



## Ekonomik Bir Nükleer İz Kazıma Ünitesinin Üretilmesi ve Performansının Test Edilmesi

Vahap KARAKILIÇ<sup>1,2</sup>, Teslime KUŞCU<sup>1</sup>, Gökhan ERYILDIZ<sup>1</sup>, Mehmet Ertan KÜRKÇÜOĞLU\*<sup>1</sup>  
1 Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, 32260 ISPARTA  
2 Ankara Üniversitesi, Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü, Gölbaşı Kampüsü, 06830 ANKARA

(Alınış Tarihi: 25.03.2013, Kabul Tarihi: 10.01.2014)

### Anahtar Kelimeler

Radon  
CR-39  
İz kazıma işlemi

**Özet:** Radon ve bozunum ürünlerinin solunum yoluyla vücuda alınması akciğer kanser riskini arttırması gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabildiğinden özellikle kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonunun ölçülmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, pasif ölçme tekniği ile radon yoğunluğu ölçümleri için yaygın olarak tercih edilen CR-39 nükleer iz dedektörlerinin analizlerinde kullanılan banyo ünitesine seçenek olarak tasarladığımız iz-matik cihazının performansı incelenmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsünde, bina içi 10 ölçüm noktasına çiftler halinde yerleştirilen CR-39 dedektörleri 6 haftalık süre ile radon kaynaklı alfa emisyonunu kayıt etmiş ve ölçüm dönemi sonunda toplanan dedektörlerdeki alfa radyasyonuna ait izlerin sayım işlemi Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Sağlık Fiziği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Alfa izlerinin görünür hale getirilmesi aşamasında, her ölçüm noktasına konulan dedektör çiftlerinden birisi SANAEM laboratuvarında bulunan standart iz kazıma ünitesi (Radobath) ile değeri ise tarafımızdan geliştirilen iz-matik cihazı ile banyo edilmiş ve elde edilen analiz sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut kullanımda olan Radobath iz kazıma ünitesine göre 65 kattan daha ekonomik olan iz-matik banyo ünitesinin, CR-39 pasif nükleer iz dedektörlerinin kimyasal iz kazıma işleminde kullanılabileceği bulunmuştur.

## Producing an Inexpensive Nuclear Etching-Unit and Testing Its Performance

### Keywords

Radon  
CR-39  
Etching process

**Abstract:** Since the inhalation of radon and radon progenies may cause serious health risks such as increase in the incidence of lung cancer, it is important to determine indoor radon concentrations. In the present study, the performance of the etching unit (track-matic), an automatic bath processing appliance for CR-39 nuclear track detectors that we designed as an alternative to conventional Radobath etching unit, was examined. Indoor radon measurements were performed for a 6-weeks period by using CR-39 detectors, which were placed in 10 measurement points in couples at the Süleyman Demirel University campus. At the end of the measurement period the CR-39 detectors were collected and the counting process of alpha traces (recorded by the detectors) were fulfilled in the Health Physics Laboratory of Sarayköy Nuclear Research and Training Center (SANAEM) in Ankara. At the stage of making the recorded alpha traces visible, for all the detector couples obtained from the measurement points, the film processing of one detector was performed by using the conventional Radobath etching unit in SANAEM laboratory and the bath process of the other CR-39 detector was performed by our device. Then the results of the analyses were compared to each other. Within the limitations of this study it may be concluded that, the track-matic device that we developed, which is approximately 65 times more economical than the current film processing unit Radobath, can be used for chemical etching process of CR-39 detectors.

\*İlgili yazar: [ertankurkuoglu@sdu.edu.tr](mailto:ertankurkuoglu@sdu.edu.tr)

## 1. Giriş

Enerjinin, uzayda elektromanyetik dalgalar veya parçacık şeklinde bir yerden başka bir yere taşınma olayı olarak tanımlanabilen radyasyon, genellikle kararsız bir atomun çekirdeği ile ilişkilidir. Nötron veya proton fazlalığı olan kararsız çekirdekler, kararlı bir yapıya ulaşmak için radyoaktif bozunum yaparak alfa, beta ve gama radyasyonu yayar. Yerkabuğu kökenli doğal radyonüklitler ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  vb.) ve kozmojenik radyonüklitler ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  vb.) bu tür kararsız çekirdekleri oluştururlar. Dünya genelinde bir kişinin bir yılda aldığı ortalama radyasyon dozu 2,7 mSv düzeyinde olup bunun yaklaşık 2,4 mSv'lik kısmı doğal radyasyondan kaynaklanmaktadır (TAEK, 2011). Radon ve radonun kısa ömürlü ürünlerinin payı ise kaçınılmaz biçimde maruz kaldığımız doğal radyasyonun yarısı (1,3 mSv/yıl) kadardır (IAEA, 1996).

Yirminci yüzyılın hemen başlarında yaydığı alfa parçacığı sayesinde keşfedilen radon, 86 atom numarası ile periyodik cetvelde yer alan en ağır soy gazdır. Radon, renksiz ve kokusuz ve kimyasal olarak inaktiftir. Günümüzde yaygın biçimde, radon olarak adlandırılan  $^{222}\text{Rn}$  (emanon) radyoizotopu için ilk defa 1900 yılında Radyum-226'nın saldıgı gaza atıfta bulunularak "radyum emanasyonu" tanımlaması kullanılmıştır (George, 2007). Alfa ( $\alpha$ ) parçacığı yayımlayabilen tek radyoaktif gaz olan radon, uranyum ve toryum bozunma serilerinden gelen üç doğal radyoizotopa sahiptir ( $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ) (Kürkçüoğlu vd., 2009). İnsanların radyasyona maruz kalmaları açısından değerlendirildiğinde, bu üç doğal radyoizotop içerisinde en tehlikelisi  $^{222}\text{Rn}$  dir. Yarılanma ömrü 3,824 gün olan radon 5,49 MeV (%99,92) veya 4,99 MeV (%0,08) enerjili alfa parçacığı yayımlayan bir radyoaktif gazdır (L'Annunziata, 1998).

Başlıca kaynağı yer küre olan radon gazı, yer küredeki kayalar ve toprak içerisinde bulunan doğal radyoizotopların radyoaktif bozunması sonucu oluşur ve buradan sızarak atmosfere karışır. Havadan yaklaşık olarak 8 kat daha ağır olan radon gazı bu özelliğinden dolayı kapalı yerlerde birikmeye eğilim gösterir. İyonlaştırıcı bir radyasyon kaynağı olan ve A sınıfı bir kanserojen olarak kabul edilen radona (özellikle solunum yolu ile) maruz kalınması ciddi sağlık problemlerine yol açabilmektedir (BEIR VI, 1999). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) toplam akciğer kanseri vakalarının %14'üne kadarından sigaradan sonra en riskli madde olan radonu doğrudan sorumlu tutmaktadır (WHO, 2005). Radon nedeniyle karşı karşıya bulunduğumuz riskin belirlenebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi amacıyla yaşam alanlarımızdaki radon düzeylerinin saptanmasına yönelik araştırmalar dünya genelinde yaygın bir biçimde çalışılmaktadır.

Atmosferik radon konsantrasyonu ölçümleri, aktif ya da pasif ölçüm tekniklerinden faydalanılarak laboratuvarında veya sahada (yerinde), kısa veya uzun dönem ölçümleri biçiminde yapılabilmektedir. (Papastefanou, 2002; Durrani ve Ilic, 1997; Bayraktar, 2011). Yerinde gerçekleştirilen radon ölçümleri, ölçüm noktalarına konulan dedektörlerin yeterince uzun bir zaman aralığında bu noktalarda bırakılarak daha sonra sonuçların belirlenmesi esasına dayanır. Ölçümler sürekli yapılabileceği gibi bir ölçüm periyodu boyunca düzenli aralıklarla da yapılabilir. Radon düzeyleri doğal şartlar altında ölçüldüğünde, yani radon gazı dedeksiyon birimine difüzyon yoluyla kendiliğinden girdiğinde ölçüm pasif olarak yapılmış olur. Radon gazını ihtiva eden numunenin, cihazın dedeksiyon hacmine pompalanarak taşınmasını gerektiren ölçümler ise aktif ölçüm olarak nitelendirilir (Bayraktar, 2011). Aktif ölçüm yönteminde radon gazını veya radonun bozunma ürünlerini algılayan kısım genellikle elektronik bir cihazdır. Pasif yöntemde kullanılan cihazların çoğu, aktif ölçüm sistemine dönüştürülebilmektedir (Durrani ve Ilic, 1997). Katı-hal nükleer iz dedektörleri, dielektirik dedektörler, termoluminesans fosforlar, katı-hal elektronik dedektörler ve minik elektrometreler gibi ölçüm cihazlarının kullanıldığı pasif ölçüm tekniği, aktif ölçüm tekniğine göre uygulamada daha pratik ve daha ekonomik olması gibi avantajları nedeniyle birden çok ölçüm noktasında eş zamanlı ölçümlerin yapılmasında tercih edilmektedir. Ayrıca pasif ölçüm tekniği ile yapılan uzun dönemli atmosferik radon ölçümleri, radon düzeyi için daha güvenilir bir ortalama değer elde edilmesi bakımından aktif tekniğe üstünlük sağlamaktadır (Bayraktar, 2011; Kürkçüoğlu vd., 2010). Bina içi atmosferik radon konsantrasyonu ölçümlerinde, pasif ölçüm tekniğinde yer alan ve selüloz asetat, poli-karbonat ve alil-diğlikol-karbonat gibi alfa emisyonu duyarlı plastik film tabakalarından yapılmış ticari olarak CR-39 ve LR-115 şeklinde adlandırılan katı-hal nükleer iz dedektörlerinin kullanımı oldukça yaygındır.

Bu çalışma için kullanılan CR-39 nükleer iz dedektörleriyle yapılan ölçme işlemi, dedektör yüzeyi üzerindeki plastik plakalara çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı gözle görülmeyen izlerin kimyasal iz kazıma (etching) yöntemi ile netleştirilerek bir mikroskopta sayılması esasına dayanmaktadır (Radosys, 2000; Radosys, 2010). Ülkemizde, son otuz yılda giderek popülerlik kazanan ve büyük bir çoğunlukla meskenler için yürütülen atmosferik radon seviyesi ölçümlerinde CR-39 dedektörlerinin daha fazla tercih edilmesinin en büyük nedenlerinden birisi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na (TAEK'e) bağlı Ankara'daki SANAEM ve İstanbul'daki ÇANAEM'de (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde) bulunan radon ölçüm sistemlerinin CR-39 dedektörleri ile çalışmasıdır. Bu merkezlerce kullanılan mevcut radon analiz sistemleri Radosys (Budapeşte, Macaristan)

firmasında üretilmektedir. Analiz seti, Radometer ünitesi (mikroskop, bilgisayar, yazılım) ve Radobath ünitesi (banyo ünitesi) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Radosys, 2000; Radosys, 2010). CR-39 dedektörlerine çarpan iyonize alfa radyasyonunun film üzerine bıraktığı izlerin kimyasal iz kazıma işlemiyle belirginleştirilmesi için Radobath ünitesi kullanılmaktadır.

Nükleer iz dedektörleri ile kapalı ortamlarda radon ölçümlerinin ülkemizde yaygınlaştırılmasına katkıda bulunabilmek için, yurtdışından temin edilen iz kazıma ünitesi yerine benzer özelliklere sahip, pratik, fonksiyonel ve en önemlisi çok daha ucuz bir iz kazıma cihazının mevcut imkanlar kullanılarak yapılması amacıyla hazırlanan bu çalışmanın izleyen bölümünde konvansiyonel nükleer banyo ünitesi tanıtılarak bir çaymatığın nükleer iz kazıma ünitesine dönüştürülmesi anlatılmaktadır. Daha sonra, CR-39 dedektörleriyle yapılan ölçümler yardımıyla izmatığın performansı test edilerek elde edilen bulgular mevcut Radobath ünitesinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır.

## 2. CR-39 Nükleer İz Dedektörleri ve Kullanılan Mevcut Banyo Ünitesi

Çalışmamızda kullanılan CR-39 nükleer iz dedektörleri, poli-alil-diglikol-karbonat (PADC) formunda kimyasal yapıya sahip plastiklerden imal edilmiş, alfa emisyonuna duyarlı olan, ölçüm yapılırken herhangi bir güç kaynağına veya kimyasal enerjiye gereksinim göstermeyen, oldukça ekonomik pasif ölçüm cihazlarıdır. Yaklaşık 100 mm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip olan CR-39 plakaları, elektrostatik korumaya sahip uygun hacimdeki bir plastik kabın (radon difüzyon kabının) içerisine konumlandırılmıştır. Ölçüm odası vazifesi gören bu difüzyon kabı, radon ürünlerini filtre ederek sadece radon gazını geçirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kap içerisine giren radon gazı, radyoaktif bozunma sonucu alfa parçacıkları yayımlamakta ve bu alfa parçacıkları dedektör ile etkileşerek CR-39 plakaları üzerinde gizli izler bırakmaktadır. Plakalar üzerinde meydana gelen iz yoğunluğu, ölçüm yapılan yerin havasındaki radon konsantrasyonu ile orantılıdır. Şekil 1'de atmosferik radon konsantrasyonu ölçümlerinde kullanılan mevcut dedektör sistemleri verilmektedir.



Şekil 1. CR-39 pasif nükleer iz dedektörlerini içeren farklı uygulamalara yönelik tasarlanmış çeşitli difüzyon kapları

Nükleer iz dedektörleri radon konsantrasyonu ölçülecek ortamda belli bir süre boyunca bırakılır. Bu süre boyunca ölçüm yapan dedektörler, ölçüm sonrasında fazladan radyasyona maruz kalmayı önlemek için alüminyum folyo içine sarılarak toplanmakta ve dedektörlerin kayıt ettikleri alfa radyasyonuna ait izlerin sayımı için Ankara veya İstanbul'daki radon ölçüm laboratuvarlarına gönderilmektedir. Sayım işleminden önce, alfa parçacıklarının film üzerinde bıraktığı gizli izlerin görünür hale gelebilmesi için banyo ünitesinde (Şekil 2) iz kazıma işlemi yapılmaktadır. Radobath banyo haznesine %75 oranında saf su ile %25 oranında NaOH konularak hazırlanan ve PH değeri 12,6 olan bu bazik çözelti içerisine yerleştirilen plakalar, uygun koşullarda iz kazıma işlemine tabi tutulmaktadır. Radobath iz kazıma ünitesine ait teknik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 2. Radobath iz kazıma ünitesi

Bu işlem sonunda banyo haznesindeki çözeltinin tahliye edilmesini takiben hazneye saf su ile asetik asit eklenerek plakalar nötralize edilmekte ve banyo ünitesinden çıkarılan CR-39 plakaları kurumaya bırakılmaktadır (Radosys, 2000).

Tablo 1. Radobath iz kazıma ünitesini teknik özellikleri (Radosys, 2010)

İz kazıma çözeltisi	% 25 lik NaOH
İz kazıma sıcaklığı	90 °C
İz kazıma süresi	4 saat
Aynı anda iz kazıma işlemi yapılabilecek dedektör sayısı	432
İz kazıma çözeltisi hacmi	5000 g
Banyo işlemi özellikleri	Sıcaklık düzenleme ayarı, otomatik sıvı karıştırıcı
Güç	90-240 V (AC), 50/60 Hz
Cihazın paketlenmiş ağırlığı	8kg
Cihazın boyutları	ø250mm x 350mm

İz kazıma işleminin ardından dedektör plakaları üzerinde belirgin hale gelen izler, bir ışık mikroskobundan görüntüyü alan 100× büyütme bir CCD kamera ve kameradan elde edilen bu görüntüyü dijital hale çeviren bir PC'den oluşan optik bir sistem ile otomatik olarak okunmaktadır. Böylece, CR-39'lara ait kalibrasyon katsayısı, radona maruz kalınan süre gibi parametreleri veri olarak kullanan bir yazılım sayesinde, bir dedektör üzerindeki iz yoğunluğundan hareketle ölçüm yapılan birimdeki radon düzeyi doğrudan belirlenmektedir (Karakılıç vd., 2009; Kürkçüoğlu vd., 2009; Bayraktar, 2011)

### 3. Çaymatığın Nükleer İz Kazıma Ünitesine Dönüştürülmesi

CR-39 dedektörlerinin iz kazıma işleminde kullanılan konvansiyonel banyo ünitesi, banyo aşaması boyunca filmleri 90°C sıcaklıkta tutan bir termostatlı dirence ve dedektörlerin takılı olduğu slaytları bazik çözelti içerisinde döndüren bir bileşene sahip olduğundan, uygun malzemedan yapılmış, silindirik bir iç hacime ve ayarlanabilen termostatlı rezistansa sahip mevcut elektrikli cihazlar arasında endüstriyel bir çaymatığın iz kazıma ünitesine (iz-matiğe) dönüştürülerek kullanılabilmesi fikrinden hareketle, 23 cm çapında ve 21 cm yüksekliğinde silindirik iç ölçülere sahip olan krom-nikel ve paslanmaz malzemedan yapılmış çift musluklu bir çaymatik satın alınmıştır. Cihazın içerisinde bulunan banyo işlemi yapılmasına engel olabilecek parçalar (demlik haznesi, demlik haznesi için kullanılan musluk vb.) çıkartılmıştır. Sıcak su musluğu ise banyo işleminde kullanılan çözelti için tahliye musluğu olarak kullanılmak amacıyla iptal edilmemiştir.

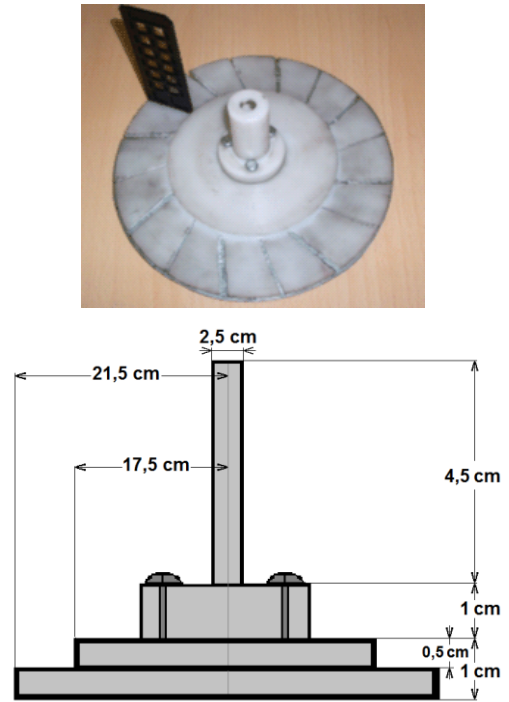
Daha sonra, dedektörlerin yerleştirileceği slaytları tutan ve banyo işlemi süresince dönerek banyo çözeltisini karıştırıp dedektörler için çözelti içerisinde homojen bir şekilde iz kazıma işleminin yapılabilmesini sağlayacak iç aksamların tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak, banyo işlemi esnasında dedektör tutucusunun (CR-39'ların takıldığı slaytları taşıyan parçanın) bir eksen etrafında yalpalama yapmadan düzgün bir şekilde dönebilmesi için ortasında 11,5 cm uzunluğunda silindirik bir mil bulunan ve iz-matiğin tabanına oturabilen 20,5 cm çaplı, 1,5 mm kalınlıklı disk şeklinde saç malzemedan yapılmış dairesel bir mil tutucu tabanlı imal edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Mil tutucu tabanlılık

İz-matiğin tabanındaki rezistansla temasın önlenmesi için bu diskin altına 2,5 cm yüksekliğinde 3 adet ayak kaynaklanarak mil tutucu yükseltilmiştir.

Bir sonraki aşamada dedektör kazıma diski tasarlanmıştır. Bunun için yüksek sıcaklıklara ve kimyasal çözülmeye dayanıklı olan derlen malzemesi kullanılmıştır. Torna tezgâhında 8 adet slayt takılabileceği (her bir slayt 6 çift CR-39 plakasını taşımaktadır) 21,5 cm çapındaki dairesel slayt taşıyıcı disk üzerine 4 cm uzunluğunda slayt yataklarının açılması. Bu disk, 2,5 cm çapında ve 4,5 cm uzunluğunda bir mil yuvasına monte edilerek drum diski oluşturulmuştur (Şekil 4'te imal edilen kazıma diski ve ölçülendirmesi gösterilmektedir).

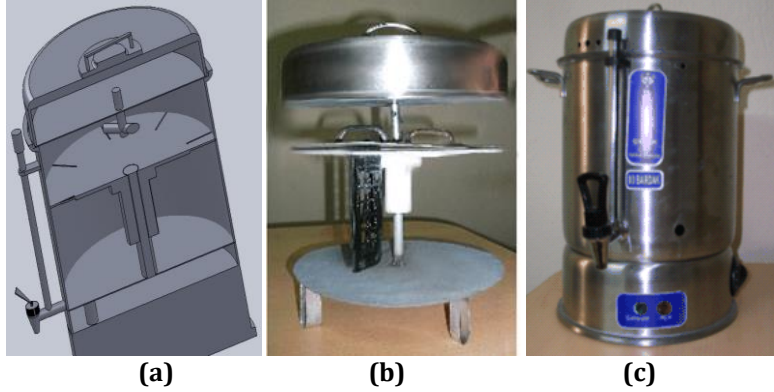


Şekil 4. Dedektör tutucularının (slaytların) yerleştirildiği kazıma (drum) diski ve ölçüleri

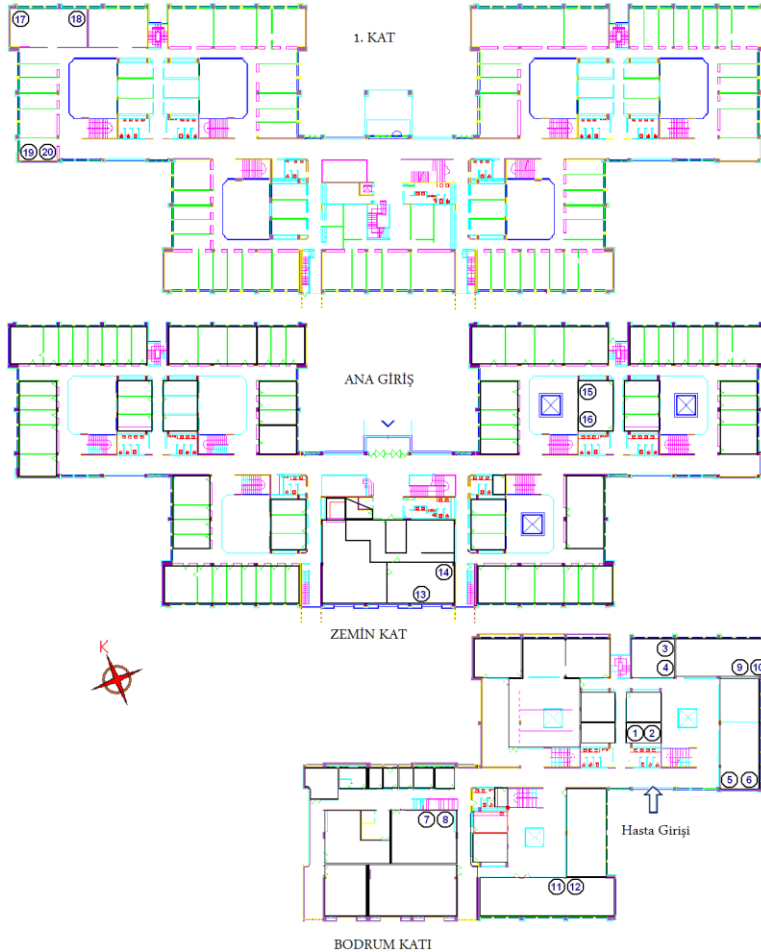
Daha sonraki adım ise dedektörlerin çözelti içerisinde sabit ve uygun bir hızda dönebilmesini sağlayacak motorun üst kapağa yerleştirilmesi aşamasıdır. Bunun için çaymatığın kapağının alt kısmı bir saç levha kullanılarak tamamen kapatılmış ve burada elde edilen hacmin iç kısmına, motor mili tam merkezden çıkacak biçimde düşük devirli regüleli bir motor vidalanarak monte edilmiştir. Motorun iz kazıma işlemi süresince sıcaklıktan etkilenmemesi amacıyla motor ve saç levha arası cam elyaf ile yalıtılmıştır. Motor milinin kazıma diskini döndürebilmesi için mil ve diskin birbirine bakan yüzlerine karşılıklı olarak tutucu tırnaklar kaynaklanmıştır. Motor milinin iz kazıma diskini çözelti içerisinde yaklaşık 30 devir/dakika hızla döndürecek şekilde ayarlanmasıyla, çözeltinin slaytlardaki dedektörlerin her yerine eşit miktarda nüfuz etmesi, yani banyo işleminin homojen bir biçimde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Banyo işleminin sağlıklı olarak yapılabilmesi için bu işlemin sabit sıcaklıkta dört saat boyunca sürmesi gerekmektedir. Bu zamanlama işlemi, motor ve cihazın termostatının enerjisini kontrol edebilen dijital göstergeli, zaman ayarlı bir priz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İç yapısı Solidwork programı vasıtasıyla planlanan iz kazıma ünitesinin iç aksamaları bir araya getirilerek çaymatığın içerisine yerleştirilmiş ve iz-matik kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 5).

Çaymatığın iz-matığe dönüştürülmesi işlemine paralel olarak, TAEK'ten alınan 20 adet CR-39 dedektörü Ekim 2010 ile Aralık 2010 tarihleri arasında 6 haftalık bir süre için bina içi 10 ölçüm noktasına çiftler halinde yerleştirilmiştir (Şekil 6). Ölçüm süresi boyunca radon kaynaklı alfa emisyonuna maruz kalan nükleer iz dedektörleri, toplandıktan sonra performansı test edilecek banyo ünitesiyle (iz-matikle) birlikte SANAEM Sağlık Fiziği Laboratuvarı'na götürülerek analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.



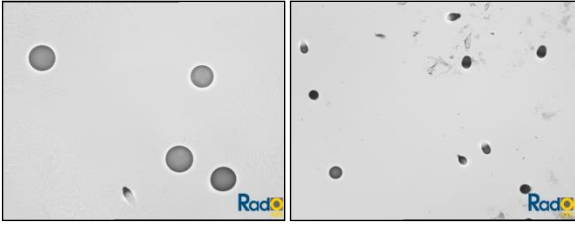
**Şekil 5.** (a) İz-matığın Solidwork programı kullanılarak yapılan tasarımına ait bir kesit. (b) İz-matığın iç haznesi için yapılan aparatlar; mil tutucu tabanlık, CR-39'ların takılı olduğu slaytları taşıyan kazıma diski ve bu diski bazık banyo çözeltisi içinde döndürecek (iz-matığın üst kapağına sabitlenmiş) düşük devirli motorun bir arada görünüşü. (c) Nükleer iz kazıma ünitesi olarak kullanılabilir hale gelmiş olan cihazın dış görünümü



**Şekil 6.** Süleyman Demirel Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi'ne yerleştirilen CR-39 dedektör çiftlerinin konumlarının bina planı üzerinde gösterimi

#### 4. Bulgular

Şekil 6'daki planda konumları detaylı olarak gösterilen CR-39 dedektör çiftleri 19 Ekim 2010 tarihinde, solunum seviyesine ve birbirlerinin ölçümlerini etkilememeleri için birbirinden en az 25 cm uzağa yerleştirilerek radon kaynaklı doğal radyasyona maruz bırakılmıştır. Ölçüm periyodu sonunda toplanarak SANAEM Sağlık Fiziki Laboratuvarı'na götürülen dedektör çiftlerinden bir tanesi bu laboratuvarında kullanılmakta olan Radobath banyo ünitesiyle diğeri ise bizim tasarladığımız iz-matik ile banyo edilmiş ve bu işlemin ardından, CR-39 dedektör plakaları üzerinde belirginleşen alfa izleri RadoMeter görüntü işleme ünitesinde sayılmıştır (Şekil 7).



**Şekil 7.** Dedektörler üzerinde belirgin hale gelen alfa izlerin RadoMeter ünitesinde elde edilen görüntüleri (soldaki görüntü Radobath ile banyo edilen, sağdaki ise iz-matik ile banyo edilen bir dedektöre aittir)

Analizi gerçekleştirilen alfa izlerine ait görüntüler incelendiğinde, iz-matik ile banyo işlemi gerçekleştirilen dedektör plakaları üzerindeki izlerin Radobath ile banyo edilenler kadar büyümediği gözlenmiştir (Şekil 7). İz-matiğin iç haznesinin dizaynında kullanılan saç malzeme banyo işleminde kullanılan NaOH çözeltisi ile kimyasal reaksiyona girdiği için dedektörler üzerinde küf lekeleri meydana gelmiş ve bu durum izlerin netliğini ile kalibrasyonu olumsuz etkilemiştir. Bununla birlikte, iz-matiğin kapak ağzı için bir conta tasarlanmamış olması, üst kapağın aralık kalmasına ve tam sızdırmazlık sağlanamadığı için ısı kaybına yol açmıştır. Cihazın termostatının yeterince hassas sıcaklık toleransına sahip olmamasından dolayı termostat beklenildiği kadar çabuk devreye girmediğinden banyo işlemi boyunca NaOH çözeltisinin sıcaklığında dalgalanmalar meydana gelmiş ve iz kazıma sıcaklığı tam 90°C'de sabit tutulamamıştır. Banyo sıcaklığının istenilen sıcaklıktan düşük olması ise izlerin daha küçük ve az sayıda olmasına yol açmış olabilir.

RadoMeter ünitesinde yaklaşık 47mm<sup>2</sup>'lik yüzey alanı taranan her bir CR-39 plakasının üzerindeki alfa iz yoğunlukları belirlendikten sonra atmosferik radon konsantrasyonları ( $C_{Rn}$ );

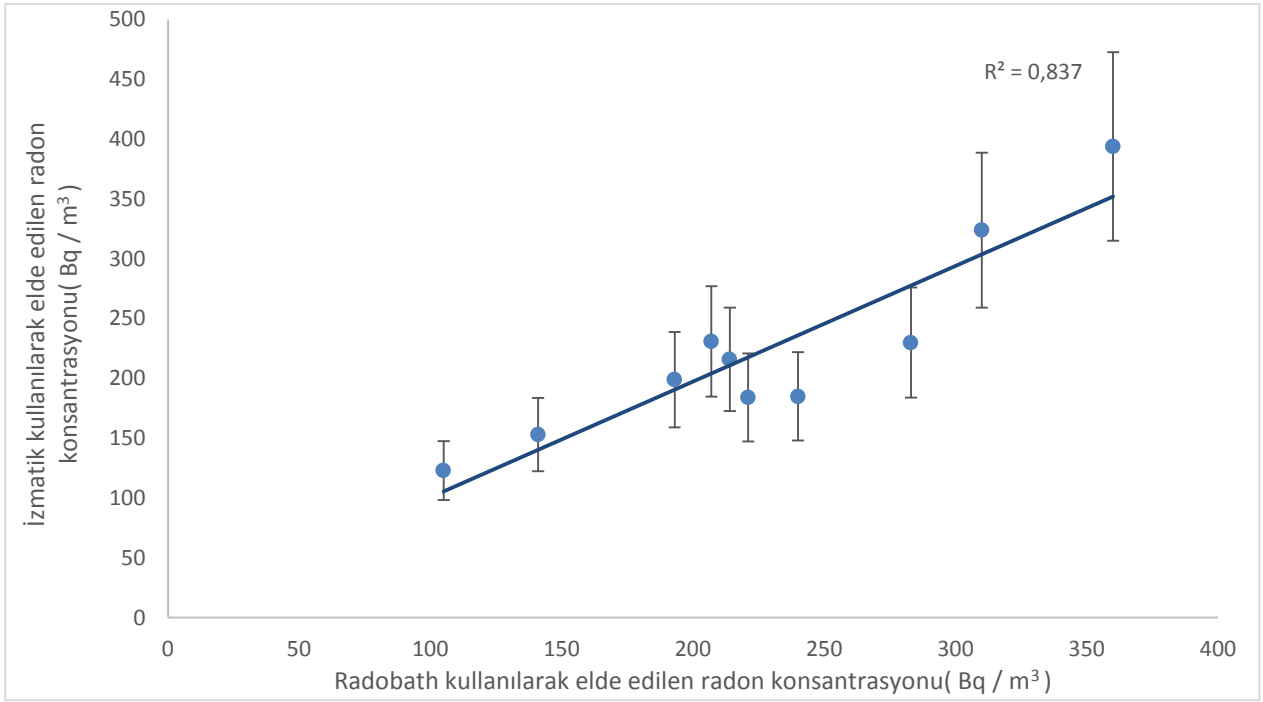
$$C_{Rn} = \frac{d \times kf \times 1000}{s} \quad (1)$$

bağıntısı kullanılarak Bq/m<sup>3</sup> cinsinden hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $d$ , taranan plaka yüzeyi üzerinde milimetrekareye düşen ortalama iz sayısını,  $s$  ise saat cinsinden dedektörün radon ölçümü yaptığı toplam zamanı göstermektedir. Hesaplamalarda  $kf$ , kalibrasyon faktörü için SANAEM Sağlık Fiziki birimi tarafından belirlenen 42,95 (kBq/m<sup>3</sup>)/(iz/saat) değeri kullanılmıştır. Elde edilen radon aktivite yoğunlukları Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Bina içi on farklı birime çiftler halinde yerleştirilen CR-39 dedektörlerinin kayıt ettiği radon konsantrasyonları (Tabloda verilen dedektör numaraları Şekil 6'daki planda yer alan dedektör numaralandırması ile uyumludur)

Dedektör No	Konumlandırıldığı Yer	$C_{Rn}$ (Bq/m <sup>3</sup> ) (Radobath)	İz Yoğunluğu (iz/mm <sup>2</sup> ) (İz-matik)	$C_{Rn}$ (Bq/m <sup>3</sup> ) (İz-matik)
1	BİRİM 1		120	184
2		221		
3	BİRİM 2		151	231
4		207		
5	BİRİM 3		121	185
6		240		
7	BİRİM 4		141	216
8		214		
9	BİRİM 5		257	394
10		360		
11	BİRİM 6		212	324
12		310		
13	BİRİM 7		80	123
14		105		
15	BİRİM 8		100	153
16		141		
17	BİRİM 9		130	199
18		193		
19	BİRİM 10		150	230
20		283		

Radyoaktif bozunma rastlantısal bir işlem olduğundan aynı ortamda, aynı süreyle ölçüm yapan iki dedektör farklı radyasyon düzeyleri kayıt edebilir. CR-39 dedektörleriyle yapılan ölçümler için üretici firma tarafından verilen %20 lik hata payı dikkate alınarak aynı birimlerde ölçüm yapan dedektör çiftlerinin kayıt ettiği radon düzeyleri Şekil 8'de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Böylelikle iz-matiğin performansı, Radobath ünitesinde analiz edilen dedektörlerin kayıt ettiği konsantrasyonlara bağlı olarak değerlendirilmiştir. İz-matik kullanılarak yapılan ölçümlerin Radobath ünitesi kullanılarak yapılan ölçümlerle tutarlı olduğu ve ölçümler arasında lineer bir ilişki kurulabileceği görülmektedir (Şekil 8).



**Şekil 8.** Tablo 2’de verilen birimler için İz-matik ve Radobath banyo ünitesi kullanılarak belirlenen radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması

## 5. Tartışma ve Sonuç

Nükleer iz dedektörlerinin kullanıldığı pasif ölçüm tekniği, radyoaktif bir soy gaz olan radonun varlığı ve düzeyinin belirlenmesinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada, atmosferik radon ölçümleri için CR-39 dedektörlerinin analizinde kullanılan standart banyo cihazına alternatif olarak geliştirilen bir iz kazıma ünitesinin yapım aşaması anlatılmış ve performansı incelenmiştir. Çalışmamızın yapıldığı tarihteki fiyatlandırma baz alındığında, mevcut kullanımda olan Radobath iz kazıma ünitesine göre 65 kattan daha ekonomik olan iz-matik banyo ünitesinin CR-39 pasif nükleer iz dedektörlerinin kimyasal iz kazıma işlemi için uygun olduğu görülmüştür. Her ne kadar malzeme seçimi ve cihazın tasarımı ile ilgili öngörülemez bazı eksiklikler nedeniyle banyo işlemi sırasında dedektör plakaları üzerindeki alfa parçacıklarına ait izler beklenildiği kadar büyütülemedi olsa da bu engellerin aşılması basit müdahalelerle mümkün olacağından iz-matik cihazının iz kazıma işleminde güvenle kullanılabilirliği söylenebilir.

## Teşekkür

Yazarlar, 2209 nolu Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı (2011) kapsamında sağlamış olduğu maddi destekten dolayı TÜBİTAK-BİDEB’e ve dedektör analizleri için laboratuvar imkânı sağlayan TAEK SANAEM Sağlık Fizik Birimi elemanlarına teşekkür ederler.

## Kaynaklar

Bayraktar, G., 2011. Süleyman Demirel Üniversitesi’nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Isparta.

BEIR VI, 1999. Committee on Health Risks of Exposure to Radon, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. Health Effects of Exposure to Radon. National Academy Press, 516s, Washington DC.

Durrani, A.S. ve Ilic, R., 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and Environment. Eds: Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, 387s, Singapore.

George, A.C., 2007. World History of Radon Research and Measurement From the Early 1900’s to Today. <http://www.crcpd.org/radon/Radon Bulletin/November07RB.pdf> (Erişim Tarihi: 15.01.2010).

IAEA, 1996. International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.

Karakılıç, V., Bayraktar, G., Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B. ve Yılmaz, A. 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi’nde Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(3), 201-207.

Kürkçüoğlu, I., Karakılıç, V. ve Kürkçüoğlu, M.E. 2010. Isparta İlinde Yüksek Florlu Su Kaynaklarını Kullanan İki Bölgede Atmosferik Radon Düzeylerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(2), 49-61.

Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A. ve Toroğlu, İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi (e-dergi), 4(2), 177-188.

L'Annunziata, M.F., Handbook of Radioactivity Analysis. Academic Press, 749s, San Diego USA.

Papastefanou, C. 2002. An Overview of Instrumentation for Measuring Radon in Soil Gas and Groundwaters. Journal of Environmental Radioactivity, 63, 271-283.

Radosys, 2000. User's Manual (revised at 07/25/01).

Radosys, 2010.  
<http://www.radosys.com/products.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2010).

TAEK, 2011. Doğal Radyasyon Kaynakları.  
[http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-  
insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-  
yasiyoruz/181-dogal-radyasyon-kaynaklari.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-<br/>insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-<br/>yasiyoruz/181-dogal-radyasyon-kaynaklari.html)  
(Erişim Tarihi: 08.02.2011).

WHO, 2005. Radon and Cancer. World Health Organization Fact Sheet No: 91.