına ait teklifler. M. T. A. Rap. No. 3608, Ankara.

dır. Sondajlarla buhar yataklarını bulma imkânlarının mevcut olduğu sanılmaktadır.

### Eskişehir Yöresi

Buradaki çalışmalarda henüz araştırma safhasındadır. Alüvyonların kırıklı yapıyı örttüğü ovada, bazan yüzeye ulaşan sıcak su kaynakları vardır. Ovadaki kalınlığı 100 m. saptanan alüvyonların içinde yüzeyden 7-8 metre derinde sıcak su bulunmaktadır. Buralarda açılan kuyulardan pompalarla evlere ve hamamlara sıcak su temin edilir. Kırıklardan yükselip alüvyonların içini dolduran sıcak su, taban suyu ile karışınca ılıdır. Bu sebepten suyun sıcaklığı 20 °C ile 60 °C arasında değişir. Burada yapılan sondajlarla 120 m derinliğe kadar inilmiştir. Henüz jeotermal enerjiden faydalanmak gayesiyle detay etüdler yapılmamıştır. Ancak, alüvyal örtünün altında, kırıklı yapıya inilecek derin sondajların yapılması halinde jeotermal enerjiden faydalanma olanaklarının doğacağı sanılmaktadır.

Ankara ve Kayseri yörelerinde jeotermal enerji etüdlere henüz başlanmamıştır.

Doğu, Güney, Güneydoğu, Anadolu da bu konuda araştırmalar yapılmamıştır. Bu bölgelerde kırık sistemleri üzerinde yer alan sıcak su kaynakları yakınlarında yapılacak sondajlarla mağmatik buharın elde edilmesi mümkündür.

### BİBLİYOGRAFYA

- Bullard, F. M.** (1962) *Volcanoes. In History, In Theory, In Eruption.* University of Texas Press, Austin.
- Çağlar, K. Ö.** (1947) *Türkiye maden suları ve kaplıcaları.* M. T. A. yay., Seri: B, No. 11, Fas. 1, Ankara.
- Çetinçelik, M.** (1969) *Türkiyede Jeotermal enerjiden faydalanma imkânları.* Türkiye II. Bilim Kongresi Tebliği, Ankara.
- Erentöz, C. ve Ternek, Z.** (1968) *Türkiyede termomineral Kaynaklar ve Jeotermal enerji etüdlere.* M. T. A. Enst. Dergisi, No. 70, Ankara.
- Erinç, S.** (1968) *Jeomorfoloji I* (Genişletilmiş 2. baskı). İst. Üniv. Yay. No. 789, Coğ. Enst., Yay., No. 23, İstanbul.
- Facca, G., Tonani, F.** (1964) *Theory and Technology of a Geothermal field.* Report, Napoli-İtalya.
- Grange, L. I.** (1955) *Geothermal Steam for power in New Zealand,* Bulletin 117.
- Kalakoğlu, S.** (1968) *Jeotermik enerji kaynağı jeotermal akiferler hakkında yeni bir görüş. Sarayköy sahası için uygulama.* Türkiye II. Enerji Kongresi Tebliği, Ankara.

- Ketin, İ.** (1961) *Türkiye'de mağmatik faaliyet.* T. J. K. Bült., Sayı:2, cilt:VII.
- İzbirak, R.** (1972) *Türkiye I. Milli Eğitim Bakanlığı Kültür Yayınları.* İstanbul.
- Pınar, N.** (1948) *Ege Bölgesinin tektoniği, sıcak su ve made suyu kaynakları.* İst. Üniv. Fen Fak. Monogr. No. 12.
- Rittmann, A.** (1960) *Volcanoes and Their Activity.* Ferd. Enke, Stuttgart.
- Uysallı, H.** (1967) *Tekke-Kızıldere (Denizli-Sarayköy) sıcak su sahalarının jeolojik etüdü ve jeotermik enerji imkanları.* M. T. A. Rap., No. 3874, Ankara.

