

# İzmit ve Düzce Depremlerinde Jeotermal Değişimler



*Yurdumuzda fay zonlarında yoğunlaşmış durumda çok sayıda sıcak ve mineralli su kaynağı bulunuyor. Bunların ortaya çıkış ve akış düzenleri, içlerindeki mineral ve yanıcı gazların miktarı, deprem öncesi ve sonrasında değişiklikler gösteriyor. Depremlerin olduğu derinliklerin yakınlarından kaynaklanan bu suların düzenli biçimde gözlenmesi, bir erken uyarı sistemi oluşturulmasını sağlayabilir.*

**A**LP-HİMALAYA tektonik kuşağı üzerinde yer alan Türkiye’de, son 100 yıl içinde meydana gelen 80 büyük depremde yaklaşık 80 000 kişi hayatını kaybetmiştir. En son olarak 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde 7.4 ve 7.2 büyüklüğünde oluşan depremler 1200 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fayının Doğu Marmara bölümünde yer almıştır (Şekil 1). Odak derinliği 9-14 km olan depremlerle oluşan kırıklarda maksimum 5.30 m’ye varan doğrultu atım ve 3.00 m’ye varan düşey atım ölçülmüştür (MTA, 1999). Her iki depremdeki yüzey kırıklarının toplam uzunluğu 220 km dir. 17 Ağustos depremi İzmit-Gölcük-Yalova -Adapazarı ve Düzce’de 17 387 can kaybı, 12 Kasım 1999 depremi ise Düzce ve Bolu’da 839 can kaybı ve ağır hasara neden olmuştur (Şekil 2).

Afrika plakasının kuzeye hareketi ile sıkışan Anadolu plakası, sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı ve sol yönlü Doğu Anadolu Fayı boyunca batıya doğru hareket etmektedir. Yapılan ölçümlere göre, Anadolu plakası yılda 22 mm hızla batıya doğru hareket etmektedir (Straub and Kah-

le, 1997). Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve Anadolu plakasının batıdaki yükselmesi ve genişlemesi ile oluşan graben bölgeleri Türkiye’de 1. Derece Deprem kuşaklarıdır.

Türkiye’de deprem kuşakları üzerinde sıcaklıkları 20-101°C arasında 1500 dolayında kaynak ve sıcaklıkları 30-242°C arasında değişen 400 kuyudan sıcak ve mineralli su çıkışı mevcuttur. Türkiye’deki bu jeotermal kaynaklar başlıca Kuzey Anadolu Fay hattında, Batı Anadolu grabenler sistemi üzerinde, Orta ve Doğu Anadolu’daki volkanik bölgelerde ve yoğun tektonik zonlarda yer almaktadır (Şimşek 1997, Pfister vd. 1998).



*Yalova Termal’de, yeni sıcaksu çıkışı olan Ilıca Deresi’nin görünümü.*

17 Ağustos 1999 depreminin olduğu Adapazarı, İzmit ve Yalova hatlarında Yalova termal ve Sakarya-Akyazı Kuzuluk’ta ve 12 Kasım 1999 Düzce depremi ile Efteni ve Bolu Küçükkaplıca jeotermal alanlarındaki kaynak ve kuyularında bazı değişiklikler gözlenmiştir (Şekil 2). Benzer değişikliklerin 13 Mart 1992 Erzincan depreminde bölgede yeralan sıcak ve mineralli su kaynaklarında da olduğu bilinmektedir (Yıldırım, 1992).

Dünyada depremlerin önceden tahmin edilmesi amacıyla yer kabuğunun derinliklerinden gelen termal sular ve gaz çıkışları özellikle Çin ve Japonya’da gözlem altında tutulmaktadır. Ayrıca, aktif volkanların yer aldığı İtalya, Japonya ve Hawaii’de volkanlardaki gaz çıkışlarından volkanların püskürme zamanları belirlenebilmektedir.

## Depremlerle İlgili Jeotermal Kaynaklarda Yapılan Gözlem ve Ölçümler

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde bazı jeotermal kaynak ve kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiştir. Bu değişiklikler; bulanıklık, koku, tat, renk, sıcaklık, basınç, debi, yeni kaynak oluşumu ve kimyasal değişimlerdir (Tablo 1).



Şekil 1: Türkiye’de genç tektonik hatlar, sıcak ve mineralli su (maden suyu) kaynaklarının dağılımı

## 17 Ağustos 1999 Depremi İle İlgili Değişimler

**Yalova Termal Su Kaynakları:** Yalovanın 10 km güney batısında yer alan termal su kaynakları Atatürk’ün emriyle koruma altında olup bugüne kadar burada herhangi bir kuyu açılmamıştır. Dere içinde kaptaj altına alınan kaynakların sıcaklığı 64.5 °C ve debisi 13 lt/sn’ dir. Ayrıca dere içinde sızıntı ve küçük debili kaynaklar da mevcuttur. Termal kaynaklar tarihsel çağlardan beri kaplıçalarda kullanılmaktadır. 18 Eylül 1963 yılında 6.2 büyüklükte oluşan Çınarcık depreminde kaynak debileri önemli ölçüde azalmıştır. 17 Ağustos 1999 depreminden 15 gün önce 2 Ağustos 1999’da termal su kaynaklarının yer aldığı fay zonunda mevcut bir kırıktan, sıcaklığı aynı olan 1lt/sn debili ilave bir kaynak çıkmıştır. Dolayısıyla sahadaki toplam debi artmıştır. Halen bu yeni kaynakta-ki çıkış devam etmektedir.

**Sakarya-Akyazı Kuzuluk Sahası :** Kuzuluk sahası Dokurcun segmenti üzerinde olup sahada 79 °C sıcaklıklı (kuyu çıkış sıcaklığı) kaynaklar mevcuttur. Sahada kurulan termal tesislere su sağlanması ve ısıtılması için 180-320 m derinliğindeki 5 kuyudan üretim yapılmaktadır. Önceleri sahada mevcut kaynakların, kuyulardan akışkan üretimi yapılması sonucu bugün debileri

azalmış ve bir bölümü ise kaybolmuştur. 17 Ağustos depremi ile birlikte kuyulardan gelen suda bulanma olmuştur. Ayrıca, sıcaklık önce 79 °C’den 80 °C’ye yükselmiş, 2 hafta sonra 77 °C’ye düşmüş daha sonra yeniden 79 °C’ye gelmiştir. Kuyularda 0.8 bar olan basınçta 1 barlık artış ölçülmüş ve kuyu başı basınçları 1.8 bara yükselmiştir (A. Gülgör sözlü görüşme).

## 12 Kasım 1999 Depremi İle İlgili Değişimler

**Düzce-Efteni Kaynakları:** Efteni kaplıcası, Düzce ilçesinin 10 km güney batısında Düzce fayı üzerinde yer almaktadır. Kaynağın sıcaklığı 42.3 °C ve debisi 3.5 lt/sn’dir. Depremden 1 gün önce, kaplıcada doğrudan kullanılmakta olan kaynak suyunda bulanıklık ve debi artışı gözlenmiştir. Depremden sonra ise, doğuda kaynaklarla aynı

fay üzerinde yer alan Eften gölünün güney kenarında sıcaklığı 25 °C olan yeni bir ılık kaynak çıkışı saptanmıştır. Kaynakta yoğun karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve göl tabanındaki genç çökeller ve bataklik içinde birikmiş olan organik kökenli metan (CH<sub>4</sub>) gazı çıkışı görülmüş ve kaynak suyunun üzeri metan gazı çıkışı nedeniyle 1 hafta süre ile yanmıştır. Efteni kaynağında depremden 1 hafta sonra bulanıklık kaybolmuş ve debi eski düzeyine gelmiştir.

**Bolu Küçük Kaplıca:** Bolu’nun 10 km güney batısında yer alan kaplıca yöresinde açılmış üç adet kuyudan 43.7 °C sıcaklığında ve 30 lt/sn debide üretim yapılmaktadır. Termal sular mevcut tesislerde sağlık amacıyla kullanılmaktadır. Depremle birlikte önce debi azalması daha sonra artışı olmuştur. Daha önce artezyen yapmayan bir kuyuda artezyen akışı başlamıştır.



Yalova Termal’de, Ilıca Deresi’ndeki yeni kaynak çıkışının görünümü.

## Diğer Sahalardaki Değişimler

Deprem oluşturan kırıklar üzerinde ve yakınında yer alan ve yukarıda değişiklik gösterdiği belirtilen kaynaklar dışında, Bolu-Mudurnu’daki kaplıca sularında (40°C) 17 Ağustos 1999 daki depremlerle birlikte iki gün süreyle bulanıklık ve debi artışı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, Bursa- Armutlu kaplıcalarındaki 75°C termal su üretilen ve



Düzce-Efteni kaplıca kaynağının üzerinde yer aldığı fay hattında gelişen deprem kırığı (Düşey atım yaklaşık 65 cm.) ve yeni oluşan sıcak su çıkışları (Sarımsı kahverenkli)

12 Kasım 1999 dan önce su seviyesinin kuyu ağzından aşağıda olduğu A-2 nolu kuyuda su seviyesinin yükselerek artezyen akışına geçtiği öğrenilmiştir.

Kuzey Anadolu Fayının doğu bölümünde 13 Mart 1992'de Erzincan'da meydana gelen deprem 6.8 büyüklüğünde olup 600 can kaybına neden olmuştur. Kaynaklar ve kuyulardan 31°C sıcaklığında 6 lt/sn debide akışkan üretilmektedir. Erzincan'daki sıcak ve mineralli su kaynakları, hem termal amaçlı hem de şişelenerek maden suyu olarak kullanılmaktadır.

Depremden 1 hafta önce jeotermal sularda bulanıklık, koku ve tatta farklılıklar olduğu bildirilmiştir. Su kimyasında ise, deprem öncesi ve sonrası arasında önemli farklılıklar oluşmuştur (Yıldırım, 1992). Deprem sonrası EC, Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> değerlerinde önemli artışlar belirlenmiştir (Tablo1).

## Sonuçlar ve Öneriler

Türkiye'de 17 Ağustos-12 Kasım 1999 ve 13 Mart 1992'de meydana gelen depremlerde jeotermal kaynak ve kuyulardaki gözlemlere göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Sıcak ve mineralli su kaynakları genellikle derin dolaşimleri nedeniyle oluşabilecek bir depremin önceden belirlenmesi için diğer verilerle birlikte dikkate alınması gerekli önemli parametrelerden biridir. Deprem kuşağındaki Çin ve Japonya gibi birçok ülkede bu kaynaklardaki değişimler ya-

kından takip edilmektedir.

2. Sıcak ve mineralli su kaynakları ve kuyularda çıkan sularda deprem öncesi, sırasında ve sonrasında değişiklikler oluşabilmektedir. Bu değişiklikler bulanıklık, koku, renk, tat, sıcaklık, debi değişimleri, yeni kaynak oluşumları ve kimyasal olarak iyon ve gaz değişimleri şeklinde görülebilmektedir.

3. Yeraltısuyu bileşimlerindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı ile maksimum değerine ulaştığı, sonra zamanla normale döndükleri görülmektedir. Deprem öncesi, depremle birlikte ve deprem sonrası yeni kaynak oluşumları veya mevcut kaynakların kaybolması da olağandır.

4. Sıcak ve mineralli su kaynaklarındaki değişimlerden depremin önceden belirlenebilmesi amacıyla sağlıklı olarak kullanılabilmesi için, bu kaynak bölgelerinin ayrıntılı jeolojisi ve hidrojeolojisinin bilinmesi gereklidir.

5. Jeotermal suların kimyasal analizlerine göre yapılan jeotermometre hesaplamaları sonucu Yalova ve Kuzuluk jeotermal sahasında yaklaşık 100°C rezervuar sıcaklığı olduğu tahmin edilmektedir. Buna göre; bu bölgede yer alan jeotermal suların dolaşım derinliği en az 3 km dir. Türkiye'deki bazı jeotermal alanlarda 242 °C ye varan rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu alanlardaki jeotermal suların dolaşım derinliklerinin yaklaşık 8 km'ye ulaşabileceği hesaplanmıştır. Deprem öncesi, öncü hareketlenme

Tablo 1. Deprem bölgelerindeki jeotermal sahalarda yapılan gözlem ve ölçümler							
TARİH	SAHALAR	GOZLEMLER	BULANIKLIK KOKU RENK TAT	SICAKLIK °C	YENI KAYNAK ÇIKIŞI	DEBI ARTIŞI	AÇIKLAMA
17 AĞUSTOS 1999	* TERMAL YALOVA	1	+	64,5	+	≈ 1 lt/sn	2 Ağustos 1999 da yeni bir sıcak su kaynağı çıkmıştır. Toplam debi artmıştır.
		2	+	64,5	+	≈ 1 lt/sn	
		3	-	64,5	+	≈ 1 lt/sn	
17 AĞUSTOS 1999	** KLIZILIK AKYAZI SAKARYA	1	-	79			Kuyularda debi ve sıcaklık değişimi gözlemlenmiştir.
		2	+	77-78		+ 1 bar basınç artışı	
		3	-	79			
12 KASIM 1999	* EFTENI DÜZCE	1	+ bir gün önce	42,3		3,5 lt/sn	Göl kısmında tük kaynak çıkmıştır. Metan gazı ve CO <sub>2</sub> çıkışı gözlemlenmiştir. Bir hafta süreyle yanına gözlemlenmiştir.
		2	+	42,3	+ 25 °C ilk kaynak	≈ 4,0 lt/sn	
		3	-	42,3	+ 25 °C tük kaynak	3,5 lt/sn	
12 KASIM 1999	** K. KAPLICA BOLU	1	-	43,7			Depremle birlikte önce debi azalmış daha sonra artış olmuştur (Kuyuda artezyen başlamıştır).
		2	-	44,0			
		3	-	44,0		+	
13 MART 1992	* ERZINCAN	1	+	31		+	EC g/lt 1999 84 82 33 378 82 1990 128 197 53 1220 182 mg/l
		2	+	31		+	
		3	-	31		-	

\*: Kaynak \*\*: Kuyu + değişiklik var - normal ~~~~~ Deprem

Yıldırım 1992, Yıldırım 1998, Şenpek 1999

1- Deprem Öncesi 2- Deprem Sonrası 3- Bir hafta sonrası





**Şekil 2: Doğu Marmara Bölgesinin aktif fayları ve sıcak su kaynaklarının dağılımı haritası. Doğu Marmara bölgesinin aktif fayları ve 17 Ağustos 1999 ile 12 Kasım 1999 depremlerinin yüzey kırıkları. MTA-Emre ve diğerleri (1999)'nden değiştirilerek alınmıştır. Açıklamalar. Kuzey Anadolu Fay Zonu: 1. Abant Segmenti, 2. Dokurcan Segmenti, 3. İzmit-Adapazarı Segmenti, 4. Çınarcık Segmenti, 5. Geyve-İznik Segmenti, 6. Gemlik Segmenti, 7. Zeytinbağı Segmenti, 8. Düzce Fayı, 9. Hendek Fayı, 10. Ulubat Fayı, 11. Bursa Fayı, 12. Eskişehir-Bursa Fay Zonu**

ile daha derinlerden gaz ve akışkan katılımı olabilmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonundaki deprem odak derinlikleri ortalama 9-14 km arasında olmuştur. Dolayısıyla, jeotermal kaynaklardaki ( sıcak su, buhar ve gazlar ) kimyasal değişimler izlenebildiği takdirde deprem öncesi erken uyarı amacıyla önemli bilgiler edinilmiş olacaktır. Bu nedenle, sıcak ve mineralli su kaynakları ile soğuk yeraltısularının seviye ve kalite değişimleri gözlenmeli ve özellikle toprak ve sulara Rn, Hg, He, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> vd. gazların değişimleri izlenmelidir.

6. Jeotermal sularda köken ve karışımının belirlenmesi amacıyla izotop

ölçümleri yapılmalıdır. Bu konuda, Doğu Marmara Deprem Bölgesi ile ilgili olarak Hacettepe Üniversitesi-UKAM ve IAEA ( Uluslararası Atom Enerji Ajansı ) ortak projesi başlatılmıştır.

7. Fay hatları boyunca derin dolaşım sıcak ve mineralli suların izlenmesi de dahil olmak üzere Deprem Erken Uyarı Sistemleri kurulmalıdır. Deprem uyarı sistemleri ile ilgili yeni gelişmeler izlenerek finans , cihaz ve eğitim açısından uluslararası işbirliği olanakları araştırılmalıdır.

8. Jeotermal suların izlenmesi ile ilgili ölçüm cihazlarının hassas ve gözlem personelinin eğitimi olması gereklidir. Değişimlerin yanlış yorumlara

ve paniğe neden olmaması için ölçülerin sağlıklı alınıp alınmadığının ve diğer etkilerle (saha yakınında yol ve taş ocaklarındaki patlatmalar, yoğun yağış, sellenme, baraj yapımı gibi) ilgisi olup olmadığının araştırılması ve değerlendirilmelerine buna göre yapılması gereklidir.

9. Türkiye'de bilinen bütün sıcak ve mineralli sularla ilgili kayıtlar, analizler ve envanterler Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) bulunmaktadır. Bu nedenle sıcak ve mineralli sulardaki değişimlerle ilgili olabilecek ihbarların kısa sürede karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmesi için MTA'nın yurt çapındaki Bölge Müdürlükleri aracılığıyla veya doğrudan MTA Genel Müdürlüğü'ne yapılması sağlanmalıdır.

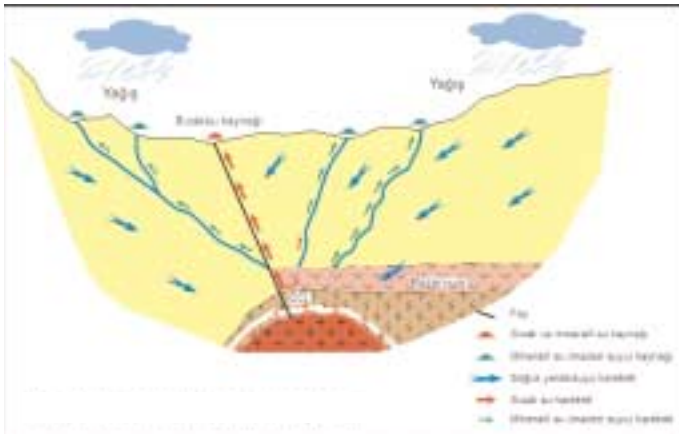
Şakir Şimşek

Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)

Nazım Yıldırım

MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammede Etüt ve Arama Dairesi

Kaynaklar  
 Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Ankara.  
 Eisenlohr, T., 1997. The thermal springs of the Amrutlu peninsula (NW Turkey) and their relationship to geology and tectonic. Active Tectonics of Northwestern Anatolia, The Marmara Poly-Project, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. ISBN 3-7281-2425-7 pp 197-229. Switzerland.  
 MTA, 1999. 12 Kasım Düzce Depremi Saha Gözlemleri ve Ön Değerlendirme Raporu, Ankara.  
 Pfister, M., Rybach, L. and Şimşek, Ş., 1998. Geothermal Reconnaissance of the Marmara Sea Region (NW-Turkey); Surface Heat Flow Density in an Area of Active Continental Extension, Tectonophysics, 291, 1998, p. 77-89, The Netherlands.  
 Straub, C. and Kahle, N.G., 1997. Recent crustal deformation and strain accumulation in the Marmara Sea region, NW Anatolia, inferred from repeated GPS measurements. Active Tectonics of Northwestern Anatolia - The Marmara Poly-Project, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. ISBN 3-7281-2425-7, p 417-47, Switzerland.  
 Şimşek, Ş., 1997. Geothermal Potential of Northwestern Turkey, Active Tectonics of Northwestern Anatolia, The Marmara Poly-Project, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. ISBN 3-7281-2425-7, p 111-124, Switzerland.  
 Yıldırım, N., 1992. 13 Mart 1992, Erzincan depreminde lokal yeraltısularında meydana gelen değişiklikler. Doğu Anadolu Ulusal Deprem Sempozyumu, 21-25 Ekim 1992, Erzincan.



**Şekil 3. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının oluşumu (üstte) 12 Kasım 1999 depremi sonucu Eften Gölü kıyısında oluşan ılık kaynaktaki (25°C) bol karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve metan (CH<sub>4</sub>) gazı çıkışı (sağda).**

