

DEPREMLERİN ÖNCEDEN BELİRLENMESİNDE RADON ÖLÇÜMLERİ

MEASUREMENTS OF RADON CONTENT IN EARTHQUAKE PREDICTION

Yıldız ALTINOK - Oğuz GÜNDOĞDU

I.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZ: Son 20 yıldan bu yana depremlerin önceden belirlenmesi çalışmaları içinde yeraltı suları ve toprakta radon miktarının ölçülmesi önem kazanmıştır. SSCB, ABD, Çin ve Japonya bu çalışmalarda öncülük etmiştir. Bu makalede, yapılan çalışmalardan dikkate değer olanlar örnekleriyle gösterilmiştir. Ayrıca, Türkiye’de de yapılan radonla ilgili çalışmalara örnekleriyle yer verilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmaların değerlendirilmesinde, radonun depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarında izlenmesi gereken bir parametre olduğu görülmektedir.

ABSTRACT: The radon concentration in groundwater and soil has been linked to earthquake prediction in the last two decades. Many studies have been conducted in USSR, USA, China and Japan on this subject. In this paper, the prominent studies on this field was selected and summarized. Turkish articles on the same subject were also reviewed. Consequently, it seems that radon one of the useful parameter for earthquake prediction research.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca toplumlari en çok etkileyen ve korkutan doğal afetlerden birisi de depremdir. Gelişmişlik çizgisini aşan ve deprem etkinliği yüksek olan ülkeler, depremi olduktan sonra önlem gerektiren bir olgu olmaktan çıkarıp, korunma yönünden önceden önlemler alabilme aşamasına gelmişlerdir. Depremlerden korunmanın en etkili yollarından biri de depremlerin önceden belirlenmesidir. Bu konudaki çalışmalar 1970’den beri önem kazanmıştır. Bazı depremlerin önceden başarılı bir şekilde belirlendiği görüldükten sonra bu konuda çalışmalar artmıştır.

Depremin önceden belirlenmesi çalışmalarının yarar sağlaması, oluşacak depremin yeri, zamanı ve büyüklüğünü belirli bir süre önce bildirmekle olanaklıdır. Bu çalışmalar yapılırken depremi önceden belirlemenin getireceği sosyal ve ekonomik sorunları da dikkate almak gerekmektedir.

Depremi önceden belirleme çalışmaları yaparken, geçmişte olmuş depremlere ait verilerle, depremden önce depremle ilgili doğal olayların düzeninde oluşan değişimlerin saptanması amaçlanır.

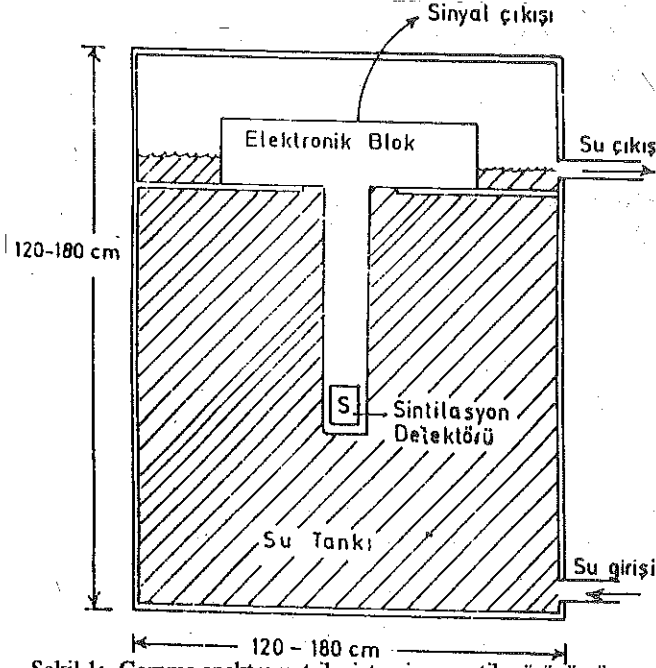
Depremlerin önceden belirlenmesi çalışmaları içinde gözlenen fiziksel değişkenlerden biri de toprakta ve yeraltı sularındaki radon miktarıdır. Depremden önce radonda gözlenen değişimler depremin önceden belirlenmesi çalışmalarında ümit verici görülmektedir.

Radon (Rn-222) gazı, Uranyum-238 ailesinin gaz olarak bulunan tek elementi olup, bu ailenin 1600 yılı yarı ömürlü üyesi Radyum (Rn-226)’un bozulması sonucu oluşmaktadır. Radon (Rn-222) 3.8 gün yarı ömürlü, suda kolay çözünen kimyaca pasif radyoaktif asal bir gazdır. Yerkabuğunda bulunan radon gazının bir kısmı aktif faylar yoluyla atmosfere yayılırken diğer taraftan yeraltı sularında uzunca bir süre taşınmaktadır. Yerkabuğunda depremden önce kayalardaki genişlemeler nedeniyle kayalardan yeraltı sularına ve toprağa radon gazı geçişi artmaktadır. (Göksel ve diğ. 1987).

1.1 RADON ÖLÇÜMÜNDE YARARLANILAN TEKNİKLER:

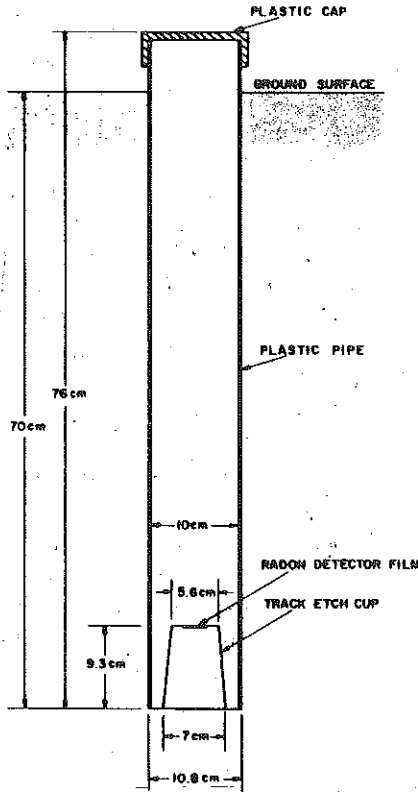
Genel olarak radon gazının ölçüm teknikleri iki grupta toplanabilir. Uranyum-238 ailesinden olan radon alfa parçacığı yayınladığından gamma ışınları ile doğrudan saptanması olanaklı değildir. Bozulma ürünlerinden Pb-214 ve Bi-214’ün yaydığı gamma ışınlarıyla saptamak olanaklıdır. Bundan yararlanarak sulara sürekli radon izlemek amacıyla gamma spektrometrik sistem geliştirmiştir (Şekil 1). Sistemin büyük, karmaşık ve pahalı olması uygulama tekniğinde zorluk getirmektedir (Göksel ve diğ. 1987).

Buna karşın, son yıllarda alfa parçacıklarına duyarlı pasif radon detektörleri önem kazanmıştır. Bu yolla, bardak biçiminde plastik kap içerisine plastik bir film (sel-



Şekil 1: Gamma spektrometrik sistemin şematik görünümü (Göksel ve diğ. 1987)

lülöz asetatlı, allil diğlikol karbonatlı, vb) yerleştirilir. Bunlar yaklaşık 10 cm. çaplı ve 70 cm. derinlikteki sondaj çukurlarında bir hafta süre ile başaşağı bekletilir (Şekil 2).



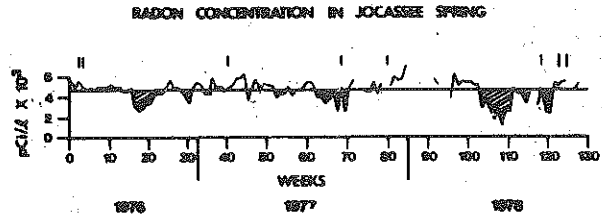
Şekil 2: Pasif radon dedektörünün şematik görünümü (King, 1980).

Topraktan yayılan radon gazı filmi etkilemektedir. Film geriye alındığında laboratuvarında kimyasal iz kazıma işlemi yapılarak görünen alfa parçacıklarının izleri mikroskop altında sayılır. ABD'de uygulanan bu yöntemin daha pratik ve ekonomik olduğu görünmektedir (Göksel ve diğ. 1987).

2. RADON ÖLÇÜMÜ İLE İLGİLİ UYGULAMALAR:

Son yıllarda, ABD, SSCB, Çin ve Japonya'da yapılan çalışmalarda aktif fayların bulunduğu bölgelerde toprakta ve yeraltı sularındaki radon miktarında görülen değişimler depremin önceden belirlenmesini sağlayan haberciler olarak değerlendirilmektedir.

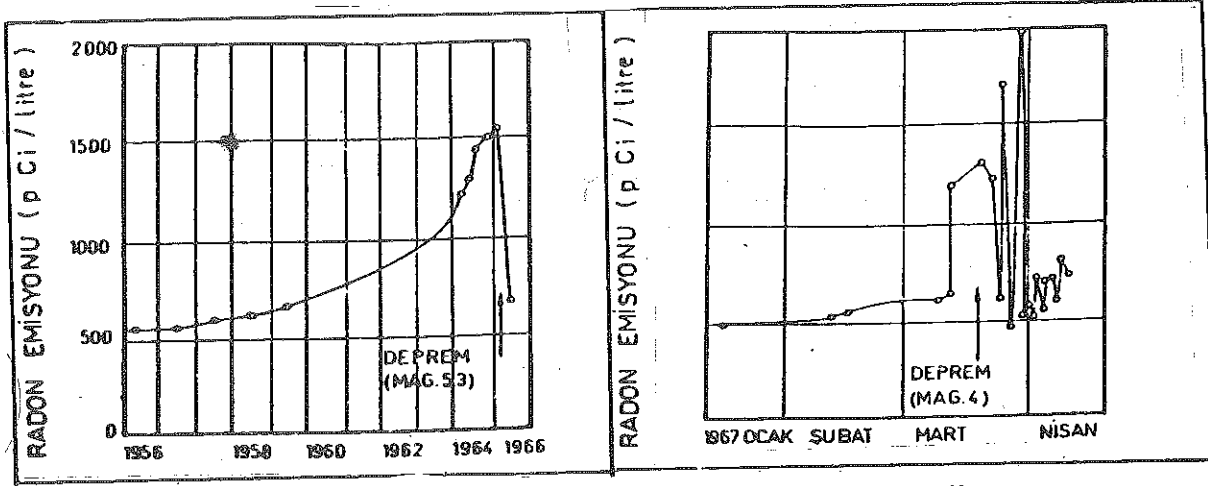
ABD'de, San Andreas Fayı boyunca 60 tan fazla istasyonda radon ile ilgili ölçümler yapılmış ve bölgede oluşan depremler arasında ilişki aranmıştır (King, 1980). Güney Kaliforniya'da 20 aylık bir süreyi kapsayan benzeri bir çalışma da Shapiro ve diğ. (1980) tarafından yapılmıştır. New York, Blue Mountain Lake'de atmosferik olaylarla kontrol edilerek uzun süreli radon ölçümleri yapılmış ve bölgenin sismisitesi ile karşılaştırılmıştır (Mogro-Campero ve diğ. 1980). Talwani ve diğ. (1980), Güney Kaliforniya'da Lake Jocassee su kaynağında radon anomalileri ile mikro depremler arasında ilişki aramışlardır (Şekil 3). Yine, Güney Kaliforniya'da San Jacinto Fayı'nda Birchard ve Libby (1980), toprakta radon ölçümü ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Sonuçta, yerkabuğunda sıkışmaların olduğu bölgelerde radon miktarının arttığını, genişlemelerin olduğu yerlerde ise radon miktarının azaldığını gözlemlenmişlerdir.



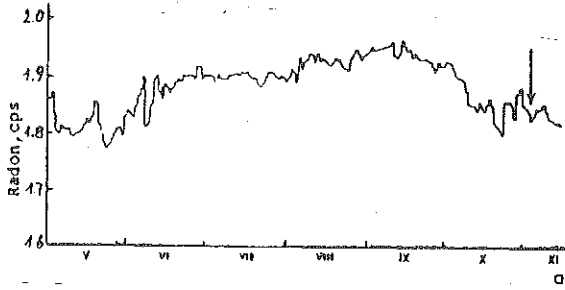
Şekil 3: Jocassee Kaynağındaki radon konsantrasyonunun mevsimlik değişimi (Mayıs 1976-Ekim 1978). Veriler haftalık ortalama değerlerdir. Dikey çizgiler $M_L \geq 2.0$ olan depremlerin zamanlarını göstermektedir (Talwani ve diğ. 1980).

SSCB'de kuyu sularında radon gazı miktarındaki değişim, ilk olarak 1966 ($M=5.3$) ve 1967 ($M=4.0$) Taşkent Depremleri öncesi ve sonrasında izlenmiştir (Scholz, 1973, Rikitake, 1976). Bu değişimler Şekil 4'de görülmektedir.

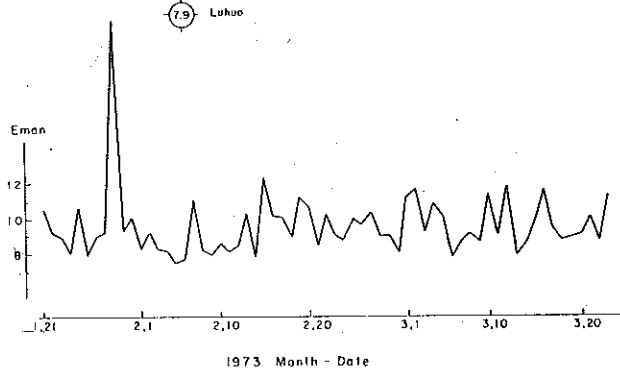
Ayrıca, SSCB'de 17.5.1976 Gazli Depremi ($M=7.1$) öncesi ve sonrası, 2.11.1978 Alayic Depremi ($M=7.0$) öncesi yeraltı sularındaki radon değişimleri izlenmiştir (Şekil 5a ve 5b).



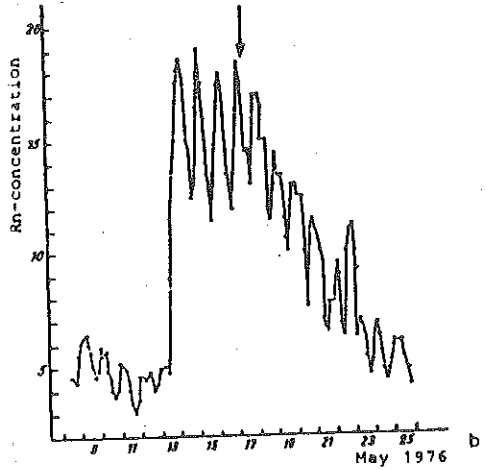
Şekil 4: 1966 ve 1967 Taşkent Depremleri öncesi ve sonrası radon değişimleri (Scholz ve diğ. 1973)



Şekil 5a: 2.11.1978 Alayic Depremi (M=7.0) öncesi radon değişimi (Friedmann ve diğ. 1988).



Şekil 6: Luhuo Depremi (M=7.9) öncesi ve sonrası radon değişimi (Teng, 1980).



Şekil 5b: 17.5.1976 Gazli Depremi (M=7.1) öncesi ve sonrası radon değişimi (Freidmann ve diğ. 1988)

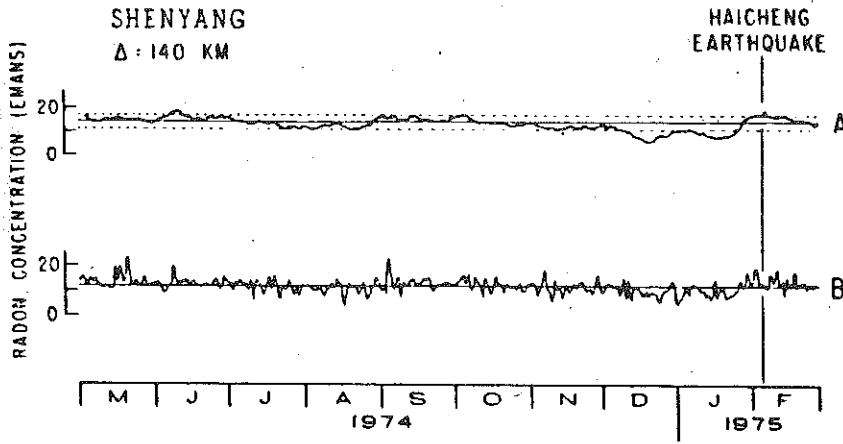
Çin'de bu konuda yapılan çalışmalara pekçok örnek vardır. Bunların en önemlileri arasında aşağıdakileri sıralayabiliriz. 1973 Luhuo Depremi (M=7.9) öncesi ve sonrası kuyu ve kaynak sularında radon değişimi gözlenmiştir (Şekil 6). 4.2.1975 Haicheng Depremi (M=7.3) öncesi ve sonrasında radon değişimleri uzun, orta ve kısa süreli olarak birçok istasyonda izlenmiştir. Farklı istasyonlardaki radon değişimleri Şekil 7, 8, 9 ve 10'da görülmektedir.

Ayrıca, 1976 Lungling Depremi (M=7.6) öncesinde, gene 1976 Sungpan-Pingnu Depremi (M=7.2) öncesi ve sonrasında ve 1978 Tangshan Depremi (M=7.8) öncesinde radon miktarında gözlenen değişimler Şekil 11, 12 ve 13'de gösterilmektedir.

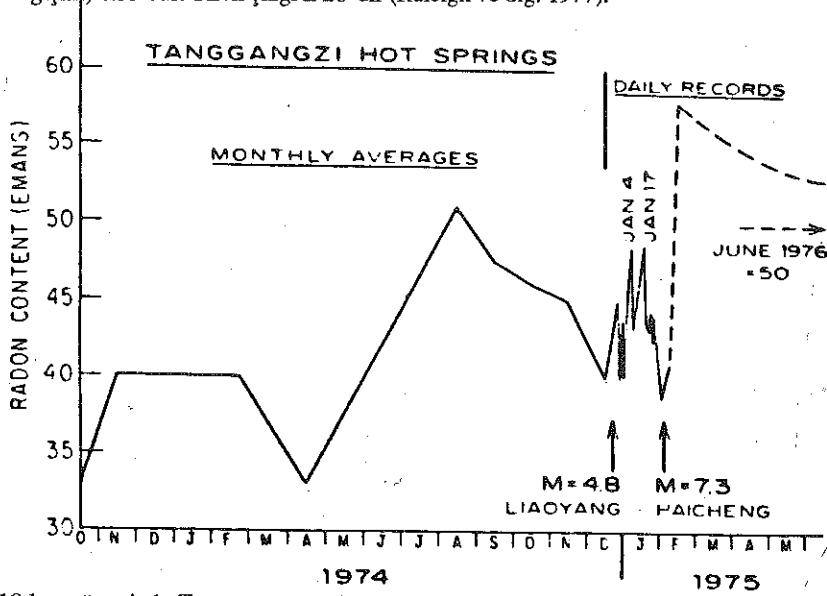
Çin'de sürekli radon ölçümünde kullanılan sistem Şekil 14'de görüldüğü gibidir.

Japonya'da jeokimyasal çalışmalar 1973 yılı sonrasında başlamıştır. Ölçümler, 15'den fazla istasyonda yapılmaktadır. 14.1.1978 İzu-Oshima-Kinkai Depremi (M=7.0) radon ölçümü yapılan istasyonların yakınında olmuş ilk büyük depremdir (Wakita, 1980). Episantırdan 90 km uzaklıkta 5 istasyonda gözlenmiştir (Şekil 15).

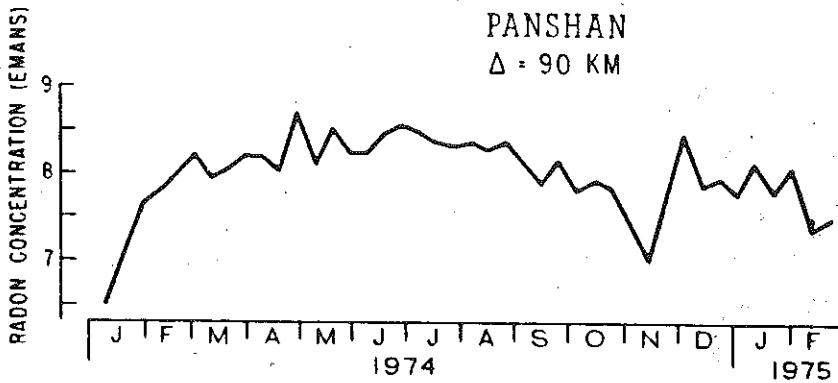
SKE-1 adlı 350 m derinlikte artezyen kuyusunda sürekli radon ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümle ilgili radon değişimleri Mayıs 1977 ile Şubat 1978 arasında ikişer saatlik okumaların 9 noktadaki ortalamalarından yararlanarak çizilmiştir (Şekil 16). Şekilde görülen düz çizgi depremden önce ve sonraki mevsimlik değişimleri ayırmaktadır.



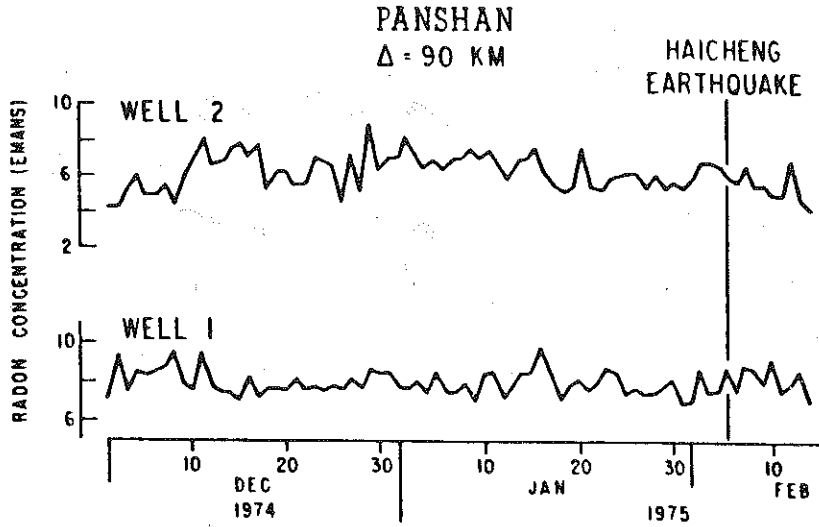
Şekil 7: Haicheng episantrına 140 km uzaklıktaki Shenyang sismik istasyonu yakınında bir kuyudaki radon değişimi, Aralık 1976'dan önce ortalama aktivite 10.40 emanstır. A eğrisinde (10 günlük hareketli ortalama) standart sapma 0.17, B eğrisinde (günlük değişim) 0.53 dir. Tireli çizgi $\pm 2\sigma$ dir (Raleigh ve diğ. 1977).



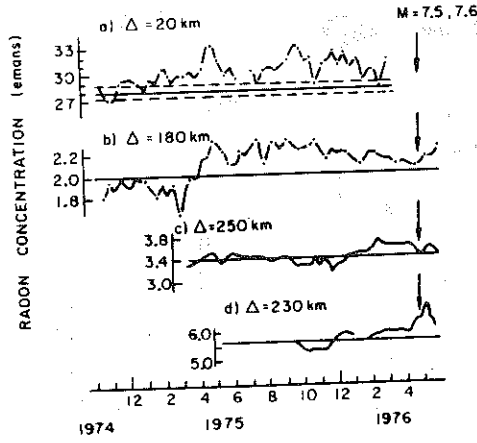
Şekil 8: Anshan'ın 10 km güneyinde Tanggangzi sıcak su kaynağındaki radon değişimi. Haicheng Depreminden sonra aktivite 58 emansa ulaşmıştır. Haziran ve Temmuz aylarında 53 emans civarındaki azalma, haziran 1976'da 50 emans civarındadır (Raleigh ve diğ. 1977).



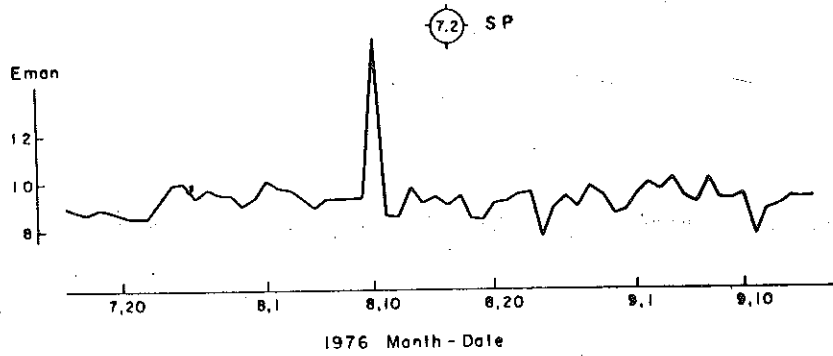
Şekil 9: Panshan sismik istasyonunda: i bir kuyuda uzun süreli 10 günlük ortalama radon aktivitesi (Raleigh ve diğ. 1977).



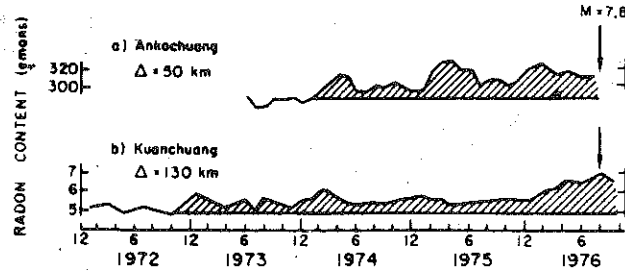
Şekil 10: Haicheng Depreminden önce Panshan'daki iki kuyuda günlük radon değişimleri (Raleigh ve diğ. 1977).



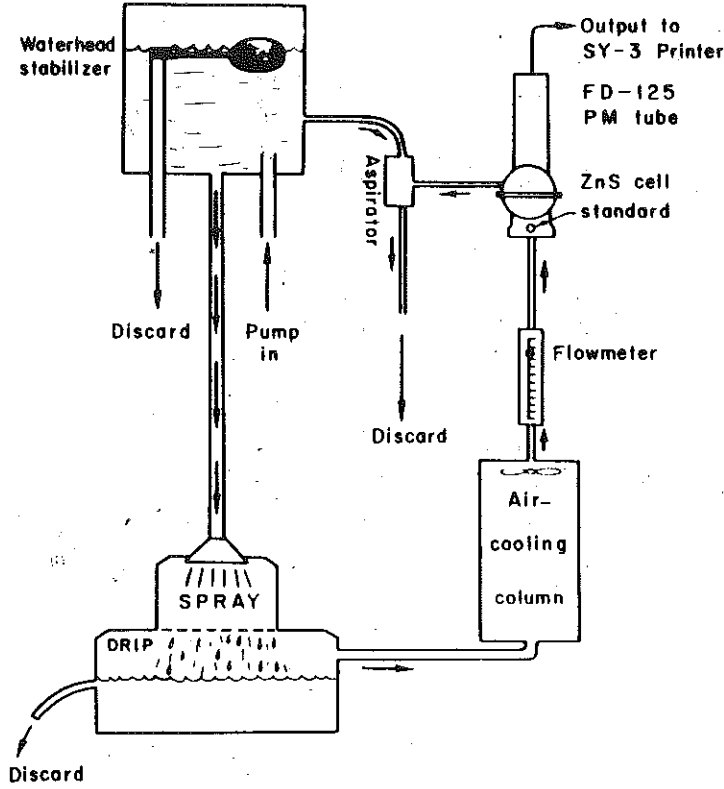
Şekil 11: 1976 Lungling Depreminden ($M=7.6$) önce Yunan Bölgesindeki 4 istasyondaki yeraltı suyundaki radon değişimi. Yatay çizgi standart sapmayı gösterir. a) Lungling, b) Hsiakuan, c) Lantsang, d) Erhyuan (Teng, 1980).



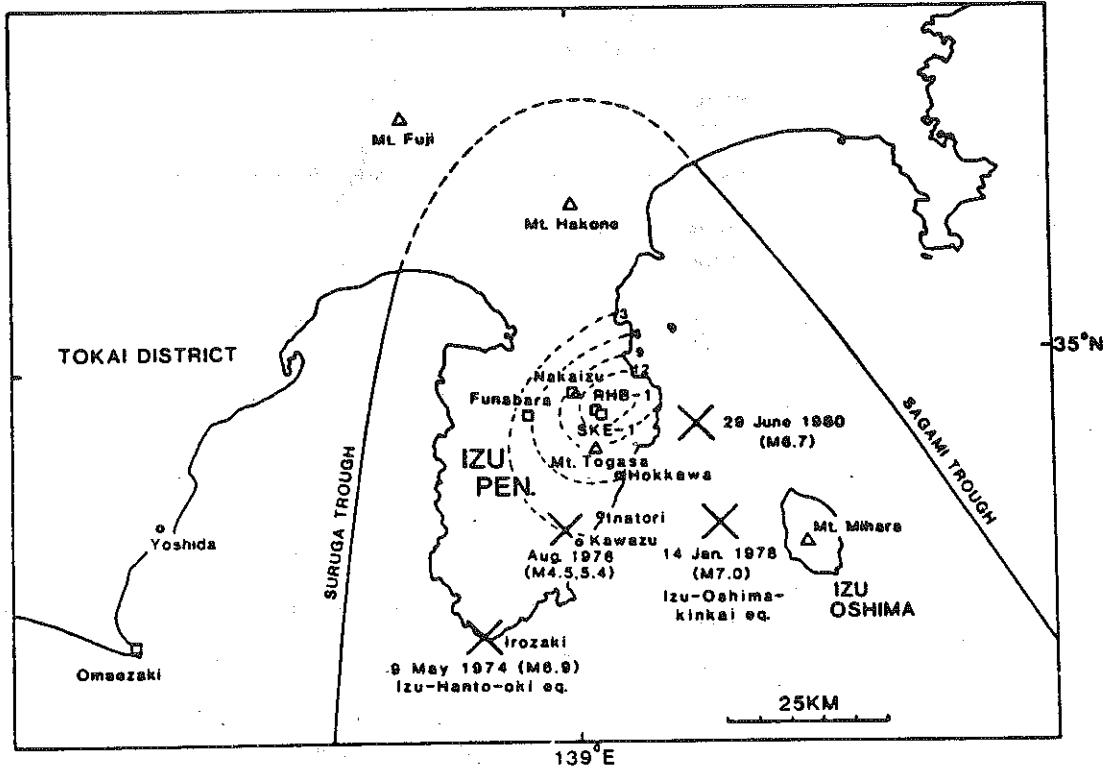
Şekil 12: 1976 Sungpan-Pingnu Depreminden ($M=7.2$) önce ve sonraki radon değişimleri (Teng, 1980).



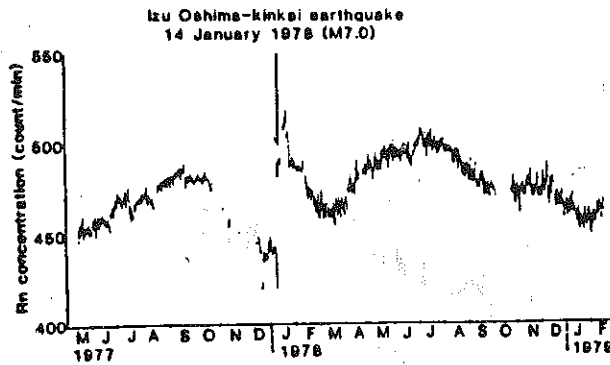
Şekil 13: 1978 Tangshan Depremi ($M=7.8$) öncesi Ankochuang ve Kuanchuang'ta yeraltı suyundaki radon değişimi. Taraf alan ortalama okumaları gösterir (Teng, 1980).



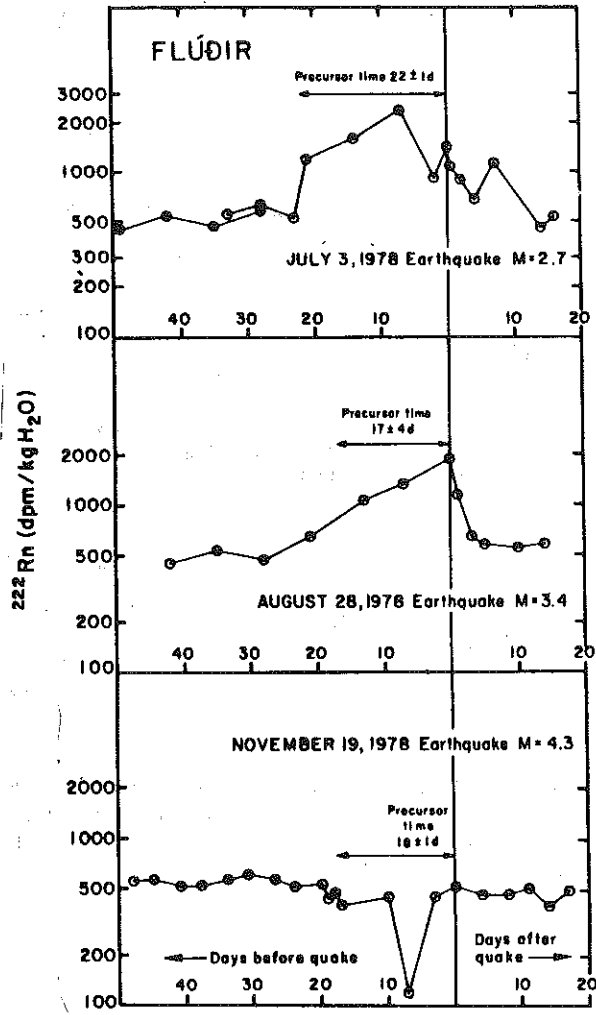
Şekil 14: Çin'de sürekli radon ölçümünde kullanılan sistemin şematik diyagramı (Teng, 1980).



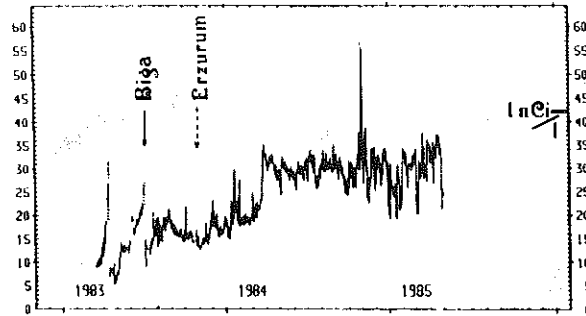
Şekil 15: (O) Izu-Oshima-Kinkai Depremi'nin hebarcilerinin gözlemediği gözlem kuyularının lokasyonları, X, Izu-Hanto-Oki Depremi (M=6.9), Kawazu Depremi (M=4.5, 5.4), Izu-Oshima-Kinkai Depremi (M=7.0), Doğu Izu-Hanto Depremi (M=6.7)'nin episantırlarını göstermektedir. Yükselti kontur çizgileri (cm olarak) 1967-1969 aralığına aittir. (Crustal Dynamics Division, GST, 1976) (Wakita, 1980).



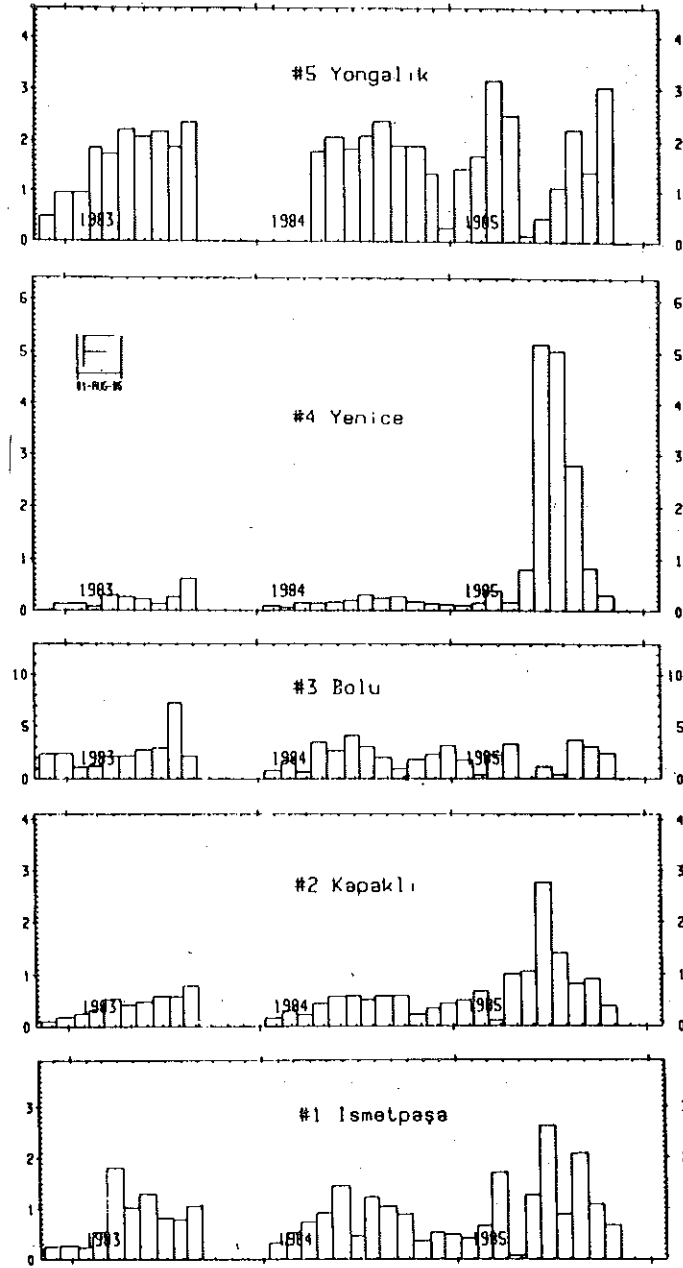
Şekil 16: 1978 Izu-Oshima-Kinkai Depreminden önce Nakaizu'da yeraltı suyunda gözlenen radon miktarındaki değişim. İkişer saatlik aralarla elde edilen verinin dokuz noktadaki kayan ortalaması grafiklenmiştir. Episantır uzaklığı 25 km'dir (Wakita, 1980).



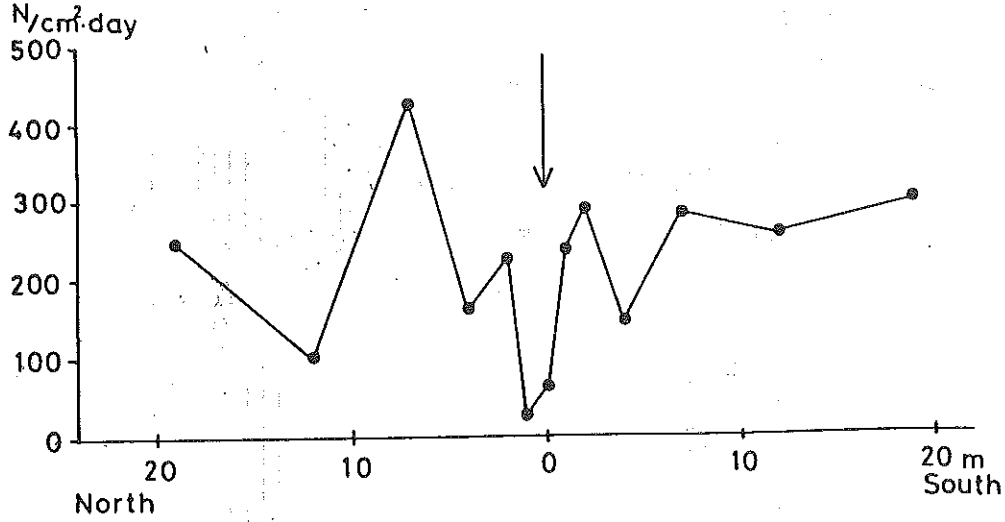
Şekil 17: Fludir İstasyonunda gözlenen radon anomalileri (Hauksson ve Goddard, 1981).



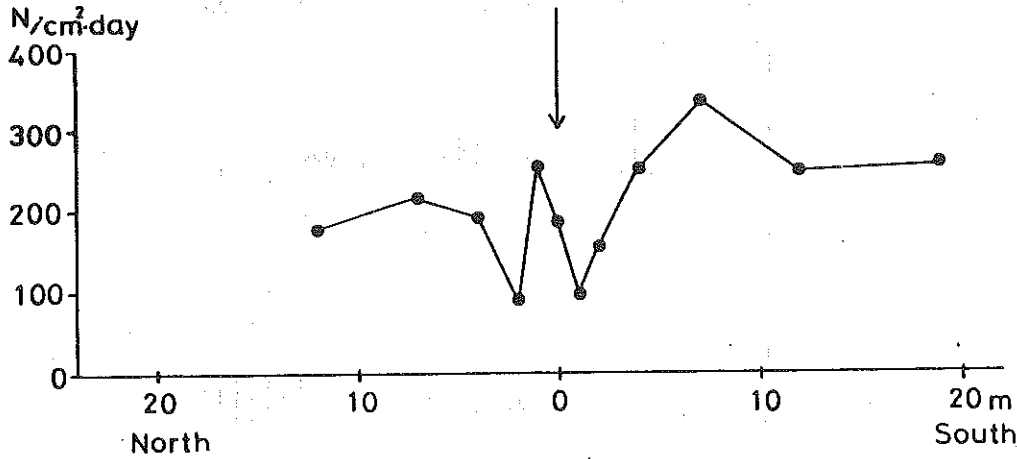
Şekil 18: Bolu'da su kaynağında saptanan radon değişimi (Friedmann ve dig. 1988).



Şekil 19: Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca 5 İstasyonda saptanan topraklı radon gazı değişimleri (birim:iz/2mm²/gün) (Friedmann ve diğ. 1988).



Şekil 20a: Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca 5 İstasyonda saptanan topraktaki radon gazı değişimleri (birim:iz/2mm2/gün) (Ohshiman, 1988).



Şekil 20b: B profili boyunca radon miktarını belirleyen izlerin dağılımı (Ohshiman, 1988).

SKE-1 yakınında 18 ve 26 Ağustos 1976'da Kawazu Depremleri (M=5.4 ve 4.5), İzu-Hanto Depreminde (M=6.7) ve İzu-Oshima-Kinkai Depreminin artçı şoklarında radon anomalisi gözlenmiştir.

Ayrıca, depremden önce SKE-1 de önemli bir değişim gözlemlendiği halde RHB-1'de anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir. RHB-1 hastaneye ait bir kuyu olduğundan, suyun büyük bir kısmı çeşitli zamanlarda pompalanmaktadır. Bu da depreme ilgili olası bir değişimin tanınmasını güçleştirmektedir.

İzu-Oshima-Kinkai Depreminde önce gözlenen radon miktarındaki değişime çeşitli açıklamalar yapılmıştır. Bu açıklamalara göre, kuyunun yakınındaki artezyen tabakalarında oluşan deformasyonun etkin olduğu ağırlık kazanmıştır.

Ayrıca, İzlanda'da radon ölçümleri, içinde sıcak su kaynaklarının yer aldığı 9 istasyonda yapılmıştır (Hauks-

son ve Goddard, 1981). Bu çalışmada yazarlar, oluşacak depremin magnitudü ile episantırdan itibaren radon anomalisinin oluştuğu uzaklık arasında (1)'deki bağıntıyı önermişlerdir.

$$M = 2.4 \log D - 0.43$$

İzlanda'daki Fludır İstasyonunda gözlenen radon anomalileri Şekil 17'de gösterilmektedir.

3. TÜRKİYE'DE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'de, radon (Rn-222)'nin sürekli ölçümü 1983 yılından beri Bolu yakınlarında, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun 200 km'lik bir segmenti boyunca yapılmaktadır. Çalışmalar, yeraltı sularında ve toprakta radon ölçümü şeklinde iki yola gerçekleştirilmektedir. Yeraltı sularında radon ölçümü Mart 1983 ve Nisan 1985 arasında Bolu yakınlarında bir kaynaktan yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı sü-

re içersinde 5 Temmuz 1983 Biga Depremi ($M=5.7$, $\Delta=350$ km) ve 30 Ekim 1983 Erzurum Depremi ($M=6.0$, $\Delta=800$ km) olmuştur. Bu tarihlerden önce yeraltı suyundaki radon miktarında artış gözlenmiştir (Şekil 18).

Ayrıca, 5 istasyonda topraktaki radon miktarındaki değişim gözlenmiştir (Şekil 19). Bu değişim ile yeraltı suyundaki radon miktarı değişimi arasında belirgin bir ilişki görülememiştir.

Türkiye’de yapılan bir başka çalışma da Türk-Japon işbirliğince gerçekleştirilen “Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone, adlı ortak proje içerisinde yapılmaktadır. İznik-Mekece arasındaki bölgede topraktaki radon miktarındaki değişimler 2 profil (A ve B profilleri) boyunca ölçülmüştür. Bu değişimler Şekil 20a ve 20b’de gösterilmektedir.

Ayrıca, Türkiye’de Türk-Alman işbirliğince gerçekleştirilen bir proje çerçevesinde Adapazarı-Bolu arasındaki bölgede radon ölçümü araştırması sürdürülmektedir.

SONUÇ:

Depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarında, yeraltı sularında ve topraktaki radon miktarının ölçülmesi ile ilgili bazı önemli çalışmalar gözden geçirilmiştir. SSCB, ABD, Çin, Japonya, İzlanda ile birlikte Türkiye’den de örnekler verilmiştir.

Verilen örneklerden, radon miktarının gerek yeraltı sularında gerekse topraktaki ölçümlerinde, genelde depremden önce az veya çok bir değişim gösterdiği izlenmiştir. Bu değişimlerin yer içindeki stress değişimi ile ilgili olabileceği düşünülebilir. Bu konuyla ilgili açık bir mekanizma olmadığı halde, konuya açıklık getirmede yardımcı olabilecek uzun süreli ve daha fazla veri sağlayacak çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmaların yapılacağı yerin seçiminde, belli tektonik özellikteki bölgelerin seçilmesi ayrıca önemlidir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; radonun üzerinde çalışılmaya değer bir parametre olduğu görülmektedir. Ayrıca, depremlerin önceden belirlenmesinde ölçülen diğer parametrelerden çok daha ekonomik özelliği olması da bu görüşü destekleyici niteliktedir.

KAYNAKLAR:

Birchard, G.F., Libby, W.F (1980) Soil Radon Concentration Changes Preceding and Following Four Magnitude 4.2-4.7 Earthquakes on the San Jacinto Fault in Southern California, *J.Geophys. Res.* 85 (B6), p.3100-3106.

Friedmann, H., Arıc, K., Gutdeutsch, R., King, C-Y., Altay, C., Sav, H (1988) Radon Measurements for Earthquake Prediction along the North Anatolian Fault Zone: a progress report, *Tectonophysics.*, 152, p. 209-214.

Göksel, S., Köksal, E.M., Yaşar, S., Alkan, H (1987) Radon Ölçümleriyle Depremlerin Önceden Saptanması, *Jeofizik.*, 1 (2), s. 176-182.

Hauksson, E., Goddard, J.G (1981) Radon Earthquake Precursor Studies in Iceland, *J. Geophys. Res.*, 86 (B8), p.7037-7054.

King, C-Y (1980) Episodic Radon changes in Subsurface Soil Gas Along Active Faults and Possible relation to Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 85 (B6), p. 3065-3078.

Mogro-Campero, A., Fleischer, R.L., Likes, R.S. (1980) Changes in Subsurface Radon Concentration Associated With Earthquakes, *J.Geophys. Res.*, 85 (B6), p.3053-3057.

Ohshiman, N (1988) Measurement of Radon Concentration in Soil Gas, *Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone.*, Ed. Honkura, Y and Işıkara, A.M., Dept. App. Phy., Tokyo Ins. Tech. Tokyo, Japan.

Scholz, C.H., Sykes, L.R., Aggarwal, Y.P (1973) Earthquake Prediction: A Physical Basis, *Science.*, 181, p. 803-810.

Shapiro, M.H., Melvin, J.D., Tombrello, T.A (1980) Automated Radon Monitoring at a Hard-Rock Site in the Southern California Transverse Ranges, *J. Geophys. Res.*, 85 (B6), p.3058-3064.

Raleigh, B., Bennett, G., Craig, H., Hanks, T., Molnar, P., Nur, A., Savage, J., Turner, R., Wu, F (1977) Prediction of the Haicheng Earthquake, *Transaction, Am. Geophys. Uni.*, 58 (5), p. 236-273.

Rikitake, T (1976) Earthquake Prediction, Elsevier Scientific Publishing Company.

Talwani, P., Moore, W.S., Chiang, J (1980) Radon Anomalies and Microearthquakes at Lake Jocassee, South Carolina, *J. Geophys. Res.*, 85 (B6), p. 3079-3088.

Teng, T-L (1980) Some Recent Studies on Groundwater Radon Content as an Earthquake Precursor, *J. Geophys. Res.*, 85 (B6), p. 3089-3099.

Wakita, H (1981) Precursory Changes in Groundwater Prior to the 1978 Izu-Oshima-Kinkai Earthquake, *Earthquake Prediction an International Review.*, Ed. Simpson, D.W., Richards, P.G Maurice Ewing Series', *Am. Geophys. Uni.*, Washington D.C.