

# RADON ÖLÇÜMLERİYLE DEPREMLERİN ÖNCEDEN SAPTANMASI

## Radon Monitoring in Earthquake Prediction

Selahattin A. GÖKSEL\*, E. Muhsin KÖKSAL\*, Sedat YAŞAR\* ve Hasan ALKAN\*

### ÖZET

Radon (Rn-222), yeryüzünden atmosfere normal olarak çok küçük miktarlarda yayılan bir radyoaktif asal gazdır. Radon sızıntısı aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve muhtemelen çevredeki sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Yeryüzü derinliklerinden gelen radon, depremlerden önce bazı sistematik değişiklikler göstermekte ve yeryüzünde yapılan radon ölçümleri depremlerin önceden saptanmasına yardımcı olma umudu vermektedir.

Radon, potansiyel bir sağlık tehlikesi olarak önemlidir, zira uranyum madenlerinde olduğu gibi yüksek radon konsantrasyonu kansere yol açmaktadır. Ev ve diğer binalarda çok daha düşük konsantrasyonlarda bulunan radonun etkileri bilinmiyor ise de, ısı kaybını önlemek amacıyla izole edilmiş evlerdeki yüksek radon konsantrasyonu kamuoyunda endişe yaratmaktadır. Bu nedenle radonun sürekli izlenmesi için uygun yöntemlerin bulunması gerekmektedir.

Evler içinde radon ölçümleri için bir "Pasif İz Kazıma" yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, küçük bir plastik film parçası bir difüzyon kabı içine yerleştirilerek radon etkisine maruz bırakılmaktadır. Kab içine giren radon gazının yayınladığı alfa parçacıkları film üzerine izler bırakmaktadır. Radonun etkilediği film kimyasal bir yöntemle kazanarak alfa parçacık izleri bir mikroskop altında sayılmaktadır. Ölçülen iz yoğunluğunun radon konsantrasyonu ile orantılı olduğu varsayılarak ortalama radon konsantrasyonu hesaplanabilmektedir.

### ABSTRACT

Radon (Rn-222) is a radioactive noble gas constantly emanated from earth into the atmosphere normally in minute amounts. Radon emanation is known to be anomalously large on active faults and to show temporal variations related to changing atmospheric conditions and possibly nearby seismic activities. Radon from deep in the ground has occasionally changed systematically prior to earthquakes, and near-surface measurements show promise of being a potential aid to earthquake prediction.

Radon is important as a possible hazard to health; radon in high concentrations, such as were present in uranium mines, led to lung cancer. The effects of much lower values usually found in houses and other buildings is unknown but public concern on higher radon levels caused by protecting houses against heat losses is increasing. It is therefore necessary to have suitable methods for monitoring radon.

A simple passive track etch method was developed for indoor radon measurements. A small piece of plastic film is placed inside bottom of a diffusion cup to expose to radon emanation. The radon gas move into the cup to emit alpha particles and to leave tracks in the film. The retrieved film is then chemically etched and alpha particle tracks are counted under a microscope. The average radon concentration is then calculated assuming that it is proportional to the measured track density.

## GİRİŞ

Dünyanın sismik bakımdan aktif bölgelerinde yaşayan insanların deprem felaketinden korunması ve meydana gelecek can ve mal kaybının azaltılması, bu tür şiddetli depremlerin meydana geliş zamanlarının yeteri kadar önceden ve yeteri kadar doğrulukla saptanması ile olasıdır.

Depremlerin önceden saptanması konusunda yapılan çalışmaların çoğu, depremlerden önce oluşan bazı fiziksel olayların ölçümüne dayanmaktadır. Bu tür fiziksel olaylar çok çeşitli olduğu gibi sayıca da oldukça fazladır. Bugün, özellikle Sovyetler Birliği, Japonya, Çin ve A.B.D.'de olmak üzere 200'den fazla bu tür deprem öncü işaretleri saptanmıştır (Cohen 1980, Press 1975).

Bilim ve mühendislik alanlarındaki son ilerlemeler dünyamızın birçok fiziksel karakteristiklerinin duyarlılıkla ölçülmesine olanak vermekte ve bu ölçümler sayesinde depremlerin önceden saptanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Depremlerin önce düzgün değişiklikler gösteren bazı yeryüzü karakteristiklerine "deprem öncü işaretleri" adı verilmektedir. Derin yeraltı kuyu sularındaki radon konsantrasyonu ve yeryüzü radon sızıntısında gözlenen değişimler bu tür deprem öncü işaretleri arasında üzerinde önemle durulan belirtkenlerdir. (Press 1975).

Bu yazının konusu pasif radon detektörleri ile nükleer iz kazıma yöntemiyle aktif faylar yakınında yapılacak radon ölçümleri yoluyla depremlerin önceden saptanması olup, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ev içi radon ölçümlerinde kullanılmak üzere geliştirilen pasif radon detektörleriyle Türkiye'de bir "Depremleri Önceden Saptama Sistemi" kurulması olanakları üzerinde durulmaktadır.

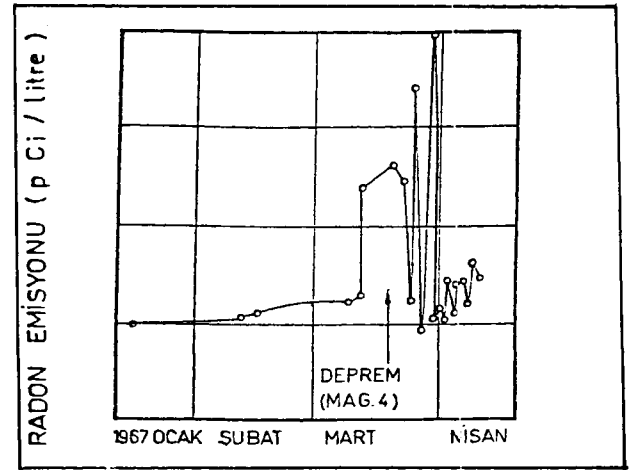
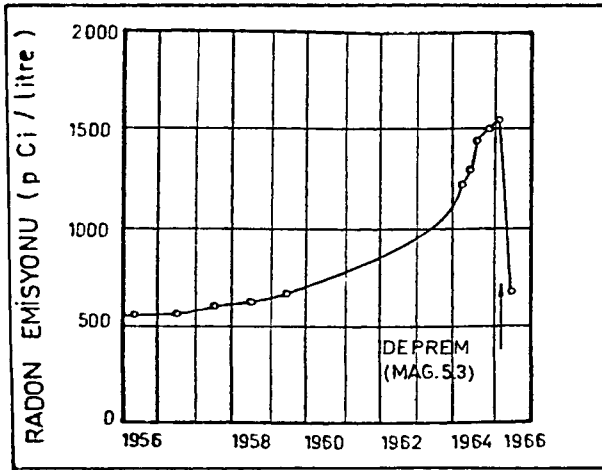
## RADON ÖLÇÜMLERİYLE DEPREMLERİN ÖNCEDEN SAPTANMASI

Radon ( $Rn-222$ ) gazı, yarı-ömürü 4.5 milyar yıl olan radyoaktif Uranyum-238 ailesinin 13 üyesi arasında gaz olan tek element olup, bu ailenin 1600 yıl yarı-ömürlü bir üyesi olan radyumun ( $Ra-226$ ) bozulması sonucu meydana gelmektedir. Böylece meydana gelen radon, 3.8 gün yarı-ömürlü kimyaca pasif radyoaktif bir asal gaz olmasına karşın, kısa yarı-ömürlü bozulma ürünleri  $Po-218$ ,  $Bi-214$  ve  $Po-214$  kimyaca aktif katı elementlerdir (Eisenbud 1963, Lowder ve Adams 1964).

Yerkabuğunda bulunan az miktardaki (ortalama 3 ppm) uranyumdan meydana gelen radon gazı, kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılmakta ve böylece atmosfer içinde yaklaşık 0.1 pCi/litrelik bir ortalama radon konsantrasyonu bulunmaktadır (Eisenbud 1963).

Diğer yandan yeraltı sularında basınç altında kolayca çözünen radon gazının konsantrasyonu, yüzey sularına göre çok daha yüksek olabilmektedir (Tanner 1964).

Son yıllarda Çin, Sovyetler Birliği ve A.B.D.'de yapılan araştırmalar, sismik bakımdan aktif bölgelerdeki kuyu ve diğer yeraltı sularındaki radon konsantrasyonundaki değişmelerin, depremleri önceden haber veren sinyaller olarak büyük önem taşıdığını göstermektedir (Fleischer 1980, King 1978a, King 1978b, Press 1975, Smith 1975). Yerkabuğundaki şekil değişimleri ve episantr alanı içinde veya yakınındaki kayalarda gerilmeler nedeniyle meydana gelecek genişmeler sonucu kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda da bir artış gözlenmektedir. Şekil 1'de 1966 ve 1967 Taşkent depremleri öncesi ve sonrası derin kuyu sularındaki radon konsantrasyonu değişimleri açık bir şekilde görülmektedir (Press 1975).



Şekil 1. Derin kuyu sularında Radon emisyonu değişimleri: Soldaki şekil 1966, sağdaki ise 1967 Taşkent depremleri öncesi ve sonrası radon emisyonlarını göstermektedir.

Fig. 1. Radon emission variations in deep wells water: Figures show Radon variations in Taşkent Earthquakes in 1966 and 1967.

Kuyu ve yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu artışı ile bunu izleyen sismik faaliyetler arasında nicel bir bağıntının bulunup bulunmadığını saptamak amacıyla 1975 yılında Kaliforniya Üniversitesi Lawrence Berkeley Laboratuvarı (LBL) ile A.B.D. Ulusal Deprem Araştırma Merkezi'nde ortak bir araştırma ve izleme programı başlatılmıştır (Smith ve diğ. 1975).

Bu araştırmalarda radonun: (a) asal bir gaz olup kimyaca aktif olması; (b) 3.8 günlük radyoaktif yarı-ömrünün, önemli bir bölümünün, radyumdan meydana gelişinden itibaren 2 haftadan fazla bir süre ile mevcut olmasına olanak verecek kadar uzun olması; ve (c) su içinde kolaylıkla çözülmesi gibi özellikleri gözlenmiştir. Bu üç etkenin biraraya gelmesi sonucu radonun yeraltı sularıyla oldukça uzun zaman ve mekân içinde taşınması olasıdır.

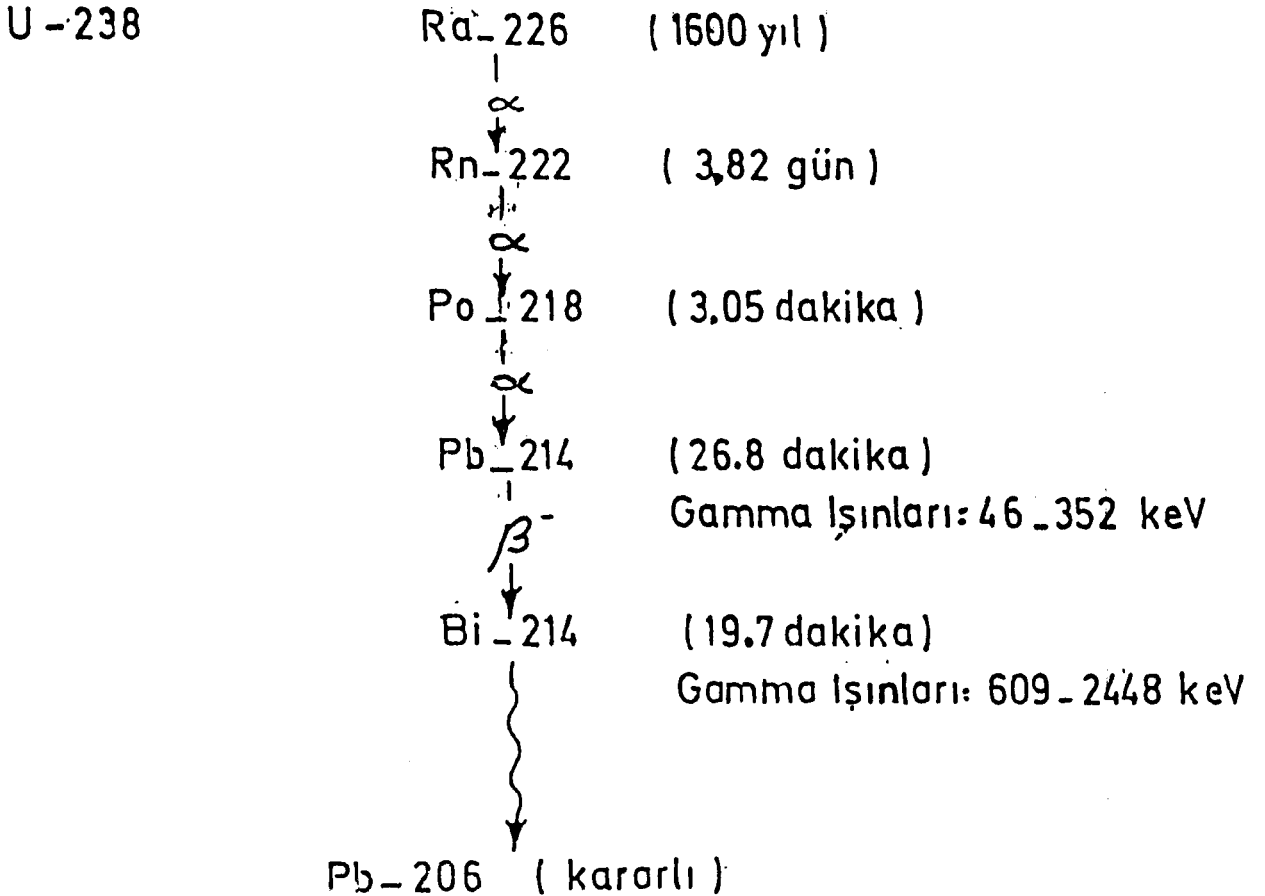
Şekil 2'de radonun ait olduğu Uranyum-238 radyoaktif ailesinin kısaltılmış bozulma şeması görülmektedir (Smith ve diğ. 1975). Şemadan görülebileceği gibi alfa parçacığı yayınlıyıcı olan radonun gama ışınlarıyla doğrudan saptanması olası değildir. Bozulma ürünlerinden ikincisinin (Pb-214 ve Bi-214) yaydığı gama ışınlarıyla saptanması olanaklıdır (Alkan ve Göksel 1975, Fleisher ve diğ. 1980, King 1978a, King 1978b, Köksal ve diğ.

1985, Thomas ve Countess 1979, Urban ve Piesch 1981).

Şekil 3'de LBL'de sulara sürekli radon izlenmesi için geliştirilen bir gama spektrometrik sistem görülmektedir (Smith ve diğ. 1975).

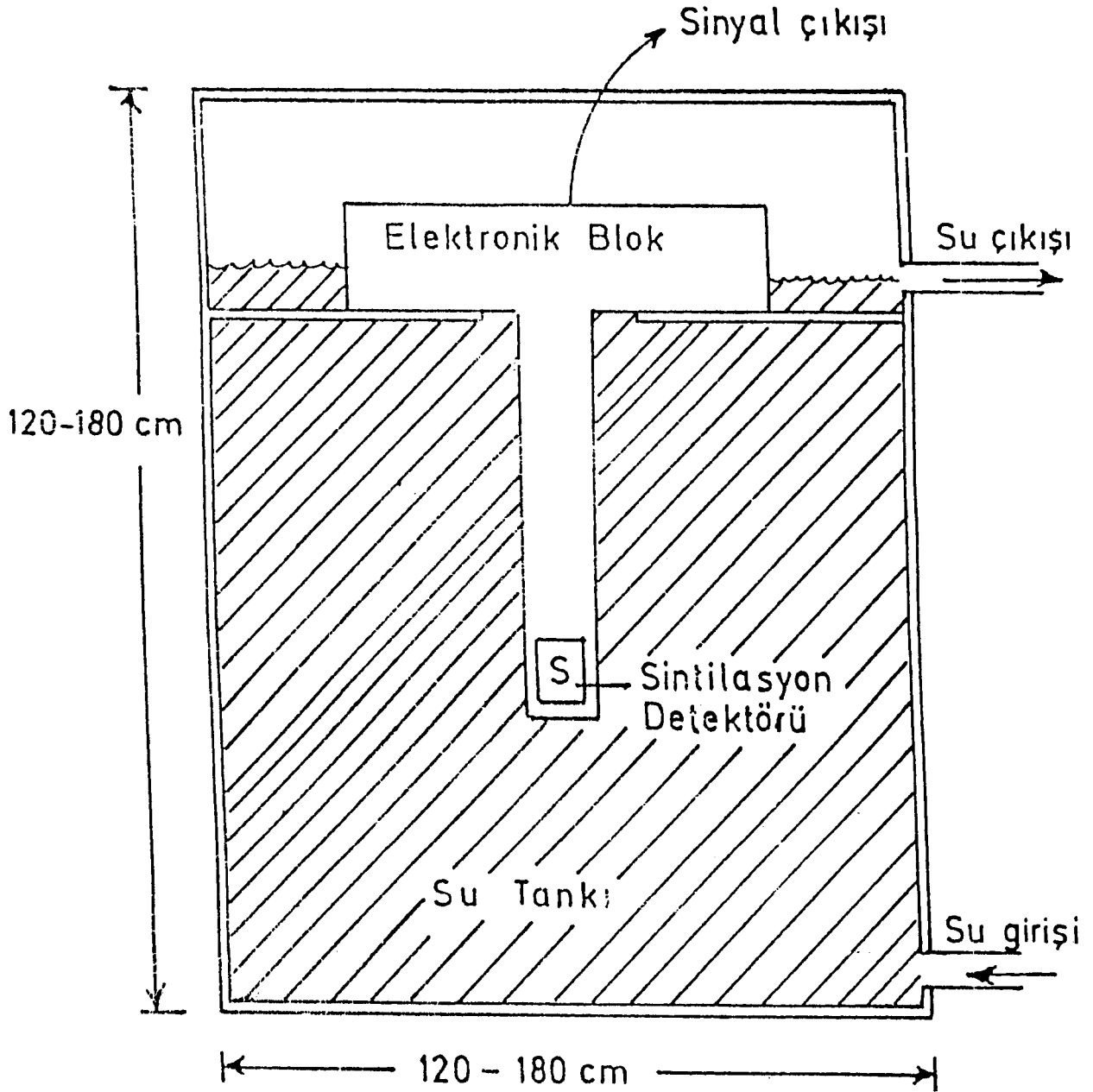
Bu sürekli radon izleme sistemi ile yapılan ölçümler ve ayrıca sürekli izleme alanları çevresinden alınan su örneklerinin laboratuvar analizlerinin ilk sonuçları, sismik etkinlik ile sulara radon konsantrasyonu arasında karşılıklı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur (Fleisher ve diğ. 1980, King 1978a, King 1978b, Smith ve diğ. 1975).

Sulara sürekli radon izlemesi için geliştirilen bu gama spektrometrik yöntemle başarılı sonuçlar elde edilmesine karşın, sistemin arazi uygulamaları için fazla büyük, karmaşık ve pahalı olması kullanılmasını sınırlamaktadır. Buna karşın son yıllarda geliştirilen alfa parçacıklarına duyarlı pasif radon detektörleri ve nükleer iz kazıma tekniği ile kuru sondaj deliklerinde radon izlemesi yöntemi giderek önem kazanmaktadır. Bu yöntemde alfa parçacıklarına duyarlı küçük bir plastik film (selüloz asetat, allil diglikol karbonat, v.b.) su bardağı şeklinde bir plastik kabın dibine yapıştırıldıktan sonra, kap 10 cm çapında ve 70 cm derinliğinde bir sondaj çuku-



Şekil 2. U-238 Radyoaktif ailesinin kısaltılmış bozulma şeması.

Fig. 2. U-238 Radioactive decay scheme (shortened).



Şekil 3. Gamma Spektrometrisi yöntemiye suda sürekli radon izleme cihazının şematik görünüşü.  
Fig. 3. Schematic presentation of gamma ray spectrometer for radon monitoring in water.

runa bir hafta süre ile başaşağı şekilde yerleştirilmektedir. Kabın içindeki hava aralığı filmi topraktan yayımlanan alfa parçacıklarının etkisinden korumakta buna karşın radon gaz olduğundan, kap içine girerek filmi etkilemektedir. Bu etkileme sonucu plastik film üzerine alfa parçacık izleri kalmaktadır. Film geriye alındıktan sonra kimyasal bir iz kazıma işlemi uygulanarak söz konusu alfa parçacıklarının izleri mikroskop altında görülür hale getirilmektedir. Görülür hale getirilen alfa izleri yaklaşık  $6 \text{ mm}^2$ 'lik bir alanda sayılmaktadır. Böylece elde edilen alfa çekirdek izleri sayısı ölçüm süresince delikteki toprak gazı içindeki ortalama radon konsantrasyonu ile orantılı bulunmaktadır (King 1978a,

King 1978b ve Smith ve diğ. 1975). plastik film üzerine alfa parçacık izleri kalmaktadır. Film geriye alındıktan sonra kimyasal bir iz kazıma işlemi uygulanarak söz konusu alfa parçacıklarının izleri mikroskop altında görülür hale getirilmektedir. Görülür hale getirilen alfa izleri yaklaşık  $6 \text{ mm}^2$ 'lik bir alanda sayılmaktadır. Böylece elde edilen alfa çekirdek izleri sayısı ölçüm süresince delikteki toprak gazı içindeki ortalama radon konsantrasyonu ile orantılı bulunmaktadır (King 1978a, King 1978b ve Smith ve diğ. 1975).

Pasif radon detektörleri ve nükleer iz kazıma yöntemi 1975 yılında A.B.D.'nin Kaliforniya eyaletindeki San Andreas ve Calaveras faylarının 60 km'lik aktif

bölgesi boyunca yerleştirilen 20 kuru delik içinde depremlerin önceden saptamada yararlı ön değişiklikleri ölçmede kullanılmaya başlanmıştır (King 1978a, King 1978b).

A.B.D.'nin Jeolojik Araştırmalar Dairesi'ne bağlı Deprem Araştırmaları Kurumu'nca Orta Kaliforniya'daki tektonik faylardaki 60'dan fazla yerde ve Hawaii adasındaki Kilunea volkanı yakınındaki 9 yerdeki kuru çukurlarda pasif radon detektörleri ve iz kazıma yöntemiyle yapılan yüzeyel toprak altı radon sızıntısı üç yıl kadar bir süreyle izlemiştir (King 1978b). Tektonik bakımdan aktif bu alanlarda ölçülen radon sızıntısı görülen uzun süreli değişmelerin başlıca yer kabuğundaki basınç değişmelerinden ileri gelebileceği sonucuna varılmıştır.

### ÇNAEM'DE RADON ÖLÇÜMLERİ

Radon gazının havadaki konsantrasyonunun doğru bir şekilde ölçülmesi son zamanlarda üç alandaki uygulamaları nedeniyle önem kazanmıştır; (a) radyasyon korunması; (b) uranyum aramaları; ve (c) depremlerin önceden saptanması (Alkan ve Göksel 1975, Cliff ve diğ. 1979, Cohen 1980, Fleischer ve diğ. 1972, Köksal ve diğ. 1985, Miles ve Driscoll 1981).

Havasında yüksek konsantrasyonda radon bulunan yerlerde çalışanların akciğer kanserine yakalanma riskinin fazla olduğu bilindiğinden, önceleri uranyum madenlerinde çalışan madencileri bu tehlikeden korumak için gerekli önlemler alınmıştır. Diğer yandan, evlerde olduğu gibi, çok daha düşük konsantrasyondaki radonun insanlar üzerindeki etkisi bilinmemektedir. Ancak uranyum madencilerinin maruz kaldıkları radon düzeylerinden evlerde ölçülen radon düzeylerine yapılan bir doğrusal ekstrapolasyon, ısı kaybını önlemek için evlerde yapılan izolasyon sonucu radon konsantrasyonunda oluşacak artışların binlerce insanın ölümüne neden olacağını ortaya çıkarmıştır (Cliff ve diğ. 1979, Cohen 1980, Fleischer 1980, Köksal ve diğ. 1985, Miles ve Driscoll 1981, Smith ve diğ. 1981).

Ülkemiz evlerindeki radon düzeylerinin ölçülmesi ve yüksek düzeyde radon içeren evlerde yaşayanların akciğer kanseri riskinden korunması amacıyla ÇNAEM bir araştırma projesi başlatmış bulunmaktadır. Bir yıldan beri uygulanmasına geçilen bu proje çerçevesinde İstanbul ve yöresinden başlamak üzere çeşitli yapı malzemesinden yapılan evlerin içinde atmosferik radon konsantrasyonları ölçülmektedir. Bu amaçla yapılan radon ölçümlerinde ticari adı CR-39 olan Allil diglikol karbonat plastiğinden yapılmış yaklaşık 20 mm x 20 mm x 0.25 boyutlarında pasif radon detektörleri su bardağı şeklinde bir plastik kap içine yerleştirilmiştir. "Radon difüzyon kabı" olarak kullanılan bu plastik kabın ağzı pamuklu bir bezle sıkıca kapatılmıştır (Köksal ve diğ. 1985).

Radon difüzyon kabının ağızını kapatan pamuklu bez yalnız radon gazının içeriye girmesine izin vermekte,

havadaki katı radon ürünleri ise bu bez tarafından tutularak difüzyon kabı içine girmeleri engellenmektedir. Difüzyon kabı içine giren radon gazı, plastik detektöre değdiğinden, radyoaktif bozulması sonucu yayınladığı alfa parçacıklarının izleri plastik üzerinde kalmaktadır. Bu izlerin sayısı difüzyon kabı içindeki radon konsantrasyonu ile orantılı olmaktadır (Şekil 4).



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Radon difüzyon kapları ve (b) Kalibrasyon odası

Fig. 4. (a) Radon diffusion cups and (b) Calibration Chamber.

Böylece, belirli bir süre ile havadaki radon gazına maruz bırakılan plastik detektörler yerlerinden alındıktan sonra laboratuvarında özel bir kimyasal iz kazıma işlemiyle mikroskop altında görünür bir duruma getirilmektedir. Mikroskop altındaki belirli alanlarda sayılan alfa izlerinin sayısı, Radon Kalibrasyon Odası'nda bilinen bir radon konsantrasyonuna belirli bir süre maruz bırakılan

plastik filmler üzerindeki iz sayısı ile karşılaştırılarak bilinmeyen radon konsantrasyonu hesaplanmaktadır (Fleischer 1972, Fleischer 1980, Köksal ve diğ. 1985, Piesch ve diğ. 1981).

ÇNAEM Laboratuvarı'nda geliştirilen radon dozimetreleri ile İstanbul'un çeşitli semtlerindeki 45 evin oturma odalarında yapılan radon ölçümleri oturma odalarındaki radon konsantrasyonlarının 0.7 ile 3.5 pCi/litre arasında değiştiğini ortaya koymuştur (Köksal ve diğ. 1985).

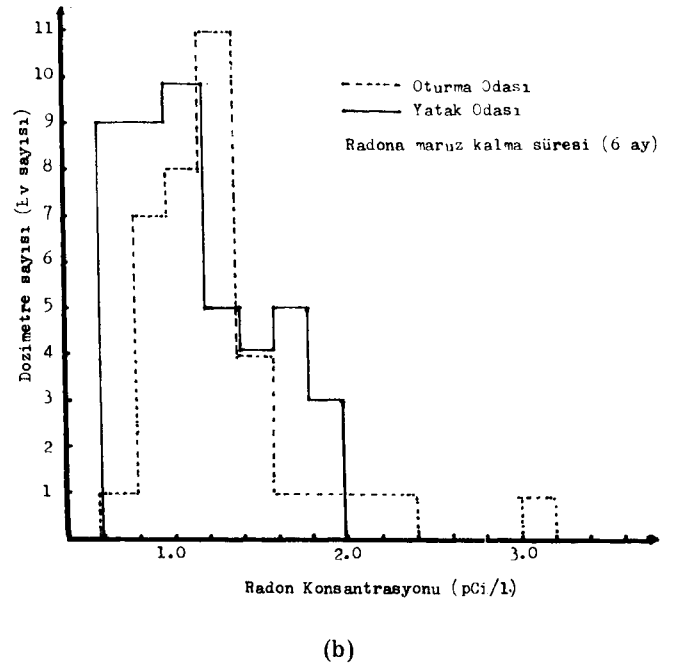
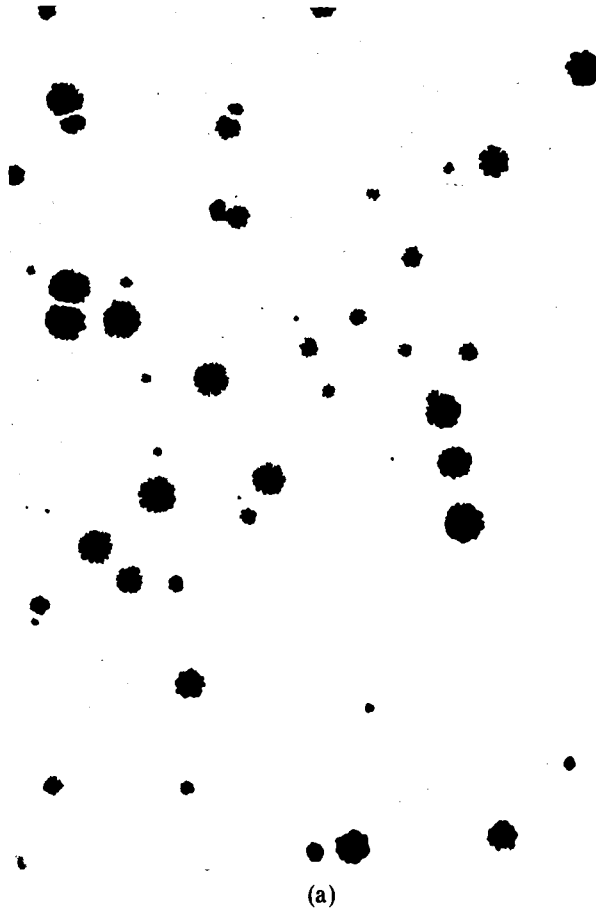
## SONUÇLAR

ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü laboratuvarlarında geliştirilen pasif radon detektörleriyle yapılan ölçümler atmosfer içindeki düşük düzeyli radon konsantrasyonlarının kolay ve güvenilir bir doğrulukla ölçümlerinin olanaklı olduğunu göstermektedir. Bu alandaki çalışmalar sürerken, yöntemin diğer bir uygulaması olarak, önemli bir deprem kuşağı içinde bulunan ülkemizde radon sızıntısı ölçümleri temeline dayanan bir "deprem-

leri önceden saptama sistemi"nin kurulması depremlerde can ve mal kaybının azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Geliştirilen pasif radon dozimetresi sistemi ucuz, kullanılması basit ve güvenilir sonuçlar veren bir sistem olup, herhangi bir aktif fay boyunca açılacak sığ sondaj deliklerine yerleştirilmek suretiyle belirli bir süre (bir hafta kadar) topraktan gelen radon gazı etkisine bırakıldıktan sonra yenileriyle değiştirilmek üzere yerlerinden alınacaktır. ÇNAEM laboratuvarlarında yapılacak kimyasal iz kazıma işleminden sonra görünür hale getirilen alfa izleri mikroskop altında sayılarak radon konsantrasyonları ölçülecektir.

Özellikle, depreme en fazla maruz kalması beklenen aktif faylar boyunca böyle depremleri önceden saptama sisteminin kurulması için Türkiye'de deprem konusunda uzman diğer kuruluşlarla işbirliği yapılmasının zorunlu olacağı açıktır. Bu nedenle radon izleme yoluyla depremleri önceden saptama sistemi ile ilgili kuruluşların bu konuda geliştirilecek bir proje etrafında toplanmalarında büyük yarar vardır.



Şekil 5. (a) Pasif Radon Detektörü üstünde alfa izleri ve (b) Ev içi radon konsantrasyonu dağılımı histogramı.  
Fig. 5. (a) Alpha particules traeks on a passive radon dedector and (b) İndoor radon measurements histogram.

