
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>	
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>	
	<u>Geliş/Received</u> 18.10.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 20.12.2016	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.284236



## Radon ölçümünde kullanılan LR-115 tip-II dedektörlerinin kalibrasyonu

Emre Tabar<sup>1\*</sup>

### ÖZ

Katıhal nükleer iz film dedektörleri uzun yıllardan beri farklı ortamlardaki radon aktivite konsantrasyonunun ölçümünde sıklıkla tercih edilmektedir. Ölçüm tekniği radon ve bazı kısa yarı ömürlü ( $^{218}\text{Po}$  ve  $^{214}\text{Po}$ ) ürünlerinin yaydıkları alfa parçacıklarının dedektör üzerinde bıraktığı izlerin tespitine dayanmaktadır. Ayrıca  $^{220}\text{Rn}$  (toron) gibi bazı radon izotopları da alfa parçacığı yaymaktadır ve bu alfalar da dedektör üzerinde iz oluşturabilir. Dedektör üzerinde oluşan izlerin sayısı radon aktivite konsantrasyonu ile orantılıdır. Yapılan ölçümlerde radon ve ürünlerinin dedektör üzerinde oluşturduğu izlerin aktivite biriminde ifade edilebilmesi için dedektörlerin kalibrasyonu gerekmektedir. Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümünde çevresel örneklerde radon aktivite konsantrasyonu ölçümlerinde kullanılan LR-115 Tip-II katıhal nükleer iz dedektörlerinin kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan dedektörler için kalibrasyon faktörü  $0,0514 \text{ izcm}^{-2}\text{Bq}^{-1}\text{m}^3\text{gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** LR-115 tip-II, kalibrasyon, radon, nükleer iz kazıma

## Calibration of LR-115 type-II detectors used in radon measurements

### ABSTRACT

Solid state nuclear track detectors are often preferred for measurements of radon activity concentration in different environment for many years. Measurement technique is based on the detection of the alpha tracks on the detector emitted by radon and some of its short-lived progeny ( $^{218}\text{Po}$  ve  $^{214}\text{Po}$ ). Besides, other radon isotopes, such as  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) emit alpha particles that may be formed tracks on detectors. Radon activity concentration is proportional to the number of the tracks on the detector. In the measurements, it is required to express the tracks on the detector formed by radon and its products in terms of activity unit. In this study, LR-115 Type-II solid state nuclear track etch detectors used in Physics Department of Sakarya University for the measurements of radon activity concentration in environmental samples have been calibrated. The calibration factor for the detectors is calculated to be  $0.0514 \text{ trackcm}^{-2}\text{Bq}^{-1}\text{m}^3\text{d}^{-1}$ .

**Keywords:** LR-115 Type-II, calibration, radon, nuclear tack etching

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Sakarya - etabar@sakarya.edu.tr

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Biyomedikal, Manyetik, Yarıiletken Malzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİMAYAM), Sakarya

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya üzerinde yaşayan tüm canlılar yaşamları boyunca radyasyona maruz kalmaktadırlar. Bu radyasyon, doğal radyasyon kaynaklarından ya da insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarından meydana gelebilir. İnsanların maruz kaldıkları radyasyonun temelini doğal radyoaktivite oluşturmaktadır. Doğal radyoaktivite, yerkabuğunda (toprak, su, kum, kayaç, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif seriler ve bunların bozunum ürünleri ile kozmik ışınlardan oluşmaktadır [1].

Doğal radyoaktif bozunma zincirleri içerisinde, tüm jeolojik yapılarda (toprak ve kayalar) sürekli olarak üretilen radon gazı insanların maruz kaldığı radyasyonun önemli bir kesrini oluşturur. Radon gazı olduğu topraktan havaya sızarak kapalı ortamda önemli bir radyoaktif kirlenici faktör olarak belirmektedir. Bu nedenle kapalı ortamlarda birikmesi ve uzun süreli solunumu sağlık açısından ciddi bir risk teşkil etmektedir. Ayrıca, suda çözünmediğinden özellikle yerkabuğunun derinliklerinden gelen kaynak ve termal sularda yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Bu suların tüketimi veya kapalı havuz sistemlerinde sudan havaya geçen radonun solunması da insan sağlığı açısından risk oluşturur [1].

Radon gazı alfa ( $\alpha$ ) parçacığı yayarak bozunur ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri ortaya çıkar. Bu ürünler de radyoaktifler ve kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder. Solunum yolu ile vücuda giren radon gazı, soluk borusunda ve akciğerlerde bozunarak, bu dokulardaki hassas hücreleri olumsuz etkilemekte ve kanser oluşumuna neden olabilmektedir. Yine radonun sindirim yolu ile vücuda girmesi ve mide içerisinde bozunuma uğraması mide çeperlerini etkilemekte ve mide kanseri riskini artırmaktadır [2].

Sağlık riski göz önünde bulundurulduğunda kapalı ortamlardaki ve sulardaki radonun tespiti büyük önem taşır. Doğal radyoaktif gaz olan radon renksiz, kokusuz, tatsız olması sebebiyle sadece bu amaç için tasarlanmış özel cihazlarla tespit edilebilir. Radon konsantrasyonunun ölçümü ile ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir, bu yöntemlerin çoğu radon ve ürünleri tarafından yayınlanan alfa parçacıklarının dedeksiyonuna dayanır [3].

Radon ölçümlerinde sıklıkla tercih edilen metot, hem ucuz olması hem de basit dedeksiyon tekniği nedeni ile katı hal nükleer iz kazıma dedektörleridir (SSNTD). Bu metodun esası radon ve bozunum ürünleri tarafından yayınlanan alfa parçacıklarının polimer film tabakalar (LR-115 ve CR 39) üzerinde bıraktığı izlerin dedeksiyonuna dayanmaktadır. Bu izler, filmlerin uygun

kimyasal ve fiziksel şartlar altında iz kazıma işlemine tabi tutulması ile optik mikroskop altında görülebilir boyutlara ulaşmaktadır. Dedektör film üzerindeki izler mikroskopta sayılarak  $mm^2$ 'ye düşen iz sayısı tespit edilir [4].

Bu yöntem ile bir ortamda (su, toprak, kapalı ortam, vb.) belirlenen radon miktarının ulusal veya uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerine uygunluğunun test edilebilmesi için film üzerinde sayılan iz yoğunluğunun ( $iz/mm^2$ ) aktivite cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Bu geçiş, ancak katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerinin aktivitesi bilinen bir radon kaynağı kullanılarak kalibre edilmesi ile mümkündür. Bu nedenle çevresel uygulamalarda yaygın biçimde kullanılan ve literatürde önemli bir yer edinmiş katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerinin kalibrasyonu büyük önem taşımaktadır.

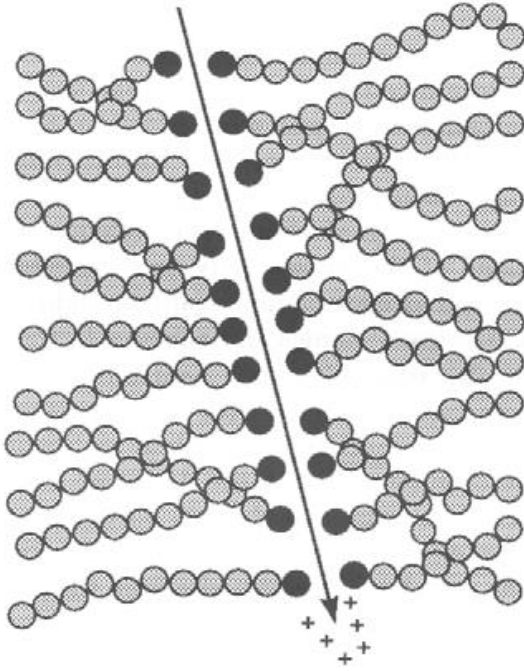
Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümünde çevresel örneklerde radon konsantrasyonunun ve yayılım hızının araştırıldığı, kapalı ortam radon konsantrasyonunun sağlık riski açısından değerlendirildiği çalışmalarda aktif biçimde kullanılan LR-115 tip-II katı hal nükleer iz kazıma dedektörlerinin kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Böylece yukarıda bahsi geçen çalışmalarda iz yoğunluğundan aktiviteye geçebilmek için gerekli kalibrasyon faktörü belirlenmiştir.

### 1.1. Katı hal nükleer iz dedektörleri (Solid state nuclear track etch detectors)

Nükleer iz kazıma dedektörleri temel olarak mineral, kristal, plastik içeren, elektriksel olarak yalıtılmış katı materyallerdir. Nükleer iz kazıma dedektörlerinden ağır yüklü parçacıkların geçişi, dedektör materyalinde geçtikleri yollar boyunca hasarlara neden olmaktadır. Bu hasarlara gizli iz adı verilir. Gizli izler, dedektörlere kimyasal veya elektrokimyasal iz kazıma yöntemleri uygulandığında optik mikroskop altında görülebilecek boyutlara ulaşmaktadır [4, 5]. Alfa parçacıklarının ölçümü için en uygun dedektör materyali polimerik plastiklerdir. Çünkü polimerik plastikler basit, ucuz, dayanıklı, kararlı, yüksek duyarlılığa sahip ve kolay kullanılabilir yapıdadır. Polimer dedektörler genellikle  $^{222}Rn$ ,  $^{220}Rn$  ve ürünlerinin ölçümleri için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan polimer dedektörler selüloz nitrat (LR-115), polyallyl di-glycol karbonat (CR-39) ve bisphenol A polikarbonat (makrofol)'dür. LR-115 ve CR-39, Makrofol'e göre daha yüksek duyarlılıktadır [4].

### 1.2. İz oluşumu (Track formation)

İyonize parçacıklar katı materyal boyunca ilerlerken iyonizasyon ve uyarılma ile enerjilerini ortama aktarırlar. Parçacığın materyal içinde enerji kaybı lineerdir ( $dE/dx$ ). Lineer enerji kaybı parçacık karakteristiklerine (kütle, yük ve enerji) ve kullanılan materyale bağlı bir fonksiyondur. Enerji kaybı kritik değerin üzerine çıktığında dedektör materyali üzerinde lokal şekil değişiklikleri oluşmaya başlar. Bu şekil değiştirmeler polimerlerde moleküler zincirlerin kopması veya parçacık yolu boyunca oldukça reaktif olan yeni kimyasal bileşenlerin oluşması şeklinde açıklanabilir. Oluşan şekil değiştirmeler neticesinde çapı 1–10 nm arasında değişen gizli izler oluşur [6].



Şekil 1. Yüklü parçacıkların içinden geçtikleri polimerin moleküler zincirlerini kırması (breaking molecular chains of polymer by charged particle passing through polymer) [7]

Gizli izler boyutları nedeni ile ancak elektron mikroskopları altında görülebilir. Bunun yanı sıra eğer dedektörler uygun sıcaklık ve konsantrasyondaki kazıyıcı çözelti, çoğunlukla basit alkali (örneğin NaOH veya KOH) veya asit (örneğin HF veya HNO<sub>3</sub>) ile banyo edilirse gizli izlerin çapları birkaç  $\mu\text{m}$ 'ye kadar genişlemekte ve izler optik mikroskop altında görülebilmektedir [4, 5]

### 1.3. Kimyasal iz kazıma (Chemical etching)

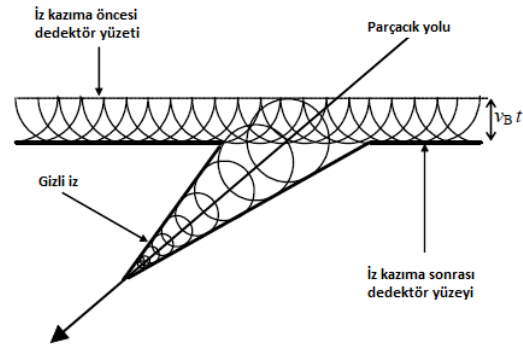
Kimyasal iz kazıma, dedektör filmlerinin sıcaklık değişimi termostatla kontrol edilen uygun çözelti içerisinde belirli süreler boyunca banyo işlemine tabi

tutulmasıdır. Kullanılan çözeltinin cinsi, molaritesi, sıcaklığı ve banyo süresi tercih edilen dedektörlerin özelliklerine göre değişmektedir [5].

Tablo 1. Farklı dedektör tipleri için iz kazıma koşulları (Etching condition for different types of detectors) [5]

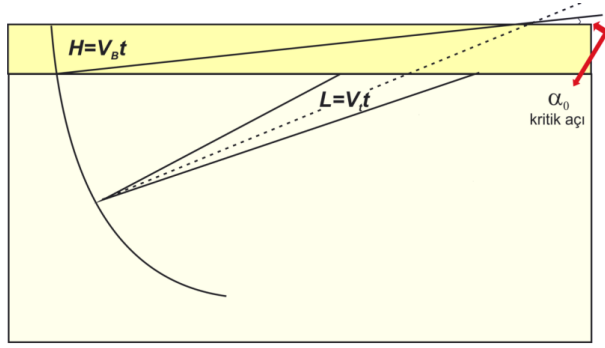
Dedektör	Dedektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı (°C)	Kazıyıcı Çözelti	Kazıma Süresi
LR-115 Tip II	Selüloz Nitrat	60	% 10; 2,5 N NaOH	75-100 dakika
CR-39 (500 $\mu\text{m}$ )	Polikarbonat	70	% 25; 6,25 N NaOH	12 saat
CN-85	Selüloz Asetat	60	% 10; 2,5 N NaOH	20-30 dakika

Kimyasal iz kazıma, gizli izin kimyasal reaktivitesinin, iz etrafındaki hasar görmemiş dedektör materyalinin reaktivitesinden daha yüksek olması esasına dayanır. Polimere kazıyıcı çözelti etki ettiğinde, polimer yüzeyi  $V_B$  hızı ile kazınırken, gizli iz  $V_T$  hızı ile kazınmaktadır.  $V_B$  hasara uğramayan dedektör materyalinin kazınma hızıdır ve yalnızca dedektörün yapısı ile kazıma koşullarına (sıcaklık, konsantrasyon ve zaman) bağlıdır.  $V_T$  ise iz kazıma hızıdır ve gelen parçacığın karakteristiklerine (yük, kütle, enerji kaybetme oranı) bağlıdır [7].  $V_B$  ve  $V_T$ 'nin sabit ve izotropik olduğu kabul edilirse iz oluşumu Huygens kuralının uygulanması ile Şekil 2'de görüldüğü gibi basit bir biçimde açıklanabilir. Bir  $t$  kazıma süresinde dedektörün yüzeyini saran kazıma yarıkürelerinin (yarıçapları  $V_B t$  olan tüm elemanter yarıküreler) içi dedektörün yeni yüzeyini verirken, seçilen kimyasal kazıyıcı parçacık yolu boyunca konik kazıma profili oluşturacaktır [7].



Şekil 2. Polimer dedektörlerde gizli iz oluşumunu açıklamak için Huygens kuralının uygulanması (In order to explain the formation of hidden track in polymer detectors application of Huygens rule) [8]

Dedektör üzerine gelen bütün yüklü parçacıklar kazınabilecek nitelikte iz oluşturamaz. Ancak belirli bir kritik açıdan daha büyük açılarla gelen yüklü parçacıklar kazınabilen iz oluşturur. Şimdi aşağıdaki şekil yardımı ile bu kritik açıyı hesaplayalım [7].

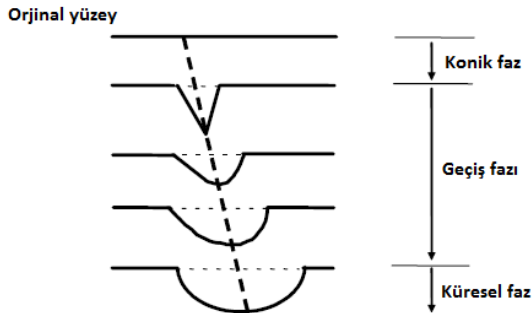


Şekil 3. Kritik açı (Critical angle) [5, 7]

Şekil 3.'de  $V_B$  ve  $V_T$ 'nin sabit olduğu kabul edilmiştir. Toplam iz kazıma süresi ( $t$ ) sonunda kazınan materyal yüzeyi  $H=V_B t$ , iz uzunluğu  $L=V_T t$  kadardır. Tanecik için bütün geliş açıları  $\alpha > \alpha_0$  olduğunda kazınabilen iz oluşacaktır.  $\alpha_0$  kritik açı ile sınırlanmış bu durum aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır [7].

$$\sin \alpha_0 = \frac{H}{L} = \frac{V_B t}{V_T t} = \frac{V_B}{V_T} \quad (1)$$

İzlerin şekli kazıma işlemi süresince üç fazda değişim göstermektedir (Şekil 3.11). Bunlar konik faz, geçiş fazı ve küresel fazdır. Kazınan izin aldığı son şekil kimyasal kazımanın bittiği ana bağlıdır. Konik faz iz kazıma hasarlı yolun bitimine ulaşana kadar sürer. Bu fazda izin şekli koniktir, açık yüzey ise eliptiktir. Konik faz bittiğinde geçiş fazı başlar. Geçiş fazında izin alt tarafı daireselken açık yüzeyi hala eliptiktir. Kazıma hızı her doğrultuda materyal kazıma hızına eşittir. İz küresel, açık yüzey dairesel olduğunda küresel faza ulaşılmış olur [4, 5, 7].



Şekil 4. Banyo süresi boyunca izlerde meydana gelen faz değişimleri [8] (Phase changes occurred in tracks during bath time)

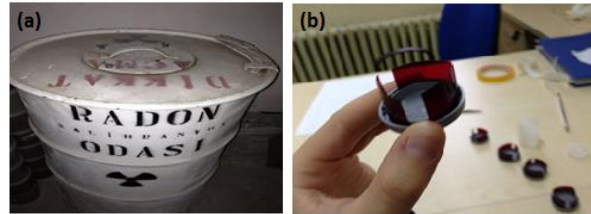
## 2. DENEYSEL BÖLÜM (EXPERIMENTAL PART)

### 2.1. Dedektörlerin radon kalibrasyon odasına yerleştirilmesi (placing of detectors in radon calibration chamber)

Radon konsantrasyonlarının nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada kullanılan LR-115

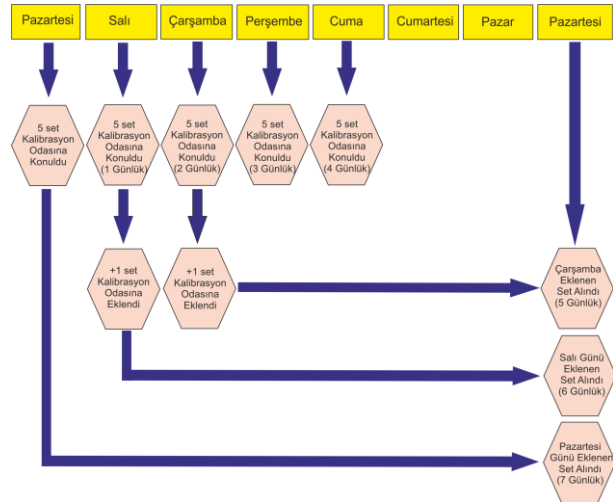
dedektörleri Sakarya Üniversitesi Merkez Kampüs bünyesi içerisinde bulunan Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden temin edilmiş ve daha sonra Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fizik Bölümü'nde radon kalibrasyon odasında aktivitesi 3,2 kBq olan  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunumundan gelen radon gazına maruz bırakılmıştır (Şekil 5a).

Dedektör filmler 1,5cmx1,5cm boyutlarında kesilerek plastik bir platform üzerine Şekil 5b'deki gibi yerleştirilmiştir. Şekil 5b'den görüldüğü gibi her bir platform üzerinde üç adet film bulunmaktadır. Bu şekilde toplam 8 set hazırlanmıştır.



Şekil 5. (a) Radon kalibrasyon odası (Radon calibration chamber) (b) LR-115 filmleri (LR-115 type-II detectors)

Hazırlanan setler Şekil 5a'da gösterilen radon kalibrasyon odası içerisine yerleştirilmiştir. Radon kalibrasyon odası içerisinde  $3,2 \text{ kBq m}^{-3}$  aktiviteye sahip radyum sıvısı bulunmaktadır. 7 adet set sırası ile 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 gün boyunca radon kalibrasyon odası içerisinde bırakılmıştır. Işınlama işleminin takvimi Şekil 6'da verilmiştir.

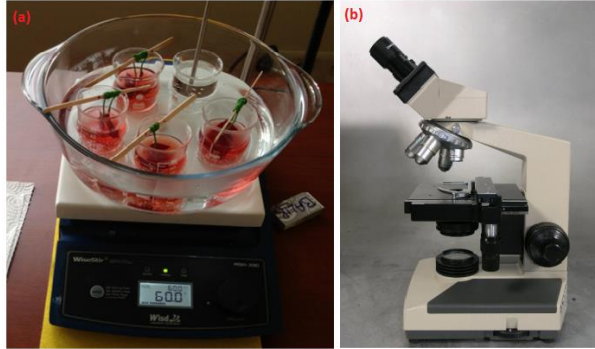


Şekil 6. Kalibrasyon cetveli (Calibration schedule)

Ayrılan diğer set ise ışınlamaya tabi tutulmamış ve arkaplan radyasyonunu (background) belirlemede kullanılmıştır.

### 2.2. Kimyasal iz kazıma banyosu ve izlerin okunması

ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü'nde bir hafta boyunca radona maruz bırakılan LR-115 dedektör filmler kapalı bir kutuda muhafaza edilerek SAÜ Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarına getirilerek üzerlerindeki alfa izlerinin mikroskop altında görülebilir hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemde filmler 60 °C sıcaklıkta % 10'luk NaOH çözeltisi içinde 90 dakika boyunca banyo edilmiştir. Banyo işleminde sıcaklığın sabit tutulabilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle banyo işlemi  $\pm 1$  °C duyarlılığa sahip dijital termostatlı ısıtıcı kullanılarak yapıldı. Banyo işleminin ardından filmler saf su içinde 20 dakika bekletildi. Kurutulan filmler üzerindeki izlerin okunması optik mikroskop (100x büyütme) altında yapılmıştır. Okuma işleminde filmler, milimetrik karelere sahip bir ölçü camının üzerinde mikroskopun altına yerleştirilerek birim alandaki izler monitörden manuel olarak sayılarak toplam iz yoğunluğu (iz/cm<sup>2</sup>gün) olarak elde edildi [4].



Şekil 7. (a) Kimyasal iz kazıma (Chemical etching), (b) Sayım sistemi (Counting system)

Her bir dedektör film üzerinde oluşan izler, radon kalibrasyon odasına yerleştirilen 3,2 kBqm<sup>-3</sup>aktiviteye sahip radyum standardının bozunması ile oluşan radon ve ürünlerinin bozunumu ile açığa çıkan alfa parçacıkları tarafından oluşturulmuştur. Bu nedenle dedektörlerin 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 günlük periyotlarda maruz kaldıkları radon aktivitesini belirlemek gerekir. Bunun için radyoaktif bozunma yasasını radyum ve radon arasındaki ilişki için aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$A(^{222}\text{Rn}) = A(^{226}\text{Ra}) \times [1 - \exp(-\lambda T)] \quad (2)$$

burada;

$A(^{222}\text{Rn})$ : Radyum bozunumu ile oluşan Radon aktivitesi

$A(^{226}\text{Ra})$ : Radyum aktivitesi = 3,2 kBqm<sup>-3</sup>

$t_{1/2}$ : 3.8 gün (<sup>226</sup>Ra yarı ömrü)

$\lambda$ : <sup>222</sup>Rn'nin bozunma sabiti

$T$ : Filmlerin kalibrasyon odasında bekletildiği gün sayısıdır.

Yukarıdaki (2) denkleminde, kullanılan <sup>226</sup>Ra standardının aktivitesi ve verilen sabitler kullanılarak

sırası ile  $T=1, \dots, 7$  gün için <sup>222</sup>Rn aktivitesi belirlenir. Gün sayısı arttıkça <sup>222</sup>Rn aktivitesi de artış gösterir. Bu artış eksponansiyel olduğundan, eksponansiyel fonksiyonun özelliği dolayısı ile belli bir  $T$  değerinden sonra saturasyon (doyum) olayı gerçekleşecektir. Bu nedenle  $T$  değeri maksimum 7 gün olarak seçilmiştir. Radyoaktif serilerde rastlandığı gibi bir radyoaktif izotopun bozunmasından meydana gelen ürünler radyoaktif ise, ürün izotop sayısının zamanla değişimini gösteren bağıntı  $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$  denkleminden çıkartılabilir. Bu ifade yardımı ile <sup>226</sup>Ra ile <sup>222</sup>Rn arasındaki zamansal denge

$$N_{10} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} N_0 (e^{-\lambda_0 t} - e^{-\lambda_1 t}) \quad (3)$$

bulunur. Burada

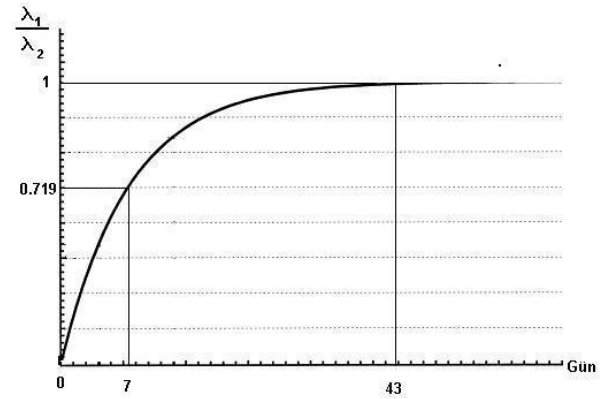
$N_0$ : Başlangıçtaki <sup>226</sup>Ra çekirdek sayısı

$N_{10}$ :  $t$  süresinde <sup>226</sup>Ra'nın bozunumu ile oluşan <sup>222</sup>Rn çekirdek sayısı

$\lambda_0$ : <sup>226</sup>Ra'nın bozunma sabiti

$\lambda_1$ : <sup>222</sup>Rn'nin bozunma sabiti

şeklinedir. Kapalı bir ortamda radon ile radyum arasındaki zamansal denge eğrisi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Radyum ile Radon arasındaki zamansal denge (Equilibrium between radium and radon)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

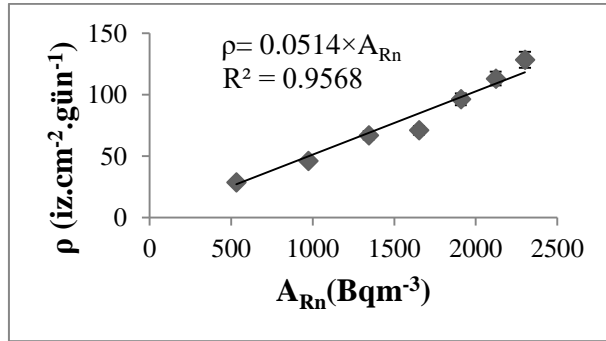
Yukarıda değinildiği gibi filmlerin radon kalibrasyon odasında tutuldukları süre arttıkça maruz kaldıkları <sup>222</sup>Rn aktivitesi artacak, dolayısı ile üzerlerinde oluşan izlerin de sayısı zamana bağlı artış gösterecektir. Örneğin, 1 gün kalibrasyon odasında bekleyen filmlerin üzerindeki iz yoğunluğu, 7 gün bekleyen filmlerin üzerindeki iz yoğunluğundan çok daha düşük olacaktır. Tablo 2.'de iz kazıma işlemine tabi tutulan filmlerin üzerindeki iz yoğunlukları (cm<sup>2</sup> başına bıraktığı izlerin sayıları)

görülmektedir ve karşılık gelen radon aktiviteleri verilmiştir.

Tablo 2. Kalibrasyon odasında geçen zaman, karşılık gelen radon aktivitesi ve iz yoğunlukları (Time spending in calibration room, corresponding radon activity and track densities)

Süre (g)	$A_{Rn}$ (Rn <sup>222</sup> Aktivitesi) ( $Bqm^{-3}$ )	I. Set	II. Set	Ortalama Net İz Yoğ.
		Net İz Yoğ.	Net İz Yoğ.	
		$\rho_1$ ( $izcm^{-2}gün^{-1}$ )	$\rho_2$ ( $izcm^{-2}gün^{-1}$ )	$\rho$ ( $izcm^{-2}gün^{-1}$ )
1	531,00	40,00±6,32	17,50±4,18	28,75±5,25
2	973,00	52,90±7,27	39,60±6,29	46,26±6,78
3	1343,00	99,20±9,95	34,60±5,88	66,88±7,92
4	1651,00	67,90±8,24	74,16±8,61	71,04±8,43
5	1908,00	97,50±9,87	95,00±9,75	96,25±9,81
6	2122,00	109,20±10,45	117,00±10,82	113,08±10,63
7	2301,00	132,10±11,49	124,60±11,16	128,34±11,33
B.G.	0	1,20±1,01	1,20±1,01	1,20±1,01

Tablo 2’de elde edilen ortalama iz yoğunlukları ve karşılık gelen radon aktiviteleri kullanılarak aşağıdaki kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.



Şekil 9. Kalibrasyon eğrisi (Calibration curve)

Şekil 9’ daki eğrinin eğimi bize kalibrasyon ( $k_f$ ) faktörünü verir. Bu çalışmada, Şekil 9’ daki grafiğin eğiminden, Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümünde kullandığımız LR-115 Type-II katihal nükleer iz dedektörleri (SSNTD) için kalibrasyon faktörü

$$k_f = 0,0514 \text{ izcm}^{-2} \text{gün}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3 \quad (4)$$

olarak belirlenmiştir. Kalibrasyon faktörü ( $k_f$ ) dedektör film üzerinde sayılan iz yoğunluğunu ( $\rho$ ) aktivite birimleri cinsinden ifade etmemizi sağlayan bir katsayıdır. Herhangi bir ortamda film üzerinde oluşan iz

yoğunluğunun <sup>222</sup>Rn miktarı ile orantılı olduğu kabul edilirse, o ortamdaki radon aktivitesi kalibrasyon faktörü kullanılarak

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{k_f} \quad (5)$$

Formülü ile kolaylıkla belirlenebilir. Burada  $C_{Rn}$  ( $Bqm^{-3}$ ) radon aktivitesi,  $\rho$  ( $izcm^{-2}gün^{-1}$ ) film üzerindeki net iz yoğunluğu ve  $k_f = 0,0514 \text{ izcm}^{-2} \text{gün}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3$  kalibrasyon faktörüdür. Net iz yoğunluğu, herhangi bir ortamda ışınlanan film üzerinde gözlenen iz yoğunluğu ile ışınlanmamış bir film üzerindeki iz yoğunluğu (art ortam) arasındaki farktır. Background üretimden kaynaklanan hataları ve filmlerin saklama koşullarından kaynaklanan alfa kontaminasyonunu temsil eder. Bu art ortamın belirlenmesi kalibrasyon işleminin önemli bir parçasıdır ve dedektör yaşı ile orantılı olarak değişim gösterebilir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Farklı yaşam alanlarındaki ve çevresel örneklerdeki radon seviyesinin uzun süreli araştırmalarında kullanılacak olan dedektör sistemi ucuz maliyetli, kolay çoğaltılabilir, kullanıma hazır ve elde ettiği sonuçlar kolay değerlendirilebilir olmalıdır. Bu nedenle, tüm bu saydığımız özellikleri barındıran katihal nükleer iz metodu (LR-115 veya CR-39 dedektörleri), dünya genelinde radon ölçümlerinde 40 yılı aşkın süredir aktif olarak kullanılan ve en çok tercih edilen yöntemdir. Radyoaktivite ölçümlerinde kullanılan diğer tüm dedektörler gibi katihal nükleer iz dedektörlerinin de kalibrasyonu çok önemlidir.

Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Fizik bölümünde çevresel ve kapalı ortam radon seviyesinin tespitinde kullanılan LR-115 Type-II Katihal nükleer iz dedektörlerinin kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaptığımız çalışma sonucunda, bir ortamda radon ve bozunum ürünlerinin yaydığı alfa parçacıklarının dedektör materyali üzerinde bıraktığı izlerin yoğunluğundan ortamdaki radon aktivitesine geçmemizi sağlayan kalibrasyon faktörü  $k_f = 0,0514 \text{ izcm}^{-2} \text{gün}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3$  olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma, Sakarya ve çevresinde, bina içi, toprak ve su ortamlarında radon konsantrasyonunun araştırılmasına yönelik olarak yapılmakta olan ve yapılacak çalışmalara bir temel oluşturması bakımından önemlidir. Elde edilen kalibrasyon faktörü ile belirlenecek olan radon

aktiviteleri Sakarya'da yaşayan yerel halkın doğal radyoaktivite nedeni ile maruz kaldığı yıllık ortalama doza radonun katkısını belirlemede kullanılabilir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation, New York, NY: United Nations Publication, 2000.
- [2] E. Tabar And H. Yakut, "Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey," J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 299, No. 1, pp. 311-319, Jan. 2014.
- [3] C. Papastefanou, "An overview of instrumentantion for measuring radon in soil gas and groundwaters," J. Environ. Radioact., Vol. 63, pp. 271–283, 2007.
- [4] E. Tabar, "Dikili ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri ile Değerlendirilmesi," İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [5] G. Yaprak ve O. Candan, "Aktif Gediz grabeninde yer alan Alasehir/Manisa yöresinde tektonik aktiviteye dayalı radon anomalilerinin incelenmesi," TÜBİTAK Proje No 100Y059, 2003.
- [6] R.L. Fleisher, "Nuclear tracks in solids: Principles and applications," California: University of California Press, 1975.
- [7] R. Ilic, "Radon Measurements Etched Track Detectors Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment," London: World Scientific Publishing, 1997.
- [8] R. Bull, "Solid-State Nuclear Detection; Principles, Methods, and Applications," Oxford: Pergamon Press, 1987, p. 1–304.