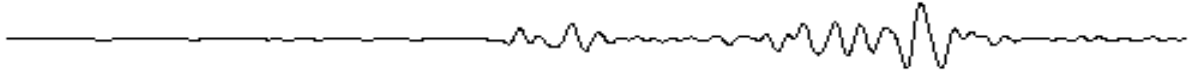


DEPREMLERİN HABERCİLERİ VE JEOFİZİK

Haberci Canlılar ve Jeofizik işaretler

- 1-Kocaeli 17 Ağustos Depremi ve Haberciler
- 2- Yaşamımızdaki Deprem Habercileri
- 3- Küstüm çiçeğinin (Mimosa pudica) esrarı ve depremden önce düşen çiviler
- 4- Haberci Canlılar ve Jeo-elektromanyetik
- 5- Çok disiplinli Jeofizik-Jeohidrolojik Yöntemlerle Depremlerin Önceden Kestirilmesi
- 6- Jeoelektrik Yöntemler
- 7- Depremlerin Önceden Kestirilmesinde bir Örnek
- 8- Deprem Habercisi Jeofizik- Jeohidrolojik Değişimler
- 9- Haberci Bulgular ve Sonuçlar



1- Kocaeli 17 Ağustos Depremi ve Haberciler

Giriş: 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremini izleyen günlerde halk arasında: yeraltı sularının akış rejimlerinin değiştiği, gökyüzünde bazı ışıkların gözleendiği, evcil hayvanlarda bazı davranış bozuklukları izlendiği konusunda konuşmalara hepimiz tanık olduk. Bu yazıda; sözü edilenlerden bazılarına değinilecek ve daha da ileri giderek bilimsel açıklamalar getirilecektir. Şurası gerçek ki; deprem ışımaları (şimşekleri), deprem bulutları, uzamış ay görüntüsü, ve hayvan davranış anomalileri gibi 1519 adet olay, 17 Ocak 1995 Kobe depreminin habercisi olarak bu depremden sonra fax, elektronik mesaj ve telefonlarla Japonya’da sismoloji alanında çalışan kurum yada kişilere bildirildi. Bunun gibi diğer bazı ilginç olaylar ve getirilen bilimsel açıklamaları aşağıda verilmiştir. Aynı zamanda Jeofizik teknikler kullanarak “depremleri önceden tahmin etme” (earthquake prediction) konusunda gerçek verilere dayalı ve Jeofizik literatüründen seçilmiş örnek çalışmalar da burada konu edilecektir.

Yaşamımızdaki Deprem Habercileri Bazen depremin habercisi niçin kuvartz saatler ?



6427 kişinin hayatını yitirdiği 17 Ocak 1995 Kobe depreminden bir gün önce, deprem episantır noktasından 25 km uzaktaki bir şehirde yaşayan Japon vatandaşı Osaka Üniversitesindeki Yer ve Uzay Bilimleri merkezininde deprem konusunda çalışması ile tanınan Dr. H. Matsumoto'ya telefon etti ve olağan dışı esrarengiz haberci bir olay hakkında konuşup kendisine bilimsel şekilde açıklanmasını istedi. Anlatılana göre depremden önce: Evdeki bir kuvartz masa saatinin yelkovanı hareketini durdurdu ve belirgin olarak ters yönde hareket etmeğe başladı. Benzer olarak Japonya'daki bir üniversite öğrencisinin de Kobe depreminden önce aynı sıradışı olayı yaşadığını fakat bunu kimseye anlatmadığı bilinir. Saat depremden sonra normal olan önceki çalışmasına devam etti. 1976 yılında 240000 kişinin hayatını yitirdiği Büyük Tangshang (tangşayn) depreminden 8 saat önce de deprem episantır noktasından 160 km uzaktaki Beijing'de kuvartz saatlerin durduğu yine rapor edildi. Diğer yandan bu tür saatlerin bazılarındaki yelkovanın depremden bir gün önce bu kez normal yönde, olduğundan daha hızlı şekilde döndüğüne ilişkin duyumlar da alındı. Konunun bilimsel olarak açıklanabilmesi için Osaka Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Merkezi araştırma laboratuvarında bir dizi deneyler yapıldığı bilinmektedir. Bi2r kuvartz saat Statik elektrik jeneratörünün alüminyum folye ile kaplı olan 2 küresi üzerine yerleştirildi. Jeneratörden 10 W gücünde 120-130 MHz frekansında bir elektromanyetik alan uygulandı. Bu elektromanyetik alan etkisi altında kalan saatin yelkovanı normalinden 8 kat daha hızlı dönmeye başladı. Gerçekleştirilen bu olaya elektronik olarak şu açıklama getirildi. Uygulanan elektromanyetik alandan dolayı dijital saatin elektronik devresinde bir elektrik şarj (yük) atlaması olmuş ve bundan dolayı meydana gelen sıradışı akım saat motorununun aksi yönde hareketini tetikleyip yelkovanın ters polaritedeki yönde dönmesine veya aynı polaritedeki hareketini tetikleyip yelkovanın daha hızlı dönmesine neden olmuştur. Bu deneyler dizisi Kobe depremi öncesi kuvartz saatlerde gözlenen yukarıdaki olayların deprem oluşum mekanizmasının bir elektromanyetik alan yarattığını açıklar.

Küstüm çiçeğinin (Mimosa pudica) esrarı ve depremden önce düşen çiviler



Herkezce bilinen (küştüm) saksı çiçeği (Mimosa pudica) yine bu laboratuvar deneyinde önce Van de Graaff statik elektrik jeneratörünün küresi üzerine yerleştirildi. Uygulanan elektromanyetik alan etkisi altında bu çiçeğin yapraklarını pörsütüp sarkıttığı gözlemlendi. Küştüm çiçeğinin küsmesi bunun elektrostatik olarak indüklenmiş elektrik akımlardan panikleme ile açıklanır. Ansei kronolojisinden verilen ve 150 yıl önce kayıt edilmiş meşhur bir Japon hikayesi, bir demir mıknatısta asılı duran 15 cm uzunluğundaki demir çivilerin Ansei depreminden önce düşmesi üzerinedir. Çiviler, depremin P dalgası (ki bu hemen hissedilen sismik dalgadır) henüz algılanmadan düşmüştür. Bu kronolojik hikaye depremden önce sudaki kedi balıklarının anomali davranışlarını da anlatır. Canlıların bu konudaki benzer anomali davranışları izleyen paragrafta ele alınacaktır. Bu mıknatıs ve çivi olayından hemen sonra bir manyetik mıknatısın depremlerin önceden kestirilmesi konusunda prediktör (önceden haberci) olabileceği düşünülmüş fakat bunun yararlı olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Hatta bugün bile, depremlerin önceden

kestirilmesi çalışmalarını sürdüren sismologlar tarafından: tam depremde veya depremden önce manyetik alan şiddetinin değişmesine karşın bunun gözardı edilebileceği gerçeği konuşulur.Osaka Üniversitesi araştırma laboratuvarında bu mıknaş ve çivi olayının bilimsel olarak açıklanabilmesi için bir dizi deneyler gerçekleştirildi. Bazı çiviler Van de Graaff statik elektrik jeneratörü küresi üzerindeki bir manyetik askıya tutturuldu. Jeneratörün büyük gerilim küresi elektrostatik olarak yüklendiğinde çivilerin herbiri bir ötekine doğru eğilerek kapanıp yere düştü. Bunun gibi benzer diğer bir dizi deney sonuçları ve Ansei hikayesi birlikte yorumlandığında depremi meydana getiren fay sistemleri aynı zamanda büyük bir elektromanyetik alan üretirler. Bu alanın etkisi yukarıda yaşanan ve gözlenen yeryüzü olayları ile kendisini belli eder.

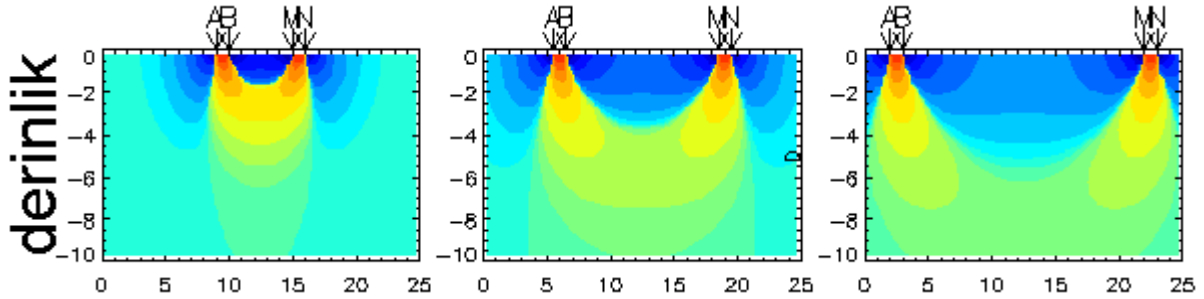
Haberci Canlılar ve Jeo - Elektromanyetik



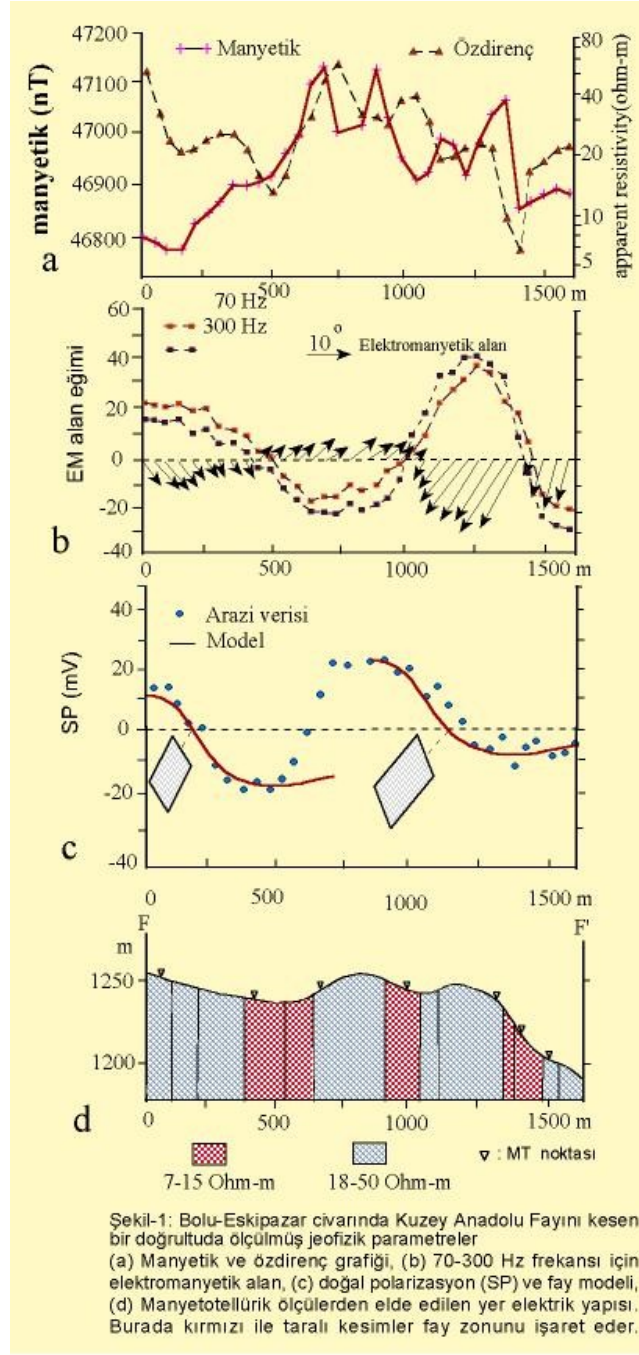
Bir doğa olayı olan depremlerin ürettiği elektromanyetik alanın aynı zamanda çok sayıda canlı hayvan varlığını irkitererek onları uyardığı söylenebilir. Ülkemiz insanların da 17 Ağustos 1999 depreminden sonra akıllarından geçirerek dile getirdikleri bu tür canlı hayvanların deprem habercisi olabilme özelliği gerçekte akıl dışı bir olay değildir. Ancak bu konuda bir homojenlikten söz edilemez. Diğer meşhur bir hikaye ise Japonya'da bir balıkçıya maledilir. Balıkçı her zaman nehirde rastgeldiği yılan balıklarının nehirde bulunmadığını ve nehirdeki yayın balıklarının ise panik içerisinde anomali hareketler yaptığını hayretle izler. Bu olayları bir deprem kehaneti olarak yorumlayan balıkçı hernasılsa 1846 Ansei depreminde ($M=7.8$) hayatını kurtarır. Bu olayın günümüzde açıklanmasını sağlamak için yine Osaka Üniversitesi Yer ve Uzak Bilimleri laboratuvarlarında 1996 yılında bazı deneyler gerçekleştirildi. 60 cm uzunluğunda bir yayın balığı ile 50 cm uzunluğunda iki yılan balığı 90x40 cm boyutundaki bir akvaryumda (32 cm yüksekliğindeki) su içerisine, 40x40 cm boyutunda olan ve 87 cm aralıkla duran iki alüminyum elektrod levha arasına konuldu. Bir elektronik “pulse” jeneratörü (osilatör) aracılığı ile (1ms zaman aralıkları ile) tekrarlanan 4 Voltluk bir elektriksel gerilimi akvaryuma elektrodlar yardımıyla uygulandığında hayvanların telaş, panik ve heyecan içerisindeki kaçışları ve hareketlilikleri video kameradan izlendi. Benzer olarak 1995 Kobe depreminden önce su aygırlarının suya dalarak bir süre görünmedikleri anlaşılır. 1971 deki Izu-Ohshima'daki volkanik püskürmeden ve onun

depreminden önce, hayvanat bahçesindeki timsahların feryad ederek vahşice davrandıkları bildirilmiştir. Kobe depreminin hemen öncesinde bazı balık türleri ve ipek böcekleri genel bir sıraya dizilmişler ve bazı balıklar ise kendilerini sudan dışarı attıkları için yaşamlarını yitirmişlerdir. Elektro-Psikolojik tepkiler (panik, heyecan, telaş) veren bu hayvanlardan en büyük davranış anomalisi sergileyen yılan balıklarının Sismo-Elektromanyetik alanlara daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır. Yukarıda anlatıldığı gibi hayvanlarda Elektro-Psikolojik davranışlara neden olan elektrik- elektromanyetik alan, bir tektonik fay sisteminde, deprem sürecinde üretilen ve elektronik olarak ölçülebilecek fiziksel parametredir. Bu alanı üreten bir TEKTONİK FAY aslında matematiksel tanımı yapılabilen bir Elektromanyetik modeldir. Deprem öncesi ve sonrası faylardaki gerilim (stress) değişiminin neden olduğu Sismo-Elektromanyetik anomaliler bu modellerden hesaplanabilir.

Çok disiplinli Jeofizik-Jeohidrolojik Yöntemlerle Depremlerin Önceden Kestirilmesi



Yukarıda verilen sismo-elektromanyetik olayın kökeninde aslında yeraltısuyu hareketlerinin işlevi gözardı edilemez. Tektonik olarak aktif fay kuşakları civarındaki aşırı elastik gerilim farklılığı nedeniyle yeraltısuyu akışmalarında sıradışı bir artış vardır. Bu yeraltı dinamik olayı yeryüzünden ölçülebilir büyüklükte bir takım JEOFİZİK anomalileri ortaya koyar. Şekil 1, Kuzey Anadolu Fay kuşağının Bolu-İsmetpaşa civarında kuzey-güney yönündeki bir doğrultuda 1982 yılında ölçülen jeofizik anomalileri ve onların değerlendirilmelerinden elde edilen fay modellerini gösterir. Farklı anomali parametrelerinde birliktelik gösteren değişimler ilginçtir. Bu arazi çalışması tektonik olarak aktif bir fayın daha arazide belirlenmesini amaçlar. Depreme aday yeraltı bölgesinde deprem oluşumu öncesi öyle olaylar meydana geliyor ki herbirinin Jeofizik ve Jeo-hidrolojik olarak belirteçleri zamanın fonksiyonu olarak yeryüzünden izlenebilir yani "monitoring" yapılır.

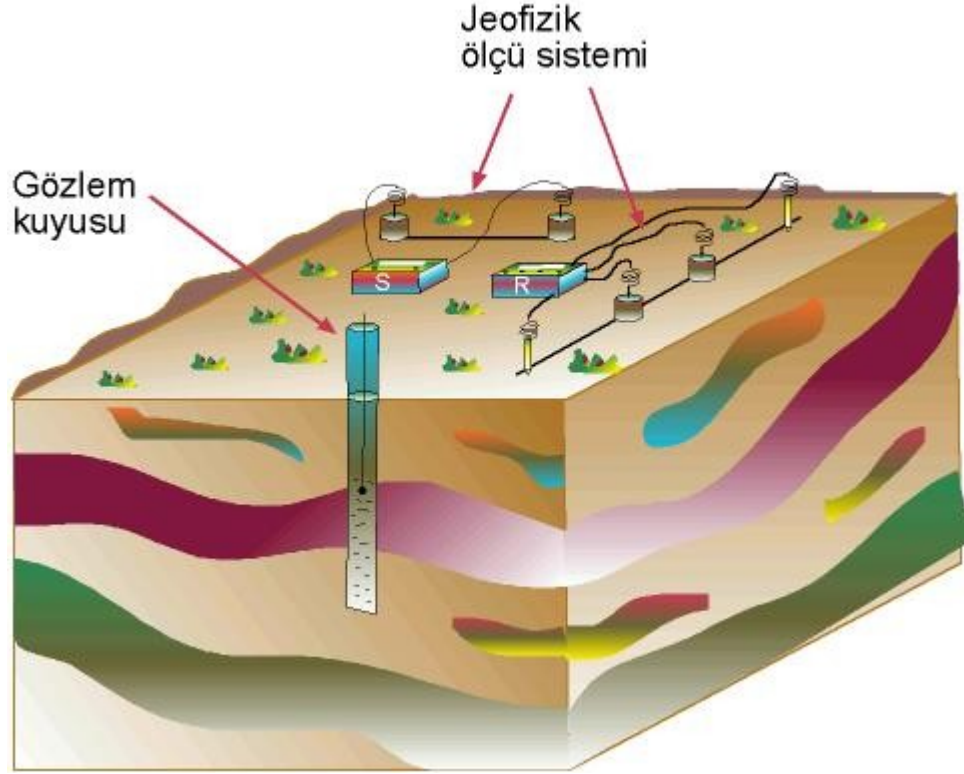


Şekil 1: Bolu'da bir tektonik fay'ın jeofizik modeli

Jeoelektrik Yöntemler

Yeryüzünde depremlerin önceden kestirilmesine yönelik olarak yapılacak jeofizik ölçümler; Elektrik özdirenç, doğal gerilim (self-potential=SP), tellürik yer akım kayıtlarıdır. Jeo-hidrolojik ölçümler ise; Kuyu Suyu Seviyesi (KSS), Kaynak Suyu Boşalımı (KSB) dır. Şekil 2'de Elektrik özdirenç ve SP ile tellürik ölçümler için bir

arazide akım ve gerilim elektrodlarının dizilimi blok görüntü olarak verilmiştir. Yere akımın verildiği elektrodların daha geniş olarak arazide yayılımı ile yeriçinin daha derin kesimlerinin araştırılması bu teknikte esastır. Şekil 3'de bu yöntemin işleyişi ve derinlik ilişkisi gösterilmiştir. Doğal gerilim (SP) yönteminde ise yeriçindeki fay civarında ortaya çıkan sıradışı su akışmalarının yarattığı doğal yer akımları ölçülür (Şekil 4). Ancak burada konu olarak edinilen Depremleri Önceden Kestirme çalışmalarında heriki yöntemde de elektrod dizilimi belirlenen bir konumda tutularak zamana bağlı ölçümler alınır.



Şekil 2: Depremlerin önceden haber verilmesi amacı ile uluslararası bilimsel normlarda yapılan arazi "Monitoring" sistemi

Depremlerden önce kayaç yapısında oluşan jeofizik değişimler

Tektonik depremler için öne sürülen esneklik-geritepme "elastic rebound" teorisi yer içindeki yığılma kırılma deformasyonlarının artarak birikmesinin y2erkabuğunu kırıdığını açıklar. Bu deformasyon deprem odağı (hiposantır) civarında maksimumdur. Ve bu deformasyon yeraltı kayaçlarının2 fiziksel koşullarına bağlı olarak deprem odak civarından uzaklaştıkça azalır. Japonya'da2 Yoshino kenti civarında 18 Temmuz 1952 tarihinde meydana gelen depremde, episantır noktasından 94 km uzakta kuzeydeki Osakayama gözlem evinde 2.5×10^{-6} değerinde bir deformasyon ölçülmüştür. Diğer yandan, Japon yerbilimcilerinin benzer böyle gözlemlerinden; "kayaçlar yalnızca odakta deforme olmazlar fakat olası deprem odağından uzakta da ölçülebilir bir deformasyona neden olabilirler" sonucu ortaya çıkar. Bu nedenle, böyle daha uzaktaki yerlerde daha zayıf olan deformasyonları gözlemek için uygun jeofizik ölçü

düzeneklerin kurulup işletilmesi gereklidir (Şekil 2). Şimdi bu uygun jeofizik yöntemin; neden elektrik öz direnç ve SP yöntemi olduğunun yanıtını aşağıda göreceğiz. Kayaçların elektrik öz direnç değişim miktarının o kayacın bir mekanik deformasyonu sırasında 300 kat daha farklı bir değere ulaşabileceği, hatta bir öz direnç ölçü sisteminin (Şekil 2 ve 3) 0.000000001 seviyesindeki bir deformasyonun etkisini elektrik olarak algılayabileceği anlaşılmıştır. Deformasyonların yığinsal artış periyodunun izlenmesi yardımıyla tektonik depremlerin önceden tahmin edilebileceği bilinir. Buna bağlı olarak bu deformasyonların etkilerinin de aynı zamanda elektrik parametrelerde izlenebilmesi depremlerin oluş zamanlarının tahmin edilmesinde Jeo-elektrik izleme "monitoring" (Şekil 2) yapılmasının önemini arttırmaktadır. Ancak bu izleme ölçülerinden başka daha da ileriye giderek kayaçların mekanik karakteristiğine bağlı olan jeofizik parametrelerin gerilme alanları etkisi altında ortaya koydukları elastik deformasyon değişimlerinin Jeo-elektrik parametrelerde ne gibi sonuçları doğurduğuna bakılmalıdır. Elektrokimyasal SP, kırılmış kayaç gözenekliliği, hidrolik basınç ve kil ile diğer minerallerin varlığından ileri gelir. Su tablası civarında hidrolik basınç etkisi altındaki kayacın mikro-gözenekleri boyunca kayaç gözenek suyu hızlı olarak yer değiştirir. Bu akan gözenek suyu iyonlarının neden olduğu mikro akımların yığinsal toplam büyüklüğü SP elektrokimyasal belirtiyi meydana getirir. Meydana gelen elektrokimyasal belirtinin ortaya çıkardığı elektriksiz gerilimi ancak milivolt büyüklüğünde ölçülür ve bu da bir arazi düzeneği ile olanaklıdır (Şekil 4). 2



Şekil 3: Yeraltındaki yapay elektrik akım akışı



Şekil 4: Depreme aday yeraltı kesimindeki basınç-gerilim nedeni ile artan su akışmaları doğal bir elektrik akımı meydana getirir

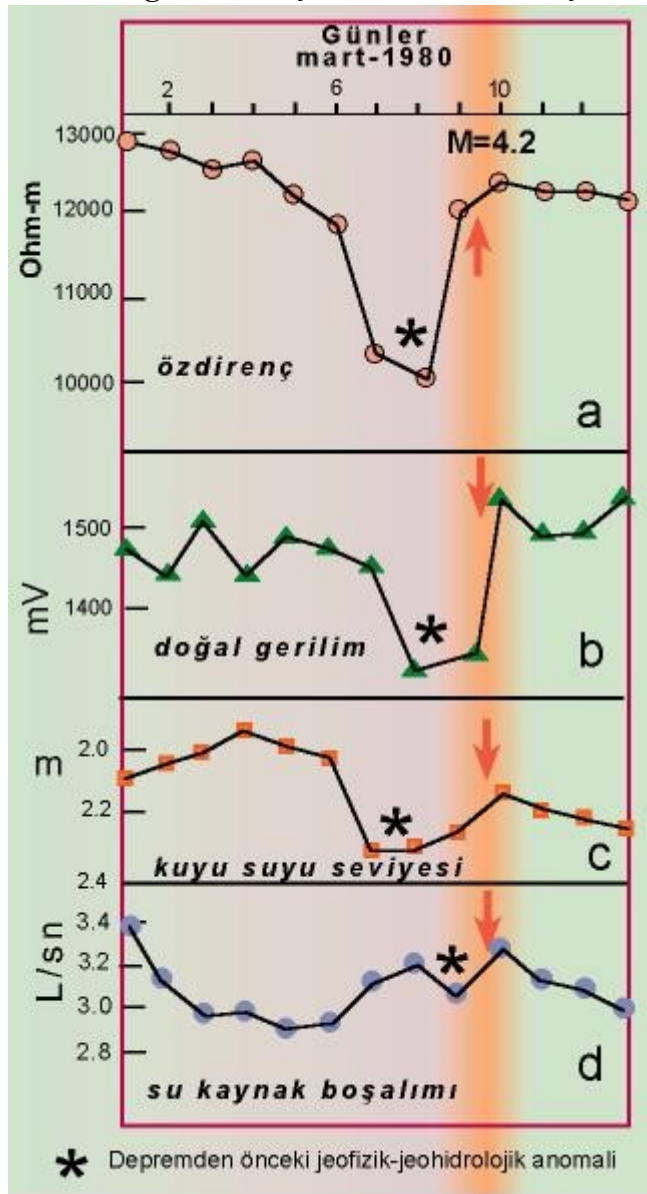
Depremlerin Önceden Kestirilmesinde bir Örnek

Hindistan'ın Shillong kenti civarındaki kayaçların Jeo-elektrik ve hidrolojik parametrelerinin gözlenmesine 12 Şubat 1980 günü başlanılmıştı. Bu ölçümler, 16 Şubat 1980 günü meydana gelecek tam güneş tutulması sırasındaki (gel-git) çekim etkilerinin yeri için ortaya koyduğu değişimleri belirleme gerçeği üzerine başlatılmıştı. Tam güneş tutulmasını izleyen 17 Şubat 1980 günü (Richter ölçeğine göre $M=4$ büyüklüğünde) orta büyüklükte bir deprem olmuş ve yapılan gözlemlerin bu olayla ilgili bazı karakteristik değişimleri içerdiği anlaşılmıştır. Bunun devamı olarak SP, yer akımları (telluric currents), özdirenç, KSS ve KSB ölçümlerine, depremin meydana gelişi ile ilgili olarak bu parametre değişimlerinin korelasyonunu görmek amacıyla bir süre daha devam edilmişti. Gözlenen bazı karakteristik davranışlar üzerine Jeo-elektrik ve Jeo-hidrolojik parametrelerin depremlerin meydana gelişindeki anlamlı değişimlerini izlemek amacıyla sürekli izlemeye (monitoring) 5-6 ay daha devam etme kararına varılmıştı. Kuzeydoğu Hindistan'ın "Alpine-Asiatic" deprem kusağında yer aldığı ve burada etkili olarak tektonik depremlerin meydana geldiği çok iyi bilinir. 25-30 kadar mikrodprem (Richter ölçeğine göre büyüklüğü 3.5 dan düşük) Shillong civarında yerleştirilen istasyonlarda hergün kayıt edilmişti. Bu mikrodpremler yukarıda adı tanımlanan Jeofizik parametreler ile ilgili olarak herhangi bir değişim ortaya koymadıklarından dolayı genellikle bir önem ve anlam taşımazlar. Yine de bu Jeofizik parametreler Richter ölçeğine göre en azından 3.5-5 büyüklüğündeki orta depremler tarafından etkilenirler. Şekil 2'de gösterilen ölçü düzeneğinin kurulduğu sürekli izleme istasyonunda Jeofizik ölçüler alınırken ayrıca KSB ve KSS verileri de aynı dönemlerde sistematik olarak ölçülmüştü. Gözlem yeri, herhangi bir yerel jeofizik anomaliyi meydana getirmeyecek özellikte seçildiğinden SP ve özdirenç değişimleri bu sahadaki

kayaçların tamamen petrofizik özelliklerine (kırıklık, tane büyüklüğü, gözeneklilik, su doymuşluğu gibi) bağlıdır.

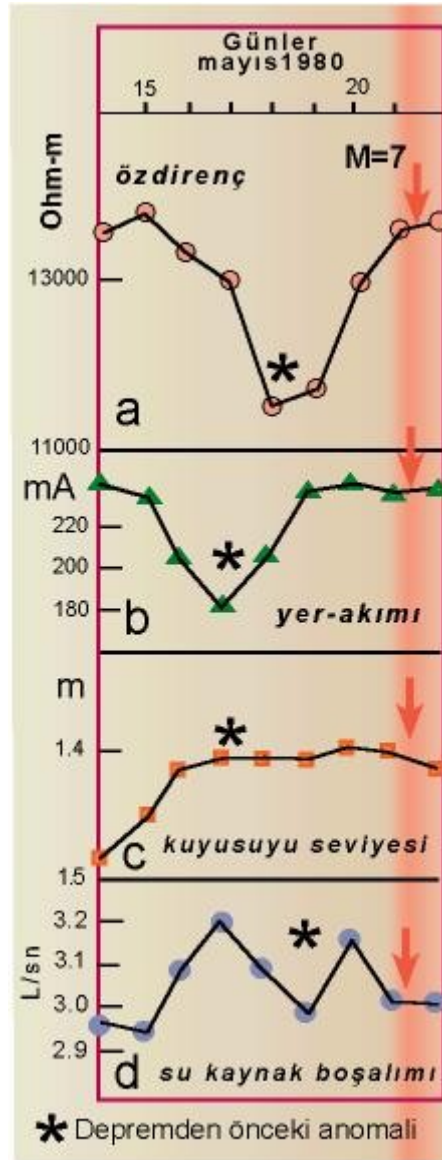
Deprem habercisi Jeofizik-Jeohidrolojik Değişimler

9 Mart 1980 günü, büyüklüğü $M=4.2$ ve episantırı gözlem bölgesinden 55 km güneydoğuda olan bir deprem meydana gelmişti. Şekil 5'de gösterildiği gibi izlenen öz direnç 12,800 ohm-m den geçişli olarak 10,300 ohm-m değerine 7 günlük bir periyod boyunca düşmüştü. Deprem, öz direnç değişiminin bu anomaliden sonraki anomali öncesi seviyesi'ne ulaştığı aşamada meydana gelmiştir. Kayıt edilen SP ise 7 günlük periyod boyunca 1500 mV normal değerinden yaklaşık 1350 mV seviyesine düşmüştür. Deprem bu farklılığın 7 günlük periyotta en az olduğu zamana rast gelmiştir. Bu sismik olaydan sonra SP gerilim farklılığı artmıştı. Deprem oluşum sürecinde KSS ve KSB de bir düşüş gözlemlendi. KSS nin düşüşündeki normal mevsimsel trendden olan 0.4 m lik sapma oldukça anlamlı olarak yorumlandı. KSB parametresi toprağın sığ kesimlerdeki sızıntılardan etkilenirken fakat öz direnç 50 m altından daha derin kesimlerdeki koşulların etkisini gösterecek şekilde etkilenmemiştir.



Şekil 5: Meydana gelmiş depremle ilişkili olan anlamlı Jeofizik ve Jeo-Hidrolojik değişimler

Şekil 6 ise 20 Mayıs 1980 günü gözlem yerinin 261 km kuzeyinde oluşan büyük (M=7) bir deprem ile ilişkili olan Jeofizik ve Jeo-hidrolojik “monitoring” izleme değişimlerini göstermektedir. Özellikle elektrik özdirenç ve SP nin anlamlı değişimleri bu depremin önceden habercisi olarak gözlenmişti. Elektrik özdirenç, depremden önceki günlerde oldukça azalarak bir anomali vermiştir. Daha ileri günlerde anomali öncesi seviye’ye ulaştığı değerlerde deprem meydana gelmiştir. Yukarıda tanımlananlara ek olarak bu çalışma sırasındaki bazı deprem gözlemlerinden elde edilen Jeofizik ve Jeo-hidrolojik parametre şablonları Tablo 1’de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi özdirenç ve KSS değişimleri diğer parametrelerden daha az belirsizlik taşımaktadır. Özdirenç değişimleri deprem öncül oluşumları için öne sürülen Rus modelindeki sismik dalgaların hızı ve “dilatancy-diffusion” modelinde tanımlanan V_p/V_s eğri şekillerine benzer biçimde karakteristik körfez şekline sahiptir. Burada bu parametreleri kontrol eden faktörleri tartışmak mümkündür. Depremle anlamlı bir ilişkisi olabilecek ölçülmüş özdirenç değişimleri ise Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 6: Oluşan deprem (M=7) ve onun Jeofizik-Jeohidrolojik anomalileri

Şekil 8: Bir Depremi Önceden Haber Veren Jeofizik ve Jeo-Hidrolojik Anomali Şablonu

8-Anlamalı Jeofizik Değişimlerin Bilimsel Açıklamaları

A.	Elektrik	Özdirenç:		
---Deprem	Habercisi	Değişimler		
Gözlem yerindeki ölçü elektrodlarının üzerine yerleştirildiği kuvarsit kayacının özdirenci; yeraltısuyu özdirenci, kayaç gözenegi ve su ile dolu gözenek boşluğu miktarı tarafından kontrol edilir. Buradaki yeraltı suyunun özdirenci laboratuvar ölçümlerine göre 115 ohm-m belirlenmiştir. Yeraltısuyu özdirencinin sabit kaldığı bilindiğine göre, kayaç özdirencindeki değişimin gözeneklerde ve kuvarsitin kırıkları içindeki su doymuşluk miktarındaki değişimlerden kaynaklandığı anlaşılır. Normal koşullarda, bu kayaçların özdirençleri yeraltısuyu içermeleri durumundakinden 100 kat daha yüksektir. Bunun anlamı şudur: Kayaç, toplam hacminin yalnızca %10 kadarı su içermektedir. Bu olgu ARCHIE bağıntısı ile Jeofizik literatüründe açıklanmış olup günümüzde de kullanılır. Bu bağıntıda kayaç etkin özdirenci ve çimentolanma faktörü yer alır. Çimentolanma faktörünün bu bağıntıdaki işlevine bakarsak: kayaç içinde gözenek hacminin %1 lik bir değişimi kayaç etkin özdirencinin asıl değerden %35 lik bir farklılığı sonuçlar. Kuvarsitin özdirenci 10,000 ohm-m olduğundan porozitedeki %1 lik bir değişim onun özdirencinde 3500 ohm-m lik bir değişime n8eden olur ki bu değişim duyarlı olarak bir özdirenç ölçü sistemi (Sekil 2 ve 3) ile ölçülebilir. Bir deprem gerilimi etkisi altında bulunan benzer kayaç gözenek ve gözenek geçitlerinin oluşturduğu boşluk hacmindeki küçük bir değişim varsa bu durum özdirenç sistemi (Sekil 2 ve 3) kullanılarak yine duyarlı şekilde ölçülebilir. Kayaçların özdirencinin küçük bir basınç ortamı koşullarında: artan basınç ile arttığı, fakat büyük bir basınç ortamı durumunda ise artan basınç ile azaldığı gözlemiştir. Asya'daki Pamir bölgesinde 1.5-2 aylık bir periyotta yapılan gözlemlerde özdirençteki %15-18 miktarlık azalmaya bakarak 10,000,000,000 Joule' den daha büyük enerjinin açığa çıktığı ve ölçüm sahasından 10 km uzakta meydana gelen depremlerin önceden tahmin edildiği rapor edilmiştir. Bu kestirim işleminde episantır bölge2e yakınında daha belirgin bir durum olabilir, fakat uzaktaki bir bölgede deprem öncesi oluşan büyük gerilmenin neden olduğu basıncın kayaç özdirencinde gözlenmesi ise daha zor olabilir. Deprem ve özdirenç akrabalığı konusundaki bu gözlemin gerçekleşme olasılığı deprem episantır noktasına olan uzaklıkla ters orantılıdır. Tablo-1, izleme istasyonu yakınındaki bölgede ölçülen Jeofizik parametrelerin, 4-7 büyüklüğünde ve 40-400 km uzakta oluşan depremlere bağlı olarak ne derecede değişim gösterdiğini açıklar. Diğer yandan 700 km uzaklıkta M=8 büyüklüğünde oluşan bir deprem işaretçisinin özdirenç indikatörü olduğu belirtilmiştir. Yaklaşık 800 km uzaklıkta episantırı bulunan orta ve büyük depremlerin rezistivite indikatörü olduğu aynı zamanda Çin bilim adamları tarafından da açıklanmıştır. Hatta gel-git sırasında kayaçların gerilme koşullarındaki küçük değişimlerden dolayı meydana çıkan özdirençteki anlamlı değişimlerin varlığı da ortaya konulmuştur. Bu gözlemler depremlerin önceden tahmin edilmesinde özdirenç ölçümlerinin etkin olabileceğini açıklar. Yere verilen akımın kayaç gözenek kanalcıkları arasından, yataklama düzlemlerinden, fay ve kırık düzlemlerinden de aktığı bilinir. Elektrik olarak yönbağımsız kayaçlarda özdirencin, kayaç uzanım doğrultusuna ve eğim yönüne bağlı olmasından dolayı bu akım farklı şekilde akar. Kayaçlarda meydana gelen yatay ve birbirine paralel kırıklar yeraltı akım akışına katkı sağlarlar. Ancak yine de özdirençteki düşüşü açıklamak için kayaçlardaki mikro kırıkları varsaymak gerekmez. B.			Doğal	Gerilim
Diğer bir Jeofizik yöntem olan SP ise su seviyesindeki kayaç gözeneklerinde meydana gelen değişimleri saptayabilecek duyarlı bir belirteçdir. Şekil 5, deprem öncesi SP nin 1500 mV dan 1350 mV değerine düştüğünü gösterir. Eger porozite (gözeneklilik) koşulları gerilme alanındaki değişimlerden önce ve sonra su tablasına uygun olup				

değişmiyorsa gözlenen SP verilerinde bir değişiklik yoktur. Bu bazı depremlerden önce SP'deki değişimlerin yokluğu ile açıklanabilir. C. KSS ve KSB: Şekil 6 KSS ve KSB'deki anlamlı azalma ile depremlerin önceden tahmin edilebileceğini gösterir. Bu değişimler kayaçtaki su tutan gözeneklerin bir deprem öncesindeki "dilation" durumu ile açıklanır. Sonuç olarak su toplayan gözenek boşluğu artar ve daha çok miktarda su bu boşluklara emilir. Bu ise keza kaynak sularındaki azalmayı ve kazılarak açılmış kuyulardaki KSS değişimini meydana getirir. KSS ve KSB değişimleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Depremden Dolayı Değişimler 7-20 günlük bir periyod boyunca gözlenmiştir, fakat her yıl tekrarlanabilecek olan mevsimsel değişimlerin etkisi ise daha uzun bir periyod boyunca izlenmiştir. Buradan, büyük bir depremin etkisinin yarattığı değişimlerin, eğer aynı dönemde meydana geldiyse mevsimsel etkiler ile karıştığı izlenir. Bu belirsizliği aşmak için, Jeo-elektrik ölçümler sismik yöntem ile desteklenmelidir. Yeraltı formasyonlarının sismik hızları sığ tabakalardaki su doymusluğu ile bozulmaz. Jeoelektrik özellikler toprağın jeo- hidrolojik koşullarına geniş şekilde bağlıdır. Yağmurlu bir mevsimde yüzey su ile sature olduğundan, jeo- hidrolojik koşullar (özellikle sığ derinliklerdeki) bu değişimlere konu olabilir. Bundan dolayı, bu periyod boyunca yer akımları (earth currents) ve SP ölçümleri, suyun yerine sızılmasından dolayı ciddi şekilde bozulurlar. Meteorolojik olarak kuru dönem gösteren mevsimlerde, kayaçlar daha çok veya biraz daha kuru iken, jeo- hidrolojik, earth-currents ve elektro-mekanik gerilim parametrelerinde herhangi bir değişimi gözlemek zordur. Bu sıradışı koşullar, depremlerden dolayı meydana gelen değişimleri izlemek ve incelemek için uygun değildir. Böyle olağan dışı koşulların etkin olamayacağı yerler seçilerek bu güçlük yenilebilir. Su ile kısmen doymuş yerler, bir deprem oluşumundan dolayı ortaya çıkan jeo- hidrolojik ve jeo-elektrik parametrelerin anlamlı değişimlerini gösterirler. Yapılan ölçümler elektrik özdirenç değişim genliğinin deprem episantr noktasına olan uzaklığa bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koyar. Uzaklık azaldıkça bu genlik artar.

9- Haberci Bulgular ve Sonuçlar

Şekil 5 ve Şekil 6, da gösterilen, özdirenç değişim gözlemleri üç tipik dönemde gruplandırılabilir. İlk durumda (Başlangıç durumu) yatay sıkışma gözenek boşluğunu ve geçirimsizliği etkiler. Eğer kayaç tabakalaşma uzanımı boyunca gözeneklerin sürekliliği artmış ise bu etki eğim yönü boyunca azalır. Ve uygun olarak özdirenç artar veya azalır. İkinci durumda, sıkışma gerilmesi bütün yönlerde kırılmalar yaratabilir. Bağlı olarak gözenek boşluğu artabilir. Ve su tablası seviyesi azalabilir. Kaynak boşalma oranında bir azalma olabilir. Su tablasının aşağıya çekilmesi ve gözenek boşluğundaki değişimler yer elektrik akımlarını ve SP'yi bozabilir. Deprem Öncesi durumda (veya üçüncü durum) özdirençin anomali öncesi duruma dönüşü sürekli gözlemlerimizde farkedilebilir. Bu, episantr sahası civarındaki maksimum gerilen yer ve bundan olan uzaklıkla ilişkili olarak meydana gelebilir. Böylece, deprem oluş zaman ve yerinin tahmin edilmesi için olduğu kadar gerilme birikim mekanizmasının araştırılması için olasılıkları bu gibi bulgular işaret eder. Gel-git gerilme mekanizmalarının, kayaçlarda benzer oluşumları sonuçlayarak depremleri tetiklediği bildirilir. Yer akımlarının sürekli izlenmesi deprem öncesi tektono-elektrik gelişmesini aydınlatılabilir. Jeo-elektrik ve jeo- hidrolojik parametrelerin (KSS ve KSB) izlenmesi, yardımıyla orta büyüklükteki depremlerin tahmin edilebileceği anlaşılır. Benzer değişimler depremlerden önce keza Rus, Amerikan, Çin ve Japon bilimcileri tarafından da gözlenmiştir. Bir depremin odağındaki gerilim alanı özdirenç değişim trendi ile belirlenebilir. Bu kısmen kayaç anizotropuna ve biraz da kayaç geçirimsizlik ve porozitesine bağlıdır. Ancak yine de kayaç özdirençinde bir azalma izlenir. Depremden

önce, körfez görünüsündeki bir öz direnç azalması ve sonra da anomali öncesi seviye'ye ulaşma söz konusudur (iletkenlik körfezi). Anomalinin bu şekli Vp/Vs sismik hız oranının verdiği anomaliye benzerdir. Sismik olarak aktif bölgelerde bu olayın periyodu daha kısa olabilir. Yukarıdaki bu deneysel ve gözlemsel sonuçlar, herhangi bir büyük depremde önce değerli öncül bulguları ortaya koyar. Büyük bir deprem, depremlerin istatistiksel analizine bakılarak tahmin edilse bile bazı belirsizlikleri ortadan kaldırmak için bu gibi çalışmalara önem verilmesi gereklidir. Gelişmiş ülkelerde Depremleri Önceden Kestirme çalışmaları çok disiplinli Jeofizik çalışmalar ile sürdürülmekteyken bazı kısa yoldan ve kolay görünen "Prediction" önceden haber verme çabalarını daha ciddi olarak yerine getirmek gerekir.>

Gün	Episantr uzaklığı (km)	Büyükölük Richter ölçeği	Depremin açıkça tahmin edildiği parametre
9 Mart	55	M=4.2	ÖZD, SP, YA, KSS, KSB
20 Mayıs	261	M=7	ÖZD, KSS
11 Haziran	149	M=5	ÖZD, SP, YA, KSS, KSB
15 Temmuz	105	M=4	ÖZD, SP, YA, SS, KSB
27 Temmuz	150	M=4.5	ÖZD, YA, KSB, KSS

Tablo. 1: Depremin eniyi tahmin edildiği jeoelektrik ve hidrolojik parametreler. ÖZD=Özdirenç; SP=Yeraltı doğal gerilimleri; YA=Yeraltı akımları; SS=Kuyu suyu seviyesi; KSB=Kaynak suyu boşalmaları

Deprem günü	Episantr uzaklığı (km)	Büyükölük Richter ölçeği	Ölçü periyodu (gün)	Özdirençteki değişim miktarı	Kaynak suyu seviye değişim miktarı	Yeraltı suyu seviyesi değişimi
9 Mart	55	M=4.2	7	%25	%2	0.3
20 Mayıs	261	M=7	7	%8-10	%7	0.2
11 Haziran	149	M=5	12	%15	%7	1.3
15 Temmuz	105	M=4	12	%11-27	%7	0.1
27 Temmuz	150	M=4.5	11	%10-16	-	-

Tablo. 2: Depremlerden önce yeraltı öz direncinde, yeraltısuyu seviyesinde ve kaynak suyu boşalmalarında meydana gelen değişim miktarları

Tablo 1 ve Tablo 2: Depremleri önceden haber verebilecek Jeofizik ve Jeohidrolojik parametre şablonları
Bu yazı CBT Dergisi 5 Şubat 2000 tarihli sayısında yayınlanmıştır.

Yazı ve WEB:

Doç.Dr. İlyas ÇAĞLAR-İTÜ Maden Fakültesi

caglari@itu.edu.tr