

DEPREMLERİN ÖNCE DEN TAHMİNİ MÜMKÜN MÜ?

"Olağandışı Olaylar"

Deprem, diğer doğa olaylarıyla karşılaştırıldığında, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çok büyük yıkıcı etkisi nedeniyle afet haline dönüşen, dolayısıyla insanoğlunun, karşılaştığı en şiddetli doğa olayıdır. Bu nedenle, depremlerin önceden tahmini, her zaman toplum tarafından talep edilen bir olgu olmuştur.

Deprem öncesinde, sırasın-
da ve sonrasında pek çok
olağandışı olayların mey-
dana geldiğine ilişkin gözlemlerin
varlığı uzun süreden beri bilin-
mektedir. Hayvanların olağandışı
davranışları, deprem (yer) ışıkları,
yerden değişik gazların çıkışı ve
yercaltısını seviyesinin değişimi,
yerçekimi, jeomanyetik alan ve
elektrik potansiyelindeki değişim-
ler olağandışı olaylarla ilişkilidir.
Depremlerin önceden tahmininin
toplumsal boyutundan dolayı
günümüze değin, olağandışı olay-
lar, depremlerin habercileri olarak
değerlendirilmeye çalışılmıştır.
1970'li yıllarda depremlerin önce-
den tahmini ile ilgili çalışmalar
Japonya, Çin, SSCB ve ABD'de
çok büyük ivme kazanmıştır. Tah-
min, ya da öngörü belirli göster-
gelerden hareketle bir olayın gele-
cekteki meydana gelebilme olasılı-
ğı hakkında mantık yürütme
olarak tanımlanabilir. Bu kavram,
deprem açısından ele alındığında,
bir depremin öncül işaretlerine
göre; depremin yeri, zamanı ve
büyüklüğü hakkında tahminde bu-
lunulmasıdır. Ancak burada önem-
li olan, bu öngörünün ne denli
güvenilir, ya da gerçeğe yakın
olduğudur. Özellikle yer ve zaman

konusunda kesinlik içermeyen ve
gerçekleşmeyen öngörüler, önemli
sosyolojik ve ekonomik olumsuz-
luklara neden olmaktadır. Örne-
ğin, 1975'te Çin'de meydana gelen
Haicheng Depremi'nin önceden
tahmin edilebilmiş olması, bu ko-
nuda yer bilimcileri oldukça iyim-
ser yapmıştır. Ancak bir sene son-
ra, 1976'da, 250000'den fazla can
kaybının olduğu Çin'deki Thang-
shan Depremi'nin önceden tahmin
edilememesi, bu iyimserliği ka-
ramsarlığa dönüştürmüştür. Dolayısıyla son yıllarda, depremlerin
önceden tahmini konusundaki pro-
jeler için bilim adamları ve yöneticilerin konuya olan ilgi ve isteği
1970'li yıllara göre oldukça
azalmıştır. En son Japonya'da 1995
Hyogo-ken Nanbu Depremi'nden
(Kobe Depremi) sonra, 1997'de
depremlerin önceden tahmini ko-
nusunda ümitlerin yitirildiği resmi
olarak açıklanmıştır.

Bu yazıda; öncelikle değişik
bilim dallarından elde edilen bul-
guların ışığı altında deprem önce-
si, sırası ve sonrasında gözlenen
olağandışı olayların olası fiziksel
temelleri kısaca açıklanmış, daha
sonra güncel depremlere ilişkin
öngörü yöntemleri verilmiş ve
Türkiye'de meydana gelen dep-

remlerde gözlenen olağandışı
olaylar sunulmuştur.

Depremlerde Gözle- nen Olağandışı Olay- ların Olası Fiziksel Temelleri

Depremler, yerküreye etkileyen
gerilimlerden dolayı yerkabuğun-
un kırılması ile oluşmaktadır.
Depremlerin oluşumuna neden
olan bu gerilimler çoğunlukla tek-
tonik gerilimler olarak adlandırıl-
maktadır. Burada en önemli soru,
neden bu tür gerilimlerin yer
kabuğunda buldukları ve nasıl
üretildikleridir. Tektonik gerilim-
lerin oluşum nedenleri ile birlikte
depremlerin neden bazı bölgelerde
yoğunlaştığı "Plaka Tektoniği"
olarak bilinen bir kuramla açıklan-
maya çalışılmaktadır. Ancak bu
kuram, yerkabuğunun katı ve
deforme olmayan plakalardan
oluştğunu varsaydığı için, plaka
içi depremlerin açıklanmasında
yetersiz kalmaktadır. Plaka tek-
toniğinde plakaları harekete ge-
çiren kuvvetin, yerkürenin üst-
mantosunda yitime uğrayan (dal-
lan) plakaların neden olduğu ve

düzenli olmayan sıcaklık farklılığına bağlı olarak manto içinde oluşan bir kütleli akımdan (konveksiyon akımı) kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kütleli akımın sıcaklık farkından kaynaklanması oldukça doğal ve mantıklı bir açıklamadır. O zaman neden "yitime uğrayan (dalan) bu plakalar oluştu ve yerkaşuğu birtakım küçük plakalara bölündü?" sorusu gündeme gelmektedir. Bu sorular günümüzde yerfiziği bilimi tarafından yanıtlanamamaktadır. Tamamen yerçekiminin etkisi altında yerküreyi oluşturan malzemelerin termo-elasto-plastik bir davranış gösterdiğini ve küresel simetrik olduğunu varsayarak yerküredeki gerilim dağılımı için yapılan hesaplamalardan^[1] ortaya çıkan gerçeklerden biri de, yerkürenin hiçbir şekilde elastik olmayıp, plastik bir cisim olduğudur. Bu sonuç, en basit anlamda jeolojik geçmişte manto ve yerkaşuğunda kırılmanın ve plastik yenilmenin meydana geldiği ve teğetsel gerilim ile radyal gerilimin sırasıyla en büyük ve en küçük asal gerilimlerle aynı olması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu sonucun bir diğer anlamı da, manto içinde kütleli akımın oluşabilmesi için gereken düzensiz sıcaklık dağılımına neden olan yerkaşuğundaki dalma ve bindirmenin jeolojik geçmişte meydana gelmiş olmasıdır. Bunun yanısıra, yerkürenin güneş sisteminin bir parçası olduğu da unutulmamalıdır. Yerküre, güneşin çevresinde saatte 10000 km'lik bir hızla ilerlemekte ve kendi eksenini etrafında salınarak dönmektedir. Bu olgular, hiç kuşkusuz, yerkürenin hem küresel simetrikliğini etkilemekte, hem de homojen olmayan malzeme dağılımını oluşturabilecek ortamların gelişmesine neden olabilecektir. Bu nedenle, yer-

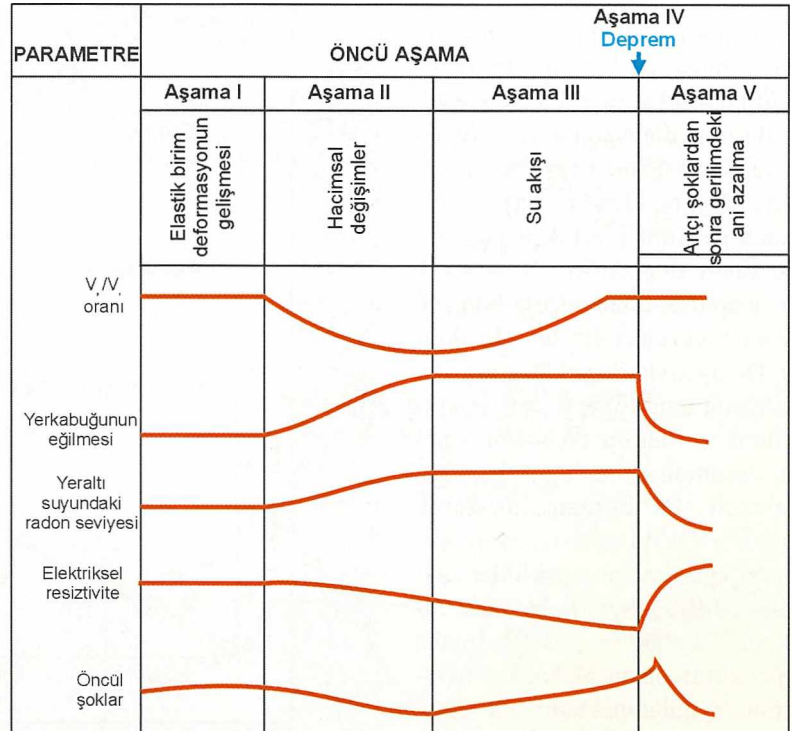
kabuğunun kırılması sonucu oluşan depremlerin yukarıda sözü edilen unsurlar gözönüne alınarak düşünülüp değerlendirilmesi gereklidir.

Depremler, en basit anlamda, yerkaşuğunu oluşturan kayaçların kırılmasının bir ürünüdür. Yerkaşuğunun deformasyonu sonucu biriken mekanik iş, sürekli cisimlerin mekaniğinin enerjinin korunumu yasasının geçerli olabilmesi için, kırılma sırasında kendisini değişik şekillere dönüştürmek zorundadır. Mekanik işin dönüşümü; ses dalgaları, ani elektrik (manyetik) akımı, boşluk suyu basıncının azalması ve sıvı akışı, sıcaklık artışı ve ısı akışı, gaz çıkışı, elastik özelliklerin değişimi (P ve S dalga hızlarının değişimi), elektrik direncinin azalması ve kayaçlarda akma davranışının belirmesi şeklinde görülecektir. Hiç kuşkusuz bu dönüşümler, olağandışı olaylar şeklinde kendini gösterecektir.

Depremleri Önceden Tahmin Yöntemleri

Günümüzde depremlerin önceden tahminine ilişkin yöntemler (yaklaşımlar) gözleme dayanmakta olup, ampirik (görgül) yöntemlerdir. Kuramsal olarak, depremden önce, deprem sırasında ve sonrasında Şekil 1'de gösterilen beş fiziksel parametrede değişiklik olması beklenir. Bu değişimler 1970'lerde depremlerin önceden tahmini için önerilen yöntemlerin ana düşünce yapısını oluşturmaktadır. Mevcut yöntemler, aşağıdaki olguları esas almaktadır.

- 1) Yerkaşuğunun olağandışı eğilmesi ve deforme olması
- 2) Akma (creep) davranışı
- 3) Yeraltı suyu seviyesinin olağandışı değişimi
- 4) Elastik dalga hızının olağandışı değişimi
- 5) Elektrik direncinin olağandışı değişimi
- 6) Elektrik alanının olağandışı değişimi (deprem veya yer ışıkları)



Şekil 1^[3]

- 7) Manyetik alandaki olağandışı değişim
- 8) Deprem boşluğu (sismik boşluk)
- 9) Gaz yayılımının olağandışı değişimi
- 10) Yerçekimi alanının olağandışı değişimi
- 11) Hayvanların olağandışı davranışları

Yukarıda belirtilen olguları esas alan yöntemleri tek bir yöntem şeklinde birleştirebilmek için genişleme-yayıma (dilatancy-diffusion) yöntemi önerilmekle birlikte, günümüzde sağlam temeller üzerine oturan ve bütün dünyada kabul görmüş hiçbir yöntem yoktur^[2]. ABD'de Parkfield ve Japonya'da Tokai bölgelerinde sürdürülen depremlerin önceden tahmin edilmesiyle ilgili projelerde yukarıda belirtilen yöntemlerin birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Aşağıda bu yöntemlerin ana ilkeleri ve uygulamadan bazı tipik örnekler özetle sunulmuştur.

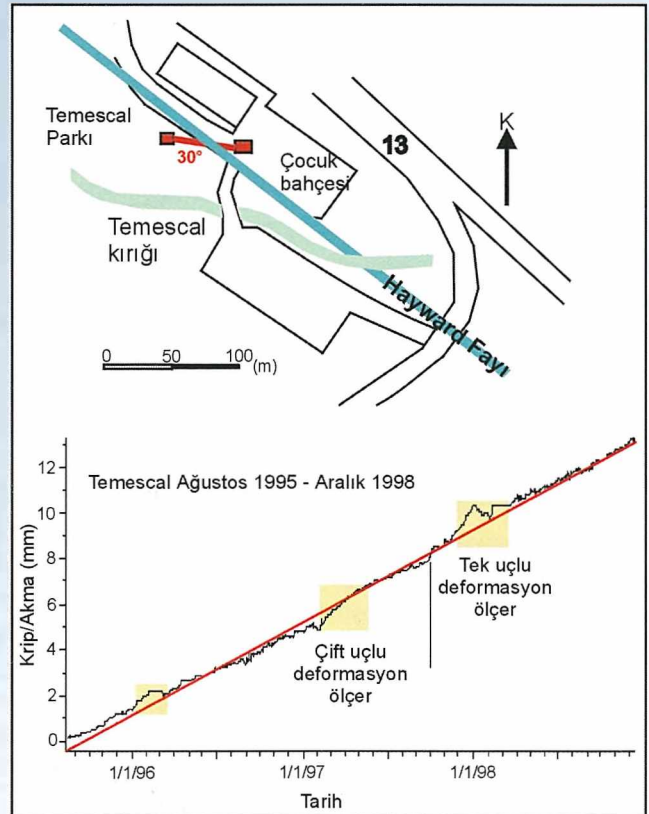
Yerkabuğunun olağandışı eğilmesini ve deforme olmasını esas alan yöntem: Bu yöntem, depremlerin oluşum mekanizması için 1900'lerin başında Prof. H. Reid tarafından önerilen ve elastik ilk duruma dönüşüm kuramı (elastic rebound theory) adı verilen kurama dayanmaktadır. Faylar boyunca gerilimler arttıkça, yer seviyesinde değişimler ve gelecek bir depremin etkileyeceği bölgede alçalma ve yükselmeler olmaktadır. Dolayısıyla bu yaklaşıma göre, yerkabuğunun belirli bir miktar eğildiği ve deformatsiyondan sonra ilk durumuna döndüğü düşünülmektedir. İlk duruma dönüşüm, düzgün veya düzgün olmayan çevrimsel bir davranış şeklinde olabilmektedir. Yöntem, özellikle Japonya, Tayvan ve ABD'de plaka sınırlarında dalan plakaların hareketine uygulanmaktadır. Örneğin, ABD'de Parkfield (Kaliforniya)

yöresinde 1960'lardan bu yana yükselme olduğu bilinmekle birlikte, herhangi bir önemli deprem meydana gelmemiştir. Ancak, bu bölge tarihsel sismisiteye sahiptir. Geçmişte olan depremler ve beklenen volkanik patlamalar gibi süreçlerin de yerin alçalmasına ve yükselmesine neden olması, bu yöntemin bir deprem tahmin aracı olarak kullanılmasını güçleştirmektedir.

Akma (creep) davranışını esas alan yöntem: Bu yöntem, laboratuvarında deneye tabi tutulan kaya örneklerinden elde edilen akma modellerine dayanmaktadır ve ABD'de San Andreas Fay Zonu'ndaki Hayward Fayı'nın (San Francisco Körfezi) akma davranışının izlenmesinde kullanılmaktadır. Şekil 2, Hayward fayı boyunca Oakland yakınlarındaki Temescal Parkı'ndaki ölçüm nok-

tasında akma davranışı ile ilgili olarak fayın ayırdığı bloklara monte edilmiş çok hassas deformatsiyon ölçerlerden elde edilen ve günümüzde halen sürdürülen ölçümlere ait sonuçları göstermektedir.

Yeraltısuyu seviyesindeki olağandışı değişimi esas alan yöntem: Bu yöntem, depremlerin önceden tahmini amacıyla eskiden beri kullanılan yöntemlerden birisidir. Yeraltısuyu seviyesinin değişimi; yerkabuğunun eğilmesi, deforme olması ve geçirgenliğinin artması sonucu oluşur ve geniş bir alanda gözlenebilir. 1988 ve 1995 yılları arasında San Andreas Fayı yakınındaki Cholame kuyusundaki su seviyesinin zamanla değişimi ve bölgede oluşan depremlerle olan ilişkisinden (Şekil 3a), ilk bakışta, depremlerin oluşumu ile su seviyesi değişiminin birbirleri



Şekil 2^[4]

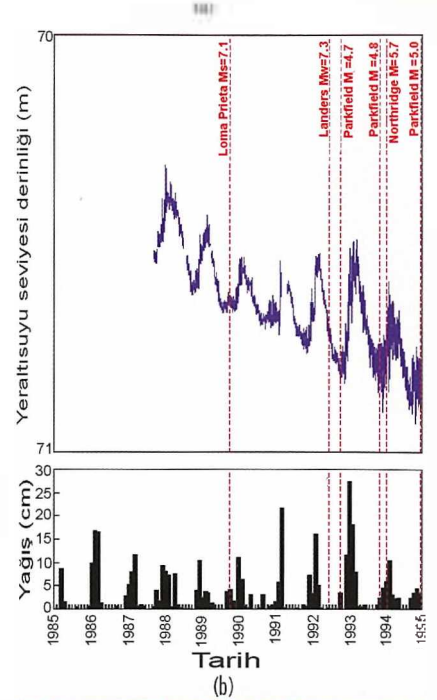
ile doğrudan ilişkili olduğu izlenimi elde edilmektedir. Deprem öncesi, sırası ve sonrasında yerkabuğunun geçirgenliğindeki değişime bağlı olarak, bazı kuyuların kurduğu ve bazılarında ise su seviyesinin yükseldiği ve örneğin Awajı adasında 1995 Kobe Depremi'nden sonra gözlemlendiği gibi yeni kaynakların ortaya çıktığı bilinmektedir (Şekil 3b).

Elastik dalga hızındaki olağandışı değişimi esas alan yöntem: Depremden önce kayaçların özelliklerinde değişim olduğu takdirde, kayaçlarda yayılan çeşitli deprem dalgalarının hızında da değişim olacağı kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu yöntem, bir deprem bölgesinde elastik dalga hızları arasındaki oranda (V_p/V_s) deprem öncesinde gözlenen olağandışı değişimden yararlanmaktadır. Değişim, sözü edilen oranın deprem öncesi azalması ve sonradan ilk durumuna dönüşmesi şeklinde oluşmaktadır. Rusya'daki araştırmalar, P dalgalarının hızının (V_p) deprem öncesinde %10-15 dolaylarında değiştiğini göstermiştir. Yöntem, ilk kez Tacikistan'ın Garm bölgesinde (Şekil 4), daha sonra ABD'nin New York eyaletindeki Blue Mountain Gölü'nde meydana gelen depremlerin önceden tahmini amacıyla uygulanmış ve başarılı sonuç elde edilmiştir⁽⁵⁾. Bu yöntemin uygulanmasında en büyük sorun, elastik dalga hızlarının incelendiği bölgede dalgaya neden olabilecek doğal veya yapay kaynakların gerekli olmasıdır. Bu nedenle, elastik dalga hızının sürekli bir şekilde zamana bağlı olarak değişimini ölçmek mümkün olamamaktadır. Ayrıca tek başına kullanıldığında, depremin yerinin belirlenmesi de çok güçtür.

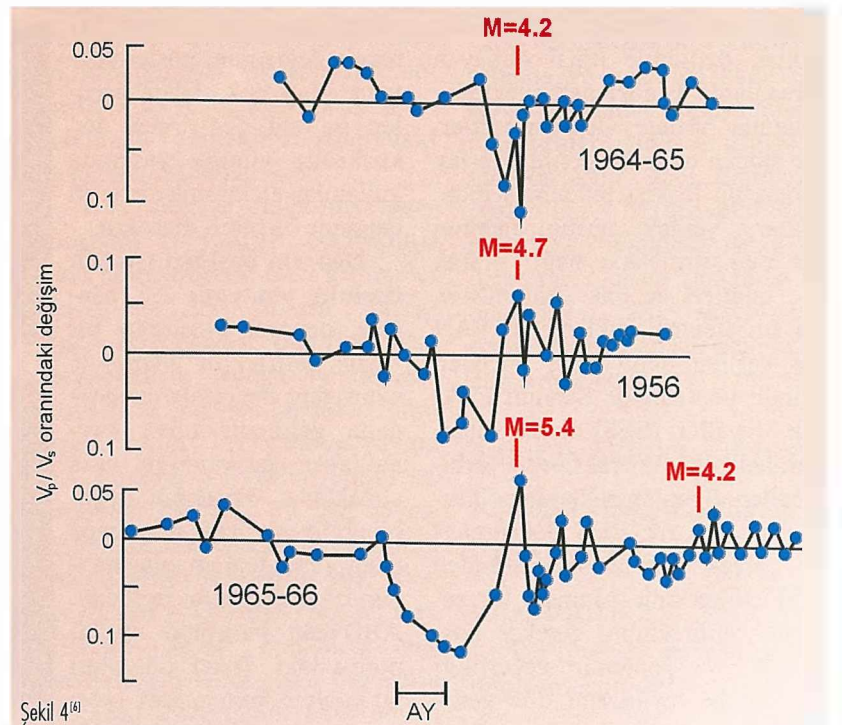
Elektrik direncindeki olağandışı değişimi esas alan yöntem: Bu yöntem, elastik dalga hızı

değişimine benzer şekilde, deprem öncesi elektrik direncinin azaldığı, sonra da ilk durumuna döndüğü olgusundan yararlanmaktadır. Elektrik değişiminin ana nedeni, deprem öncesi gerilim birikimine bağlı olarak kayalarda oluşan çatlakların daha az elektrik direncine sahip su ile dolmasıdır. İlk kez Tacikistan'ın Pamir bölgesindeki depremlerin önceden tahmini için kullanılmıştır⁽⁶⁾ (Şekil 5).

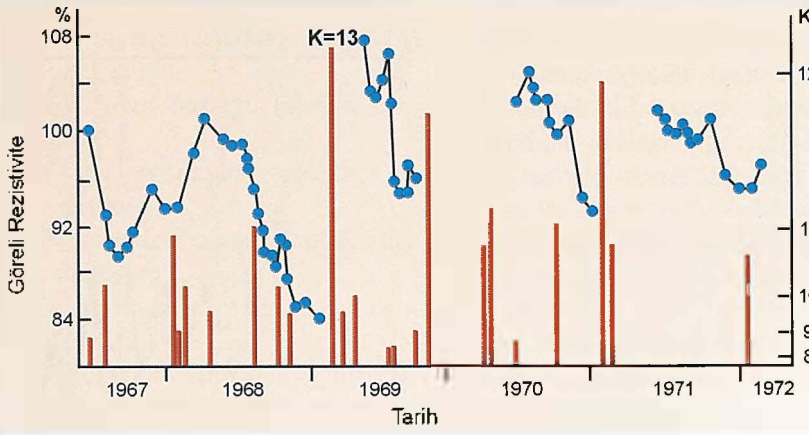
Elektrik alanındaki olağandışı değişimleri esas alan yöntem: Kayaçlarda oluşmadan dolayı açığa çıkan mekanik iş, kendini sürtünmeye bağlı ısı akışı, sıvı akımı ve kaya içindeki kuvars minerallerinin piezo-elektrik özelliklerinden dolayı ani elektrik üretimi (akımı) şekline dönüştürmektedir. Elektrik alanındaki bu ani değişimler deprem öncesi, sırası veya sonrasında fiziksel olarak deprem ışıkları veya şimşekleri, deprem bulutları ve ateş topları şeklinde gözlenmektedir^(7,8,9) (Şekil 6). Deprem ışıklarının yoğun



Şekil 3⁽⁴⁾



Şekil 4⁽⁶⁾



Şekil 5⁽⁶⁾

olarak dağ zirveleri ve sırtları, çevrelerinden izole olmuş binalar, kuleler ve yüksek gerilim hattı direkleri gibi elektriksel yük toplayıcılarının yakın çevresinde gözlenmesi, bu olayın elektromanyetik boyutunun olduğu varsayımını güçlendiren gözlemlerdir. Deprem ışıklarının oluşumunun tektonik gerilimlerle ilişkili görülmesine karşın, günümüzde bu ışıkların oluşumunda etkili süreçlerin ne olduğu sorusu halen açık biçimde yanıtlanamamıştır. Piezoelektrik, ısınma, kimyasal tepkime veya sürtünme kuvveti sonucu ortaya çıkan ışınma deprem ışıklarının oluşumunda etkili süreçler olarak öne sürülmüştür. Ayrıca bu ışıklar, depreme ilgisi olmayan zamanlarda da gözlenebilmektedir. Bununla birlikte, deprem ışıkları her zaman tektonik gerilim ve fay hatları ile ilişkisi bulunmuş olup, ışıkların yerdeki gerilim alanının yer değiştirmesine bağlı olarak göç ettikleri de öne sürülmüştür. Bu ani elektrik yüklemeleri VAN adı verilen depremleri önceden tahmin yönteminde Sarsıntı Elektrik Sinyalleri (SES) olarak adlandırılmaktadır. Ancak bazı yerbilibilecek elektrik alanı değişimleri ile gerçek SES'in birbirlerinden ayırt edilmesinin bilimsel bir şekilde yapılmadığını gerekçe göstererek, bu yöntemin geçerliliği konusunda kaygılarını dile getir-

mişlerdir⁽¹⁰⁾. Bu eleştirilere karşın, Japonya'da bu yöntemin depremlerin önceden tahmini amacıyla uygulanmasına çalışılmaktadır.

Manyetik alandaki olağandışı değişimleri esas alan yöntem: Manyetik alanın değişimi, elektrik alanındaki değişim ve ilke olarak Maxwel denklemleri yardımıyla ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, manyetik alandaki değişimin nedenleri elektrik alanındaki değişimin nedenleri ile aynıdır. Şekil 7, 1989 Loma Prieta Depremi (ABD) sırasında ölçülen manyetik alanın zamanla değişimini göstermektedir. Manyetik alanda görülen bu ani değişimler, hiç kuşkusuz günlük yaşamda kullanılan elektronik aletlerin üzerinde de etkili olacaktır.

Deprem boşluğu (sismik boşluk) yöntemi: Bu yöntem, deprem oluşturan bir fayın belirli bir kısmında uzun süre depremlerin meydana gelmemesinden kaynaklanan suskunluğu esas almaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için o yörede uzun süre deprem oluşumunun izlenmesi gerekmektedir. ABD'deki Parkfield ve Japonya'daki Tokai bölgeleri bu yöntem kullanılarak gele-

cekte deprem olasılığının yüksek olduğu yerler olarak saptanmış ve günümüzde bu bölgelere yerleştirilmiş birçok ölçüm aletinden gözlem yapılmaktadır.

Gaz yayılımındaki olağandışı değişimi esas alan yöntem: Depremler öncesinde, sırasında ve sonrasında gaz çıkışlarının olduğu uzun süreden beri bilinmekte olup, kayaçların kırılması sırasında birçok gazın ortaya çıkıp yayıldığı deneysel ve gözlemsel olarak belirlenmiştir. Söz konusu gaz çıkışlarının bir bölümü, dep-

(a) Kobe (1995)



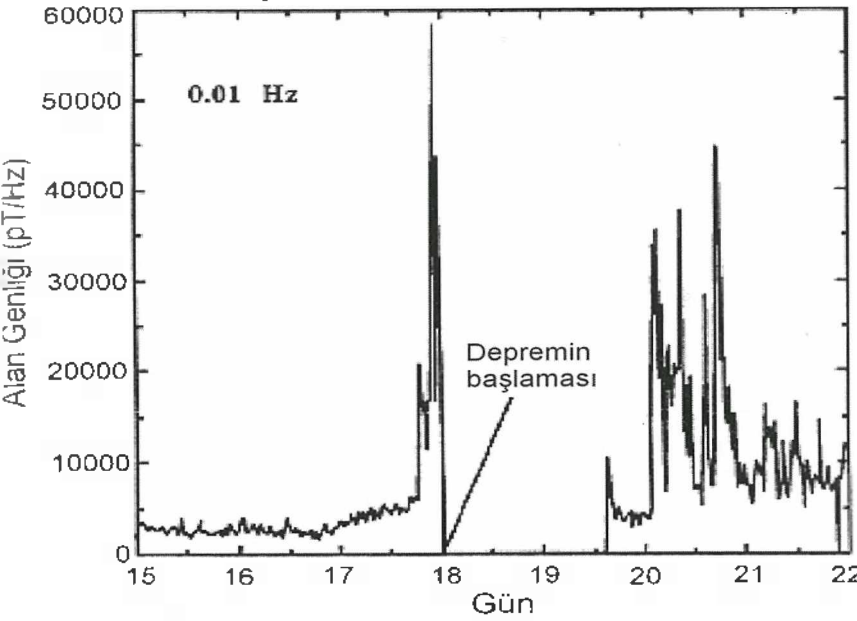
(b) Matsushino (1965)



(c) Matsushino (1965)



Şekil 6⁽⁷⁾



Şekil 7

remden etkilenen bölgedeki gazların kırık ve çatlaklardan veya sismik dalgaların yarattığı gözenek basıncı artışı ile serbest kalışına bağlanmaktadır. Örneğin, 1906 San Fransisco depreminde kentün doğal gaz hatlarından oldukça uzak kesimlerinde çıkan yangınlar, kabuğun kırılması sonucunda yüzeye çıkan metan gazının alev almasına bağlanmıştır. Gazlar arasında en kolay ölçülebileni Radon gazı olup, bu gaz 3.8 günlük yarılanma ömrüne sahiptir. Radon, uranyumun yerkabuğunda radyoaktif çürümesinden oluşur. Uranyum içeren kayalardan derindeki yeraltısuyuna sızan Radon, yerkabuğundaki gerilimlerin artmasıyla açılan ve/veya oluşan fisür ve çatlaklardan kolaylıkla suya karışır. Depremden hemen önce kayalar aşırı derecede gerilime maruz kalınca, yeraltısuyundaki Radon konsantrasyonu ani şekilde artmakta ve Radon gazı yeraltısuyu tarafından serbest yüzeye doğru itilmektedir. Depremlerin önceden tahmini amacıyla ilk Radon gazı ölçümlerinin uygulandığı deprem Özbekistan'daki 1966 Taşkent Depremi'dir. Radon gazının yanısıra, He, Ar, NO, CO₂

gazları ile Cl⁻ SO₄²⁻ iyonlarının da açığa çıkıp yayıldığı bilinmektedir^[11,12].

Yerçekimi alanındaki olağandışı değişimi esas alan yöntem: Yerkabuğunun deforme olmasına bağlı olarak, yerkabuğunun yoğunluğunun değiştiği bilinmektedir. Bu olguyu gözönüne alarak Walsh^[13], yerçekimi alanında bir değişimin olabileceğini kuramsal olarak açıklamıştır. Bunun yanısıra, fayın bulunduğu kısımda yerkabuğundaki malzemenin değişimi de deformasyondan kaynaklanan yerçekimi alanındaki değişime eklenmektedir.

Hayvanların olağandışı davranışını (biyolojik etkileşimi) esas alan yöntem: Bazı depremler öncesinde hayvanların davranışlarında normal olmayan bazı değişimlerin olduğu ve deprem öncesinde huzursuzlaştıkları dünyanın hemen her yerinde yaygın bir gözlem ve iddia olmuştur. Bununla birlikte, bu tür davranışlara ilişkin raporlar birçok bilim adamı tarafından uzun süre kuşkuyla karşılanmakta idi. Ancak 1975'te Çin'in Haicheng bölgesinde meydana gelen depremin önceden tahmininde elde edilen

başarıda en büyük etken, hayvanların gösterdiği olağandışı davranışlar olmuştur. Yüzyıllar boyu bilinen bu gerçek, uzun süre bilim adamlarının ilgisini çekmemiştir. Çin'deki başarılı tahminden sonra ABD Jeoloji Kurumu (USGS) hayvanların olağandışı davranışları konusunda ilk kez 1976'da bilimsel bir toplantı düzenlemiştir. O tarihten bu yana Çin, Japonya ve ABD'de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu konuda en yeni ve oldukça ilgi çekici çalışma Japonya'da bir araştırma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir^[14]. Bu grup, hayvanların deprem öncesinde ve sırasında kayaların kırılmasıyla oluşan elektro-manyetik dalgalara karşı oldukça duyarlı ve bundan rahatsız olduklarını deneysel olarak göstererek, konuya fiziksel bir açıklama getirmiştir. Köpeklerin deprem öncesi ayaklarını göğe doğru yöneltmesinin nedeni, köpeklerin ayak aynalarının elektro-manyetik dalgalara karşı çok duyarlı olması ve hayvanın daha duyarsız olan sırtını yere yaslayarak bu etkiden kaçınmaya çalışması şeklinde açıklanmıştır. Bu konudaki önemli bir katkı da, Şekil 8'de verildiği gibi, zamana ve uzaklığa bağlı olarak hangi hayvanların olağandışı davranış gösterdiğinin ve değişik hayvan türlerine göre depremlerde gösterdikleri hassasiyetin açıklanmasıdır^[15]. Şekildeki yatay eksen depremin oluşum zamanına kadar olan süreyi, düşey eksen ise depremin dış merkezine olan uzaklığı göstermektedir.

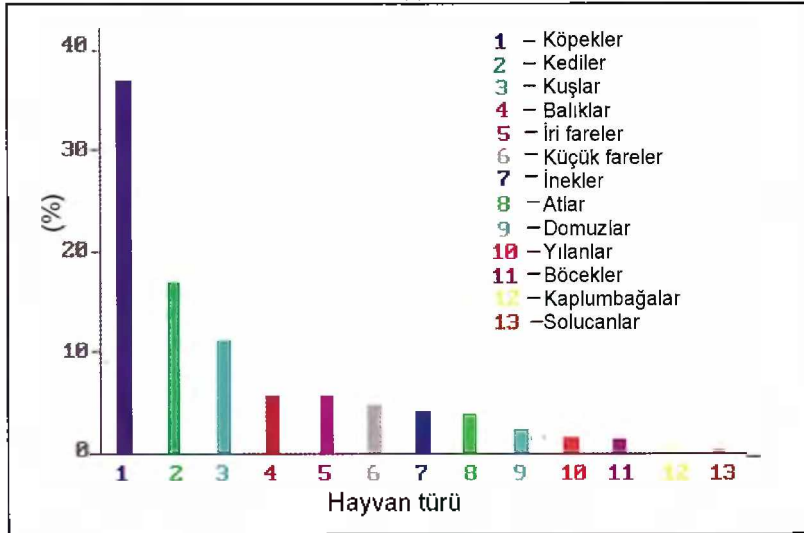
Türkiye'deki Depremlerde Olağandışı Olaylara İlişkin Gözlemler

Türkiye'de meydana gelen depremlerde de deprem öncesi,

(a)

		DEPREME KADAR GEÇEN ZAMAN						
		1-2 dak	10-30 dak	1-4 saat	5-12 saat	1 gün	bir kaç gün	bir kaç hafta
Deprem merkez üssüne olan uzaklık	Deprem merkez üssünde							
	20-50 km							
	70-100 km							
	150-200 km							
	> 520 km							

(b)



Şekil 8

sırası ve sonrasında birçok olağandışı olaylar gözlenmiştir. Ne yazık ki bu olağandışı olayların kayıtlara aktarılmış olduğu pek görülmemektedir. Kayıtlara aktarılmış olsalar bile, bu kaynaklara ulaşım son derece sınırlı kalmaktadır. Olağandışı olaylarla ilgili gözlemlerin yanısıra, Türkiye'de yukarıda özetle sunulan yöntemler ve hassas ölçüm aletleri kullanılarak, depremleri önceden tahmin amaçlı bazı çalışmalar yürütülmektedir. Ancak bu projelerden elde edilen verilere anında ulaşılması mümkün olamamaktadır. Bu gözlemler, ulusal veya uluslararası

dergi ve sempozyumlarda veya kişilerin not defterlerinde ulaşılır duruma gelseler bile, fiziksel ve ruhi olarak bütün yaşamları boyunca yaralanmış veya depremleri yaşamları ile ödemiş insanlar için çok geç olmaktadır.

Günümüzde yukarıda belirtilen yöntemleri esas alarak Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında aşağıdaki ölçümler yapılmaktadır:

- Elastik dalga hızları ölçümleri
- Yerkabuğu eğimi ve kuyu içi birim deformasyon ölçümleri
- Yeraltısuyu seviyesi değişimi ve su sıcaklığı ölçümleri

- Yerçekimi alan değişimi ölçümleri
- Manyetik alan değişimi ve SES ölçümleri
- İklim koşulları ölçümleri
- Radon gazı yayılımı ve yeraltısuyu kimyası ölçümleri

Bu ölçümlerin birçoğu geçen yıl meydana gelen Kocaeli ve Düzce-Bolu depremlerinin olduğu bölgelerde yapılmaktadır. Burada sunulan olağandışı olaylarla ilgili gözlemler yazarların değişik kurumların yayınladıkları raporlardan, basından, deprem bölgesinde depremedelerle yaptıkları görüşmelerden ve kendi gözlem ve ölçümlerinden^[16,17,18,19] oluşmaktadır.

Gaz çıkışı ve yayılımı: Düzce-Bolu Depremi'ni oluşturan fayın güncü kenarından geçtiği Efteni Gölü'nde Hamamüstü ve Cevizli köyleri arasındaki bir bölgede depremle birlikte gaz çıkışları gözlenmiştir (Şekil 9a). Göl içindeki gaz kabarcıklarının belirmesi, 10 Kasım 1999'da oluşmasına karşın, yayılan gazın yanmaya başlaması depremden hemen sonra gözlenmiştir^[20]. Yanan gazın, MTA tarafından yapılan analizinden metan gazı olduğu anlaşılmıştır. Metan gazının yanması depremden sonra yaklaşık bir hafta devam etmiştir (Şekil 9b).

Bölgede metan gazının çıkışı eskiden beri bilinmekte ve bölge halkı tarafından açılan sondaj kuyularıyla metan gazından yararlanılmaya çalışılmaktadır. 1999 Kocaeli Depremi sırasında da olağandışı metan gazı çıkışının olduğu, bölge halkı tarafından belirtilmiştir. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'nün ARAR gemisi tarafından İzmit Körfezi'nde deprem sonrasında yapılan sualtı incelemelerinde körfezin güney sahilleri boyunca metan gazı çıkışları gözlenmiştir. Yazarlar tarafından



(b)



Şekil 9^(20,21)

Kocaeli Depremi sonrası Acısu yakınlarında ilk önce bir anlam veremedikleri ve fay kırığının yaklaşık 100 m güneyinde içi su ile dolmuş bir çukura rastlanmıştır. Çevredeki otların durumundan, bu çukurun oluşumuna muhtemelen deprem sırasında çıkan sıkışmış gazın neden olduğu düşünülmektedir.

MTA⁽²²⁾ tarafından, metan gazının yanısıra, yüksek oranda CO₂ gazı çıkışı olduğu da gözlenmiştir. Bu bulgu, Özbekistan'da meydana gelen 1978 Tavaksai, 1978 İsfara ve 1976 Gazlı depremlerinde Ulugbek gözlem kuyusunda alınan ölçümlere oldukça benzer olup, deprem sonrası CO₂ oranının yaklaşık %14 dolaylarına ulaştığı ve depremden sonra 15 gün içerisinde olağan değerine ulaştığı belirtilmektedir⁽¹¹⁾.

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin verdiği bilgiye göre, 1999'da meydana gelen her

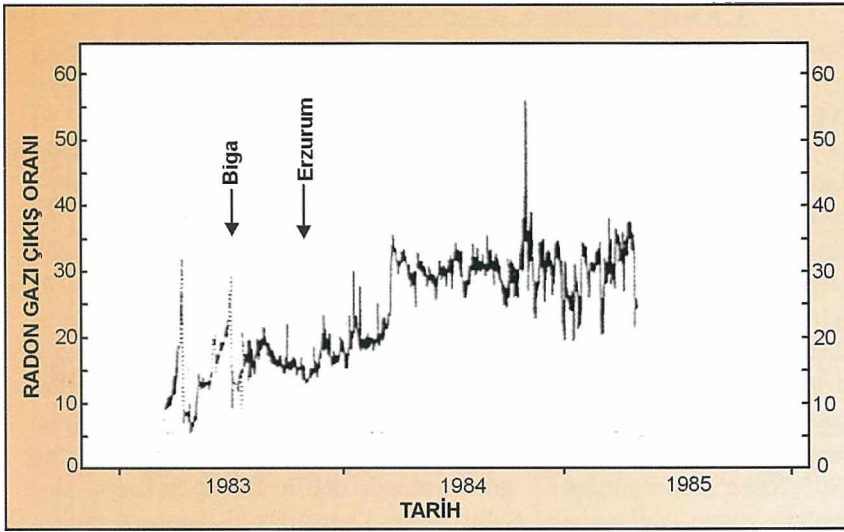
iki depremde de Radon gazı çıkışları olduğu belirtilmektedir⁽²¹⁾. MTA tarafından deprem sonrasında yapılan inceleme ve ölçümlerde Radon gazı çıkış oranının olağan seviyesinden daha az olduğu belirtilmektedir⁽²²⁾. MTA'nın ölçüm değerlerine göre, deprem sonrası belirli bir süre Radon çıkışının olağan seviyesinden düşük olması hususu, Özbekistan'da 1978 Tavaksai, 1978 İsfara ve 1976 Gazlı Depremleri⁽¹¹⁾ ile Japonya'daki 1995 Kobe Depremindeki⁽²³⁾ gözlemlerle uyum içerisindedir. Şekil 10, Bolu yakınlarındaki bir kaplıcada 1983 ile 1985 yılları arasında gözlenen Radon çıkış oranını göstermektedir⁽²⁴⁾. Ölçümler sırasında 1984 Biga Depremi (M=5.7) ve 1984 Erzurum Depremi (M=6.0) meydana gelmiştir. Depremlerin dış merkezleri ile ölçümün yapıldığı kaplıca arasındaki büyük uzaklığa rağmen, her iki depremle Radon gazı çıkışı arasında bir ilişkinin varlığı açık bir şekilde görülmektedir.

Yeraltısuyu seviyesindeki değişimler: MTA tarafından yapılan incelemelerde⁽²²⁾, son depremlerde yeni su kaynaklarının ortaya çıktığı bildirilmektedir. Yeni kaynakların oluşması, yerkabuğunda gerilim ortamının değişmesinin yanısıra, faylanmaya bağlı olarak geçirgenliğin de değişmesi ile ilişkilidir. Benzer kaynaklar, 1992'de Erzincan Depremi⁽¹⁶⁾, 1995'te Dinar Depremi⁽¹⁷⁾, 1998'de Adana-Ceyhan Depremi⁽¹⁸⁾ sırasında da gözlenmiştir. Hamamüstü köyündeki Efteni Kaplıcası'nda kaplıca suyunun Düzce-Bolu Depremi'nden 2 gün önce bulunduğu ve sıcaklık artışı olduğu bildirilmektedir⁽²⁰⁾. Bunun yanısıra, bölgede yeni kaplıca kaynakları ortaya çıkmıştır⁽²⁵⁾. Benzer şekilde, 1999 Kocaeli Depremi'nden 15 gün önce yeni kaplıca kaynakları belirirken, 1992 Erzincan Dep-

remi'nden sonra Ekişisu'daki maden suyu işletmesinde yeni kaynaklar ortaya çıkmıştır^(16,25).

MTA⁽²²⁾ tarafından Efteni Gölü'nden çıkan kaplıca suyu kaynağında suyun sıcaklığı 25.2 °C olarak ölçülmüş olup, bu değer göl suyunun olağan sıcaklığı olan 9.1 °C'den yüksektir. Bölgedeki kaplıca suyunun sıcaklığı ise 42.3 °C'dir. Dolayısıyla yeni beliren kaynaktan göl suyu ile kaplıca suyunun karışım oranının % 50 olduğu belirlenmiştir. Sakarya-Ak-yazı-Kuzuluk'taki kaplıca kuyularında Düzce-Bolu Depremi ile Kocaeli Depremi sonrası sıcaklık değişimi, basınç artışı ve bulanıklık meydana gelmiştir. Bunun yanısıra, Bolu ve Mudurnu kaplıcalarında da benzer olgular her iki deprem sonrasında gözlenmiştir. Düzce-Bolu Depremi'nin dış merkezinden 190 km uzaklıktaki Armutlu kaplıcasındaki A2 nolu üretim kuyusunda sıcaklık değişimi olmuş ve kuyu ağzından aşağıda olan su seviyesi deprem sonrası taşarak artezyen yapmıştır⁽²⁶⁾.

1999 Kocaeli Depremi'ne bağlı olarak Eskişehir ili Sivrihisar ve Günelli ilçelerindeki su kuyularında (deprem merkezinden 190 km uzaklıkta) su seviyesinde değişimlerin gözlemlendiği bildirilmektedir⁽²⁷⁾ (Şekil 11). Deprem öncesi Sivrihisar'da su seviyesi hemen hemen sabit bir oranda azalmaktadır. Bölgeye ait bu durum, yağış ve buharlaşma ile ilgili veri olmamakla birlikte, Şekil 3'teki Cholame kuyusundaki gözlemlerle oldukça büyük benzerlik göstermektedir. Bunun yanısıra, bir diğer önemli husus da, kuyuların depremlerin dış merkezlerine oldukça uzak olmasına karşın, su seviyelerindeki değişimin oldukça belirgin olmasıdır. Dikkat çeken diğer bir husus da, her iki kuyudaki su seviyelerinin değişiminin birbirine zıt yönde olmasıdır. Günelli'deki



Şekil 10^[29]

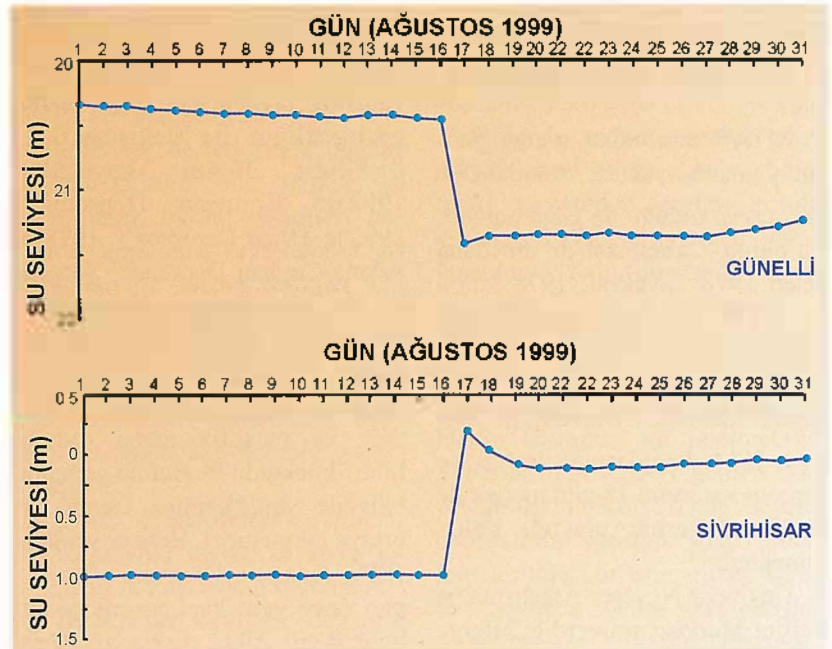
kuyuda su seviyesi alçalırken, Sivrihisar'daki kuyuda su seviyesi yükselmektedir. Depremlerdeki faylanma mekanizmasından elde edilen sıkışma bölgelerinde su seviyesinin alçaldığı, genişleme bölgelerinde ise yükseldiği şeklinde görüşlerin olduğu bilinmektedir. 1999 Kocaeli Depremi'nin oluş mekanizması düşünüldüğünde, her iki kuyunun genişleme bölgesinde bulunması nedeniyle su seviyesinde artış beklenmesi gerekmektedir. Ancak, Fleeger ve Goode^[28]'da ABD'nin Pennsylvania eyaletinde meydana gelen bir depremdeki gözlemlere dayanarak, yer kabuğunun geçirgenliğinin değişimi ile topoğrafyaya bağlı etkinin oldukça büyük olacağını ileri sürmüşlerdir. Adı geçen araştırmacılar, faylanma mekanizmasından elde edilen sıkışma ve genişlemeden bağımsız olarak, özellikle daha yüksek kotlardaki kuyuların su seviyesinde azalma, alçaktaki kuyuların su seviyesinde ise artma olduğunu belirtmektedirler.

Deprem ışıkları (şimşekleri): Deprem öncesi, sırası ve sonrasında göğün renginin olağandışı kızılaştığı bilinmektedir. Düzce-Bolu Depremi sırasında gökte ışıkların (şimşeklerin) oluştuğu yerel halk tarafından gözlenmiştir. Deprem

oluştugu yerel saat gözönüne alındığında, depremden kaynaklanacak ışıkların görülmesi için oldukça iyi bir ortam olması nedeniyle, yerel halkın gözlemleri oldukça inandırıcıdır. Deprem ışıkları 1999 Kocaeli Depremi'nde de ilk yazar tarafından İstanbul'da ve deprem bölgesindeki yerel halk tarafından da gözlenmiştir. İstanbul'da gözlenen gökteki ışık depremden sonra yaklaşık 5-7 dakika sürmüştür. 1976'daki Çaldıran Depremi'nde deprem ışıklarının dış merkezden 300 km uzaklıkta bile görüldüğü belirtilmektedir^[3].

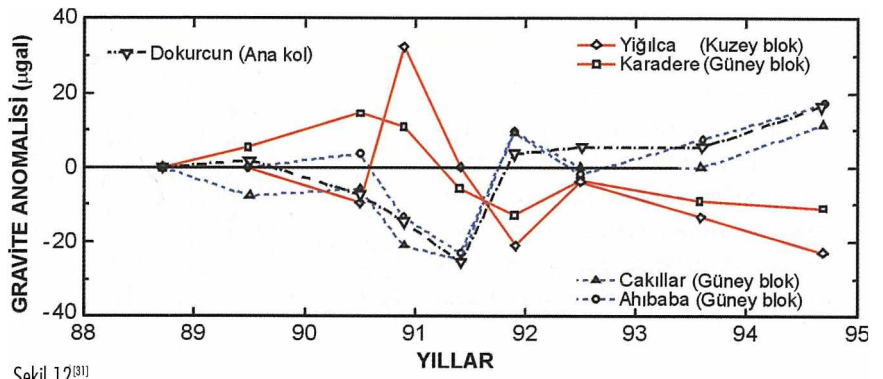
Jeomanyetik ve yerçekimi alanındaki olağandışı gözlemler: Marmara Bölgesi'nde daha önce meydana gelen depremlerde jeomanyetik ve yerçekimi alanında bazı değişimlerin olduğu bildirilmektedir^[29]. Ayrıca deprem bölgesindeki faylarda daha önce yapılan ölçümlerde oldukça yüksek jeomanyetik alan değişimleri saptanmıştır. Olağandışı manyetik alanın Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde -700nT ve güneyinde ise 1000nT olduğu ve faya dik bir kesit boyunca çok büyük bir manyetik alan eğiminin varlığı bilinmekte olup, manyetik alan değişiminden çekilme geriliminin yönü 63-66°, en yüksek sıkıştırıcı gerilimin yönü ise 145-155° olarak hesaplanmıştır^[30].

1988 ile 1998 yılları arasında deprem bölgesinde Kuzey Anadolu Fayı ve yakın çevresinde yerçekimi alanındaki olağandışı değişimlere ilişkin ölçüm sonuçları^[31] değerlendirildiğinde (Şekil 12), jeomanyetik alandaki değişime benzer olarak, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde yerçekimi alanında azalma, güneyinde ise artma görülmektedir.



Şekil 11^[29]

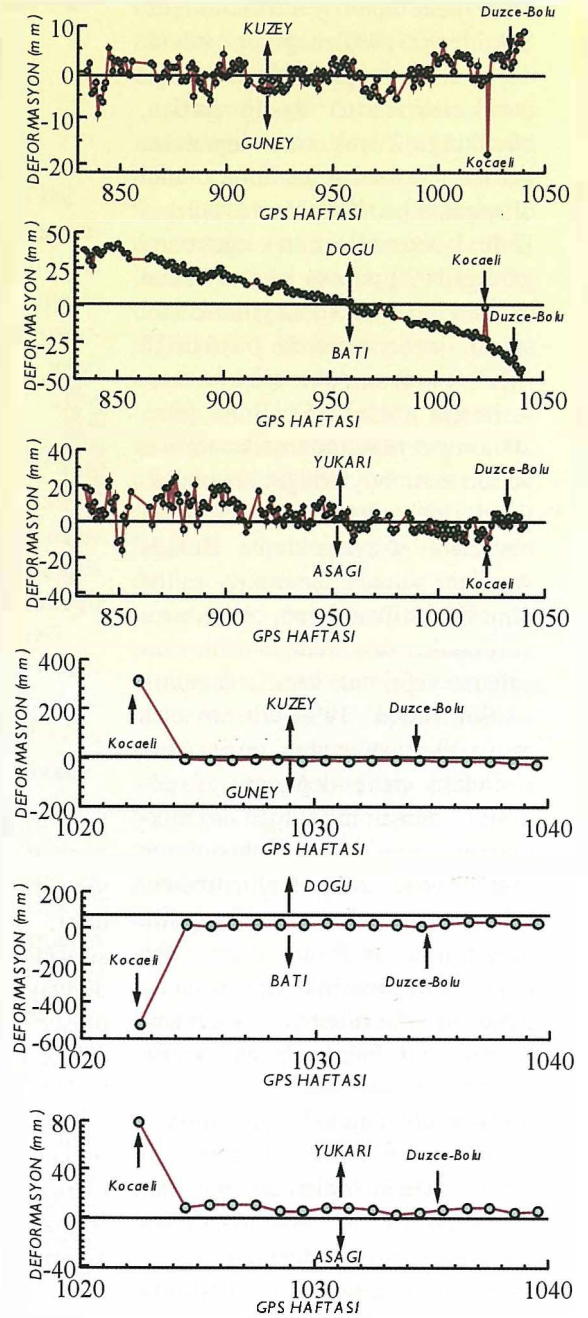
Yerkabuğunun eğilmesi ve deformasyonu: Marmara deprem bölgesinde yerkabuğunun eğilmesi ve deformasyonu ile ilgili ölçümler yapılmakla birlikte, bu ölçüm sonuçlarına bu aşamada ulaşılması mümkün değildir. Bu nedenle, bu yazıda Avrupa GPS ağına bağlı olan ve verilere anında ulaşılabilen Ankara ve Gebze'deki GPS ölçüm merkezlerindeki ölçümlere değinilmiştir. Şekil 13, Ankara ve Gebze'de üç yönde alınan "zaman - yerdeğiştirme" ilişkilerini göstermektedir. TÜBİTAK'ın Gebze ölçüm merkezi, Avrasya (veya Karadeniz) Plakası üzerinde bulunmakta olup, Avrupa GPS ağına 8 Ağustos 1999'da bağlanmıştır. Ankara ölçüm merkezinin ise, Anadolu Plakası üzerinde bulunduğu varsayılmaktadır. Ankara'da alınan ölçümler gözönüne alındığında, bu ölçüm noktası yatay yönde kuzey-batı yönünde hareket etmekte ve düşey olarak alçalmaktadır. Ankara'nın batı yönündeki yerdeğiştirmesi doğrusal olmakla birlikte, kuzeye doğru olan yerdeğiştirmesi 1999 Kocaeli Depremi'nden yaklaşık üç ay önce kuzeyden güneye doğru değişmiştir. Bu depremden sonra yerdeğiştirme yine kuzeye doğru olmaya başlamaktadır. Ancak Düzce-Bolu Depremi'nden yaklaşık 12 hafta önce kuzeye doğru olan yerdeğiştirme, yine güneye dönmektedir. Deprem sonrası hareket yönü tekrar kuzeyce yönelmektedir. Diğer yandan, Ankara'nın alçalmakta olan düşey yöndeki yerdeğiştirmesi, Kocaeli Depremi'nden 12 hafta önce yükselmeye başlamış ve deprem sonrası yine alçalma konumuna dönüşmüştür. Süre kısaltılmakla birlikte, aynı durum Düzce-Bolu Depremi öncesinde de gözlenmektedir. Kocaeli Depremi'nin olduğu anda Ankara ve Gebze ölçüm noktalarındaki ani sıçramalara bir açık-



Şekil 12⁽⁸¹⁾

lama getirilmesi mümkün olmamakla birlikte, bunların dış etmenlerden kaynaklandığı düşünülebilir. Gebze ölçüm noktasının yatay yöndeki yerdeğiştirmesi hemen hemen sabit olmasına karşın, düşey yönde bir yükselme gözlenmektedir. Bölgedeki depremler gözönüne alındığında, özellikle Ankara ölçüm noktasının yerdeğiştirme şekli oldukça ilginç olup, bu noktadaki ölçüm sonuçlarının fiziksel anlamının yorumlanması konusunda daha ayrıntılı düşünülmesi ve değerlendirme yapılması yararlı olacaktır.

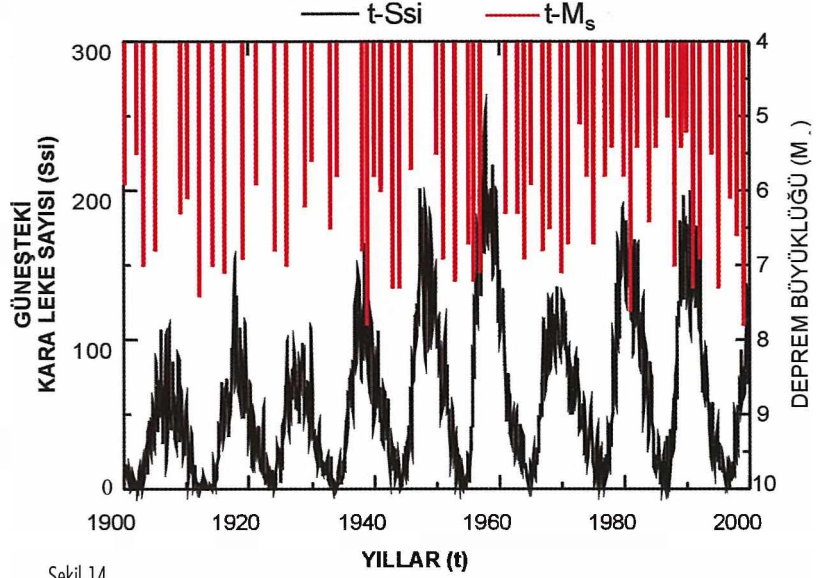
Güneş ve aydaki olgular ile Türkiye'de depremlerin oluşumu arasındaki ilişkiler: Güneşin ve ayın yerküredeki depremler üzerindeki etkilerinin olabileceği çok eskiden beri öne sürülmektedir. Türkiye'de meydana gelen depremlerle ilgili olarak bu konuya bir açıklık getirilebilmesi amacıyla bu yazıda bazı bilgiler sunulmuştur. Önce güneşin aktifliğini



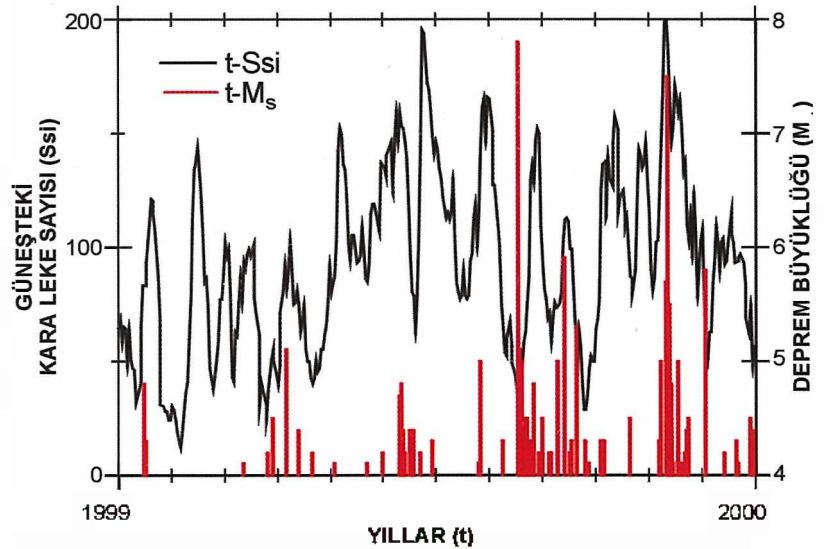
Şekil 13

gösteren kara leke sayısı (Ssi) ile deprem oluşumu incelenmiştir. Uluslararası Astronomi Topluluğu güneşteki kara leke sayısını uzun bir süredir ölçmektedir. Bu kaynaktan alınan yıllık kara leke sayısı ile 20'nci yüzyılda Türkiye'deki deprem oluşumu ilişkisi Şekil 14'te gösterilmiştir. Bu amaçla deprem verileri için hazırlanan bir veri tabanı^[32] ile NEIC'in veri tabanından yararlanılmıştır. Şekilden de görüleceği gibi, büyük depremler güneşteki leke sayısının doruk noktalarına ulaştığı zaman, büyüklüğü küçük olan depremler ise leke sayısının azaldığı zaman oluşmaktadır. Kocaeli ve Düzce-Bolu depremlerinin meydana geldiği 1999 yılında leke sayısının etkisini incelemek için günlük leke sayısı ile depremlerin büyüklüğü ($M_s > 4$) arasındaki ilişki araştırılmıştır (Şekil 15). Buna göre, 20'nci yüzyılda güneşteki lekeler ve deprem büyüklüğü arasındaki ilişki 1999 yılındakiyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Burada sunulan sonuçlar oldukça ilginç olmakla birlikte, kesin bir yargıya varılmadan önce daha ayrıntılı bir çalışma yapılması yararlı olacaktır.

Son olarak, 1999 yılı boyunca ay evreleri, dünyanın güneş çevresindeki ivme değişimi ve güneşten dünyanın aldığı ısı miktarının depremlerin oluşumuna olan etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her bir etmenin yıllık değişiminin ortalama değerinden olan farkı alınmış ve ortalama değerine bölünerek değerlendirilmiş ve Şekil 16'daki grafik çizilmiştir. Güneşteki kara lekenin etkisine ek olarak her bir etmenin etkisi farklı olup, oluşabilecek etki bu etmenlerin toplamına eşit olacaktır. Ay evreleri gözönüne alındığında, deprem oluşumu ile ay evreleri arasında bir ilişkinin olduğu şekle ilk bakışta görülmektedir. Özellikle büyük depremler,



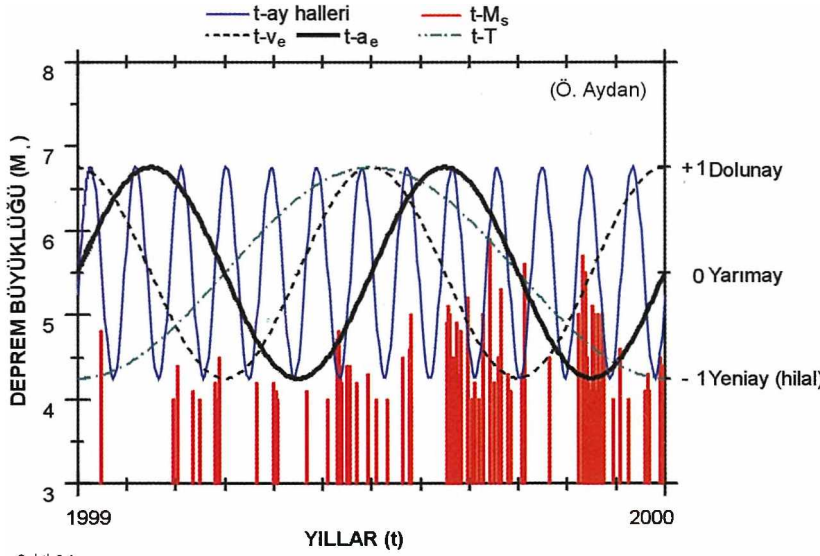
Şekil 14



Şekil 15

yeni ay (hilal) ve dolunaya yakın zamanlarda oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, dünyanın güneş etrafındaki yörüngesindeki hareketi sırasında oluşan ivme değişimi ile dünyaya giren ısıya bağlı olarak oluşan gerilimlerin etkisi de olacaktır. Dünya yaz ve kış aylarında hızlanırken, ilk ve sonbaharda yavaşlamaktadır. Dolayısıyla bu hızlanma ve yavaşlamaya bağlı olarak oluşan ivme, ilkbahar ve sonbaharda en yüksek, kış ve yaz aylarında en küçük olacaktır. Bu ivme değişimleri yerkabuğunda gerilim değişimine neden olacak ve faylanmanın türü ile sözkonusu

yerin uzaysal konumuna bağlı olarak depremlerin oluşumu değişecektir. Şekil 16'da, faylanmanın türüne göre bir ayırım yapılmakla birlikte, dünyanın hızı ve ivmesinin doruk noktaları ile depremlerin sayısı arasında belirgin bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Güneşten dünyaya giren ısıya göre yerküresinde ek gerilimler oluşacaktır. Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarımkürede düşüldüğünde, sıcaklığın artışı yaz aylarında yerkabuğunda sıkışma gerilimini arttıracak ve kış aylarında ise çökme özelliğine sahip olması nedeni ile gerilim azalacak-



Şekil 16

tır. Diğer yandan, güney yarımkürede durum tersine olacaktır. Dolayısıyla faylanmanın türüne bağlı olarak, fay yüzeyine etkileyen makaslama gerilimleri ve normal gerilimler değişecektir. Faylanmanın türüne göre burada bir ayırım yapılmamakla birlikte, yaz ve kış aylarında Türkiye'de deprem oluşumunun yüksek olabileceği söylenebilir. Burada sunulan yorumlardan ve sonuçlardan, güneş ve ayın yaptığı etkiler ile depremlerin oluşumu arasında bazı ilişkilerin olduğu izlenimi elde edilmiş olmakla birlikte, bu olayın fiziksel anlamda neden-sonuç ilişkileri mevcut koşullarda net olarak açıklanamamaktadır.

Sonuç

Depremlerin önceden tahmini demek; depremin zamanını, yerini ve büyüklüğünü saptayabilmektir. Bunu başaramayan bir yöntem, hiçbir zaman eksiksiz ve güvenilir bir yöntem olarak tanımlanamaz. Bu nedenle, yukarıda özetle açıklanan yöntemlerin hiçbirinin depremin zamanını, yerini ve büyüklüğünü saptayabilecek düzeyde olduğunun ileri sürülmesi mümkün değildir.

Dolayısıyla "depremler önce-

den haber verilebilir mi?" sorusunun yanıtı şu anda kesinlikle "HAYIR" olmaktadır. Depremlerin önceden haber verilmesini amaçlayan bilimsel çalışmaların uzun yıllar ve büyük kaynaklar ayrılarak sürdürülmesine karşın, bunun başarılması mümkün olmamıştır. Bununla birlikte, bilimsel anlamda yeterli düzeyde araştırılan ve yeterli veri toplanan bölgelerde oluş zamanı ve büyüklüğü bilinmemekle birlikte, jeodezik ve nümerik analiz tekniklerinin kullanılmasıyla, en azından, bir depremin meydana gelebileceği veya yakın gelecekte depreme aday olabilecek bölgeler hakkında fikir yürütülebilmektedir.

Sismik aktivite konusuna ilk eğilen sismologlardan Charles F. Richter, 1964 yılında depremlerin önceden tahmin edilmesi konusunda yaptığı bir konuşmasında, "deprem tahminine yönelik iddia sahiplerinin genellikle art niyetli, medyatik, ya da geleceği tahmin etme eğilimindeki kişiler" olduğunu belirtmiştir. Richter'in depremlerin tahmin edilemez olduğu şeklindeki düşüncesine karşın, günümüzde bilim adamları depremlerin önceden tahmin edilebilirliği konusunda olumlu ve olumsuz görüşlere sahiptirler ve

bu konuda bir görüş birliği olmadığı anlaşılmaktadır. Depremlerin tahmin edilebilirliği konusu, Şubat-Nisan 1999 tarihleri arasında dünyanın önde gelen saygın bilim dergilerinden Nature tarafından tartışmalar köşesinde bilim adamlarının görüşlerine açılmıştır. Bu tartışmanın genel sonucu "depremler hakkında güncel bilgi birikiminin son derece sınırlı olmasından dolayı bugün için depremlerin tahmin edilebilir olmadığı" şeklindedir⁽³³⁾.

Doğanın ve depremlerin karmaşıklığı nedeniyle, bu konuda daha somut sonuçlara ulaşılması için daha uzun yıllara gereksinim duyulduğu açıktır. Bu nedenle "bilimin bugün ulaştığı düzeyde önceden tahmini kesin olarak mümkün olmayan bu doğa olayının karşısında ümitsizce beklemek, ya da gelecekte depremlerin önceden kesinlikle tahminine olanak sağlayacak yöntem veya yöntemlerin geliştirilmesini bekleyerek, yapılarımızı bilimsel temellerden yoksun olarak seçilmiş bölgelerde, zeminin jeolojik ve jeoteknik özellikleri gözönüne alınmadan, mühendislik hizmetlerinden yoksun ve deprem yönetmeliklerine aykırı biçimde inşa ederek yaşamaya devam etmenin" ne denli hatalı bir yaşam biçimi olduğunun idrak edilmesi gerekmektedir. Gelecekte depremlerin tahmini önceden mümkün hale gelse bile, belki sayısı önemli ölçüde azalmakla birlikte, yine can kayıplarının olabileceği ve kötü inşa edilmiş yapıların yıkılmasının ve/veya hasar görmesinin engellenemeyeceği gerçeğinden hareketle, depreme duyarlı bölgelerdeki tüm dünya ülkelerinde uygulandığı gibi,

♦ üzerinde ve içinde yapılarımızı inşa ettiğimiz zeminlerin jeolojik, yapısal ve mühendislik özellikleri ile dinamik yükler altın-

daki davranışlarının önceden belirlenmesi,

♦ yer seçimi ve yapı tasarımı çalışmalarının, mühendislik hizmetlerinin esas alınarak yapılması ve depreme dayanıklı yapı inşasına önem verilmesi gibi iki önemli ilke her zaman ön planda tutulmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Aydan, Ö., (1995). The stress state of the earth and the earth's crust due to the gravitational pull, 35th US Rock Mechanics Symposium, Lake Tahoe, 237-243.
- [2] Nur, A. (1972). Dilatancy, pore fluids and premonitory variations of V_s/V_p travel times. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62 (5), 1217-1222.
- [3] Toksöz, M.N. (1977). Earthquake prediction research in the United States. Predicting Earthquakes, Panel on Earthquake Prediction of the Committee on Seismology, NRC, 37-50.
- [4] USGS (1999). Crustal deformation measurements at Parkfield. (<http://quake.wr.us-gs.gov/QUAKES/crustaldef/park.html>)
- [5] Aggarwall, Y.P., Sykes, L.R., Armbruster, J., and Sbar, M.L. (1973). Premonitory changes in seismic velocities and prediction of earthquakes. *Science*, 180, 632-635.
- [6] Barsukov, O., and Sorokin, O.N. (1973). Variations in apparent resistivity of rocks in the seismically active Garm region. *Phys. Solid Earth*, 10, 685.
- [7] Yasui, Y. (1973). A study of luminous phenomena accompanied with earthquake. *Mem. Kakioka Magn. Observ.*, 13, 25-61.
- [8] Derr, J.S. (1973). Earthquake lights: a review of observations and present theories. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 63(6), 2177-2187.
- [9] Pierce, E.T. (1976). Atmospheric electricity and earthquake prediction. *Geophysical Res. Letters*, 3(8), 185-188.
- [10] Geller, R. (1997). Earthquakes cannot be predicted. *Science*, 275, 161.
- [11] Sultankhodzhaev, A.N. (1984). Hydrogeoseismic precursors to earthquakes. *Int. Symp. on Earthquake Prediction, Paris*, 181-191.
- [12] Tsunogai, U., and Wakita, H. (1995). Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan, *Science*, 61-63.
- [13] Walsh, J.B. (1975). An analysis of local changes in gravity due to deformation. *Pure Applied Geophysics*, 113, 97-106.
- [14] Ikeya, M., Matsumoto, H., and Huang, Q.H. (1998). Alignment of silkworms as seismic animal anomalous behaviour (SAAB) and electro-magnetic model of a fault: a theory and laboratory experiment. *Acta Seismologica Sinica*, 11(3), 365-374.
- [15] Buskirk, R.E., Frohlich, C., and Latham, G.V. (1981). Unusual animal behaviour before earthquakes: a review of possible sensory mechanisms. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 19 (2), 247-270.
- [16] Hamada, M., and Aydan, Ö., (1992). The site investigation of the March 13 Earthquake of Erzincan, Turkey. ADEP, Association for Development of Earthquake Prediction, 86pp.
- [17] Aydan, Ö., and Kumsar, H. (1997). A site investigation of Dinar Earthquake of October 1, 1995. Turkish Earthquake Foundation, TDV/DR 97-003, 166 pp.
- [18] Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H., and Tuncay, E. (1998). A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation, TDV/DR 006-30, 131pp.
- [19] Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z., and Taşkın, B. (1999a). A site investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999. Turkish Earthquake Foundation, 180pp.
- [20] Hürriyet Gazetesi, 15 Kasım 1999
- [21] Milliyet Gazetesi, 12 Aralık 1999
- [22] Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Ateş, S., Keçer, M., Erkal, T., Özalp, S., Yıldırım N. ve Güner, N. (1999). 12 Kasım 1999 Düzce Depremi saha gözlemleri ve ön değerlendirme raporu. MTA. (<http://www.mta.gov.tr/dzc.htm>).
- [23] Igarashi, G., Sacki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M., and Sano, Y. (1995). Groundwater radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan, *Science*, 269, 60-61.
- [24] Friedman, H., Ariç, K., King, C.Y., Altay, C., and Sau, H. (1988). Radon measurements for earthquake prediction along the North Anatolian Fault Zone; a progress report, *Tectonophysics*, 152, 209-214.
- [25] Şimşek, Ş., and Yıldırım, N. (2000). Observations, measurements and evaluations of the geothermal fields located at 17 August and 12 November 1999 Eastern Marmara Earthquake Region of Turkey. IGA Bulletin (in press)
- [26] Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N. (2000). İzmit ve Düzce depremlerinde jeotermal değişimler. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 387, 70-73.
- [27] Tezcan, L., Doğdu, N. ve Kırmızıtaş, H. (2000). Sismik aktivitelere bağlı yeraltı suyunun değişimi. 53. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 21-25 Şubat, 2000 Ankara, Bildiriler Kitabı, s.164.
- [28] Fleegeer, G.M., and Goode, D.J. (1999). Hydrologic effects of the Pymatuning Earthquake of September 25, 1998, in Northwestern Pennsylvania. U.S. Department of Interior, USGS, Water-Resources Investigations Report 99-4170.
- [29] İspir, Y., Uyar, O., Güngörmüş, Y., Orbay, N., and Çağlayan, B. (1976). Some results from studies on tectonomagnetic effect in NW Turkey. *J. Geomag. Geoelectr.*, 28, 123-135.
- [30] Büyüksaraç, A., Reiprich, S., and Ateş, A. (1998). Three-dimensional magnetic model of amphibolite complex in Taşkesti area, Mudurnu valley, North-West Turkey. *J. of the Balkan Geophysical Society*, 1 (3), 44-52.
- [31] Gerstenceker, C., Akin, D., and Demirel, H. (1999). Gravity changes along the western part of the North Anatolian Fault. (<http://www.gfz.potsdam.de/pb2/pb21/Mudurnu/gravity.html>)
- [32] Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yarar, R. (1996). The seismic characteristics of Turkish Earthquakes. 11th World Conference on Earthquake Engineering., Acapulco, Mexico, 1-8.
- [33] Main, J., 1999. Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal. *Nature* (<http://helix.nature.com/dcbates/earthquake/earthquakecontents.html>)

Ömer Aydan

Prof. Dr. Tckai University,
Dept of Marine Civil Engng., Shimizu, Japan
aydan@scc.u-tckai.ac.jp

Reşat Ulusay

Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
resat@hacettepe.edu.tr