

56194

ADYAMAN İLİNDE RADON GAZI KONSANTRASYONLARI
ÖLÇÜMÜ

Kani ARICI

K. S. Ü.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Fizik Anabilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kahramanmaraş
Haziran 1996

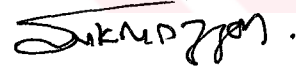
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne.

Bu çalışma jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Aydın KÜÇÜKÖNDER



Üye : Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZGAN



Yrd. Doç. Dr. Fikret Anlı

Üye :



Kod No:0017

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.



İÇİNDEKİLER**SAYFA****BÖLÜM 1. GİRİŞ**

1.1.	Radyasyonun Tanımı	1
1.2.	Alfa ve beta ve gama ışınları	2
1.2.1.	Alfa Işınımı	2
1.2.2.	Beta Işınımı	4
1.2.3.	Gama Işınımı	5
1.3.	X- Işınları	5
1.4.	Düşük Seviyeli Radyasyon	7

BÖLÜM 2. METOT VE TEMEL BİLGİLER

2.1.	Radon Ürünlerinin Ölçülmesinin Önemi	9
2.2.	Radon Gazının Oluşumu	10
2.3.	Yer Yüzünde Radon	11

2.4.	Radon Gazının Binalardaki Varlığı	13
2.5	Radonun Kısa Tarihçesi	16
2.6.	Radon ve Radon Ürünlerinin Ölçümleri	17
2.6.1.	Elektrokimyasal Aşındırma Sistemi	17
2.6.2.	Kimyasal Aşındırma Sistemi	18
2.6.3.	Radon Dozimetrelerinin Kalibrasyonu	20
2.7.	Geçirgen Zar Engelleri	20
2.8.	Polimerler Üzerinde Görünmeyen İzlerin Oluşum Teorisi	23
2.9.	Hasar Bölgesinin Oluşumu	24
2.10.	Atomik Hasar Bölgesinin Gevşemesi	25
2.11.	Moleküler Hasarın Gevşemesi	25
2.12.	Nükleer İzin Görünür Hale Getirilmesi	25
2.13.	Kimyasal Olarak Aşındırılmış bir İzin Şekli	27
2.14.	İzotropik Ortamda Sabit Hızla İz Kazıma	28
2.14.1	Koni Fazı	28

2.14. 2. Geçiş Fazi	37
2.14. 3.Küre Fazi	38
BÖLÜM 3. SONUÇ VE TARTIşMA	
3.1. Deneysel Çalışma	44
3.2. Bulgular	47
3.3. Alt Üst Kat Değişimi	57
3.4. Binaların Havalanma Durumuna Göre Değişim	57
3.5. Binaların Isınma şekli (yakıt durumuna göre) Değişim	58
3.6. Yaz ve Kış Mevsimlerine Göre Değişim	58
ÖZET	59
SUMMARY	60
KAYNAKLAR	61
TEşEKKÜR	64
ÖZGEÇMİş	65

BÖLÜM 1

1.1 Radyasyonun Tanımı

Bazı kararsız elementlerin kararlı hale geçebilmeleri için çeşitli ışın veya elemanter parçacıklar yayınlaması bu elementin radyoaktifliğini gösterir. Bu elemente ise radyoaktif element denir. Radyoaktif maddeler kararlı hale geçerken başka bir atomik yapıya sahip olurlar [24].

Radyasyon, dalga yayılması veya partikül akımı ile, uzaya veya herhangi bir ortama enerji aktarmaktır [17].

Bir radyoizotop, tabiatta kendiliğinden bulunuyor veya bir radyoaktif elementin bozulması ile oluşuyorsa bu tip radyoaktif çekirdeklere doğal radyoizotop, olaya ise doğal radyoaktiflik denir. Özel şartlar altında yapay olarak, çok yüksek sıcaklıklara erişilerek veya protonu, elektronlar ve gama ışınları ile bombarduman edilerek, radyoizotoplar oluşturuluyorsa buna yapay radyoizotop, olaya ise yapay radyoaktiflik denir.

Radyasyonlar:

1. Madde ile etkileşmesi sonucu iyonlaşma meydana getirip getirmemesine bağlı olarak,
2. Dalga tabiatı gösterip göstermemesine bağlı olarak iki şekilde sınıflandırılabilir.

Madde ile etkileşmeleri sonucunda, madde içinde iyonlaşma meydana getiren radyasyonlar iyonlaştırıcı radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyona alfa ve beta parçacıkları, protonlar, pozitronlar, elektronlar, hızlandırılmış ağır çekirdekler, nötronlar, x ve gama ışınları örnek olarak verilebilir.

Yukarıda belirtilen radyasyon tiplerinden elektrik yüklü olanlar doğrudan iyonlaştırıcı radyasyonlardır. Yüklü olmadıkları halde madde içinde iyonlaştırma meydana getirenler ise dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlar adı verilmektedir. x ve gama ışınları buna örnek verilebilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar kızıl ötesi ve mor ötesi ışınlardır.

Dalga tabiatı gösterip göstermemesine bağlı olarak parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyondan söz edilebilir.

Parçacık radyasyonları, belirli kütleleri olan alfa ve beta ışınları, pozitronlar, elektronlar, hızlandırılmış ağır çekirdekler, nötronlar, protonlar ve çekirdek altı elementer parçacıklar.

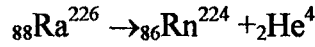
Elektromanyetik radyasyonlar ise ışık hızı ile hareket eden ve dalga tabiatı gösteren x, gama, kızıl ötesi ve mor ötesi ışınlardır.

1.2. Alfa, Beta ve Gama Işınları

1.2.1 Alfa Işınımı:

Atomun çekirdeğinden çıkan en büyük kütle, elektriksel yük ve enerji kaybı alfa bozunumu ile olur. Dört kütle birimi ve iki elektriksel yük birimi ile helyum çekirdeğine (${}^4_2\text{He}$) denk olan bir alfa parçasının kopması çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özelliklerini

değiştirir. Alfa bozunumu, bir elementin daha hafif başka bir elemente dönüşümüdür [25].



Alfa ışınlarının çekirdekten yayılma hızları, ışık hızının 1/10 u ile 1/5 i arasında, enerjileri ise 4-8 MeV arasında değişir. Bu enerjiler hemen hemen mononetikler [34].

Alfa parçacıklarının kütlesi beta parçacıklarının kütlelerine göre büyük olduğundan maddesel ortamlarda fazla ilerleyemez. Örneğin havadaki en fazla menzil uzunluğu birkaç cm dir hatta ince bir kağıt tabakasından geçemez, menzilleri az olduklarından spesifik iyonizasyonları fazladır.

Bazı radyoaktif cisimlerden yayınlanan alfa parçacıkların enerjileri ve havadaki yolları aşağıda verilmiştir (Tablo-1).

Element	Enerji (MeV)	Havadaki yol (cm)
Uranium 238	4.18	2.73
Uranium 234	4.75	2.28
Polonium239	5.159	3.75
Polonium 210	5.298	3.84

Tablo-1 Radyoaktif bazı maddelerin yaymış olduğu alfa parçacıklarının enerjileri ve menzilleri

Alfa parçacıklarının iyonlaştırıcı olmasına rağmen insan derisinin ancak 1/10' a nüfuz edebilirler ve temas ettikleri yüzeye zarar verirler. Yaralara, mide yoluyla ve solunum yoluyla akciğer bronşlarına nüfuz ettiğinde biyolojik tehlikeler çok daha fazla olur.

1.2.2. Beta ışıını

Kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Bu ise çekirdekdeki bir nötronun bir protona dönüşmesi ile oluşur.

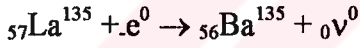
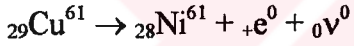
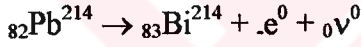
Üç farklı beta dönüşümü vardır,

β^- (elektron) vererek

β^+ (pozitron) vererek

Yörüngeden elektron kopararak.

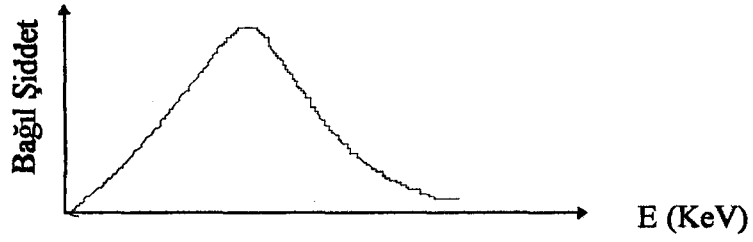
Örnek olarak



yazabiliriz. Burada ${}_0\text{e}^0$ elektronu ve ${}_0\text{e}^0$ pozitronu olmak üzere β^- ve β^+ parçacıklarını gösterir. Her ikisinin durgun kütleleri eşit ve çok küçük (protonun kütlelerinin 1836 da biri), yükleri eşit ve zıt işaretlidir. ${}_0\nu^0$ ise sıfır kütleli ve yüksüzdür.

Beta ışınlarının hızları ışık hızına yaklaşır, yolları ise alfa ışınlarından daha uzundur, aynı zamanda iyonlaştırıcıdır.

Beta ışınlarını primer ve sekonder olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Primer beta ışınları çekirdekten gelen ışınlardır ve bu ışınlar küçük değerlerden büyük değerlere kadar kesiksiz olarak bir enerji dağılımı gösterirler (Şekil-1).



Şekil -1 Primer beta ışınları

Bazı atomlarda, bunların yanında aynı enerjiye sahip beta ışınları da yer alır ki bunlarda sekonder beta ışınlarını oluşturur.

1.2.3. Gama ışınları

Uyarılmış çekirdeğin üzerindeki fazla enerjiyi gama fotonu şeklinde atarak daha az uyarılmış hale gelmesi gama ışınması olarak bilinir. Gama ışınmasında çekirdeğin kütlesinde ve elektriksel yükünde herhangi bir değişiklik olmaz.

Radyoaktif elementlerin alfa veya beta tanecikleri yayarak bozulmaları sırasında bunlara çoğunlukla gama ışınları da eşlik eder [21].

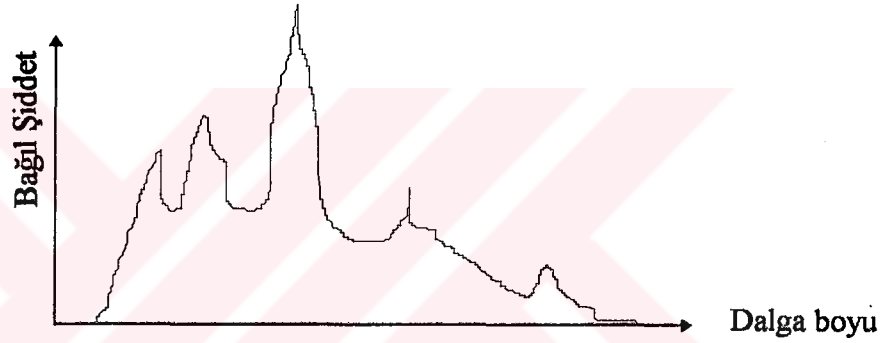
Deneyler çizgili ve sürekli olmak üzere başlıca iki tür gama ışını tayfi olduğunu ortaya koymuştur. Sürekli tayfin nedeni, beta parçacığının madde içerisinde geçişi sırasında, atomların çekirdeklerinden biri yakınına frenlenmesi, dolayısıyla hızının değişmesinden kaynaklanır. Çizgili tayf ise çekirdeğe ait enerji düzeylerinden kaynaklanır.

Radyoaktif izotoplar en çok yaklaşık 3 MeV enerjili gama ışınları verir . Bu tavan değeri aşağı doğru küçük enerjilere kadar her enerjide gama ışınları veren izotoplar vardır. Yüksek enerjili gama ışınları çok fazla giricidir insan vücudunu deler geçebilir. Hatta 1 m kalınlığındaki bir beton bloğun üçte ikisine kadar ilerleyebilir. Gama ışınları iyonlaştırıcı değildir.

1.3. X- Işınları

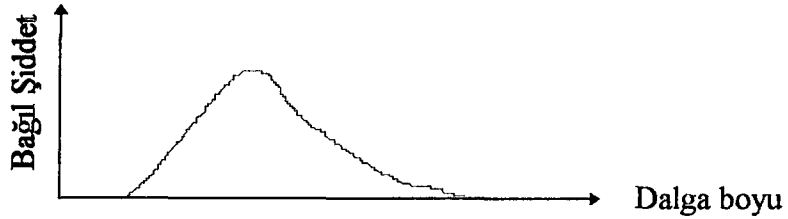
Bir elektrik yükünü veya bir elektronu hızlandırdığımızda veya yavaşlattığımızda çevreye bir elektromanyetik ışınım yayar veya atomun yüksek enerjili durumundan düşük enerjili duruma geçiş esnasında bir x- ışını yayar [21].

Atom uzayında elektron yörünge seviyeleri, her atom için bir karakteristik özellik gösterir ve karakteristik x -ışınları yayar. Bu ışınlar çizgi spektrum gösterir (şekil-2).



Şekil-2 Çizgi spektrumlu x- ışınları

Frenleme x- ışınları ise sürekli bir spektrum gösterirler şekil-3.



Şekil-3 Sürekli spektrum x-ışınları

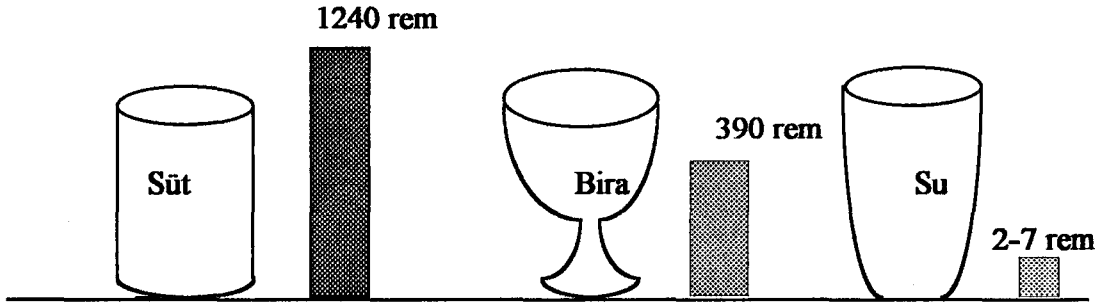
X- ışınlarının dalga boyları küçük olmasına rağmen buna karşılık enerjileri çok fazladır. Dalga boyları küçük giricilik dereceleri fazla olan x-ışınlarına 'Sert x-ışınları', Dalga boyları büyük giricilikleri az olanlara 'yumuşak x-ışınları' denir.

1.4 Düşük Seviyeli Radyasyon

Radyasyonun bazı türleri insan vücuduna girerek hücreleri oluşturan madde içerisinde etkinliği oldukça yüksek, elektrikle yüklü atomlar, iyon ve serbest elektronlar oluşturabilirler. Bu iyonlaştırıcı radyasyon, çok küçük miktarlarda (2 mrem civarında) alındığı zaman bu doza düşük seviyeli radyasyon denir. Düşük seviyeli radyasyon doğal çevreden (yer kabuğundan, inşaat malzemelerinden, gıda maddelerinden) ve yapay radyasyon kaynaklarından (belirli tıbbi teşhis ve tedaviler, renkli televizyonlar gibi bazı tüketim ürünleri ve nükleer güç tesisleri) güneş ve yıldızların korkunç büyüklükteki enerjilerinin nükleer reaksiyonlarından (esas itibariyle füzyondan kaynaklanan) dolayısıyla uzaya ısı ve ışıkla birlikte yayılan nükleer radyasyonlardan (bu tür radyasyona kozmik radyasyon denir) almaktayız [26].

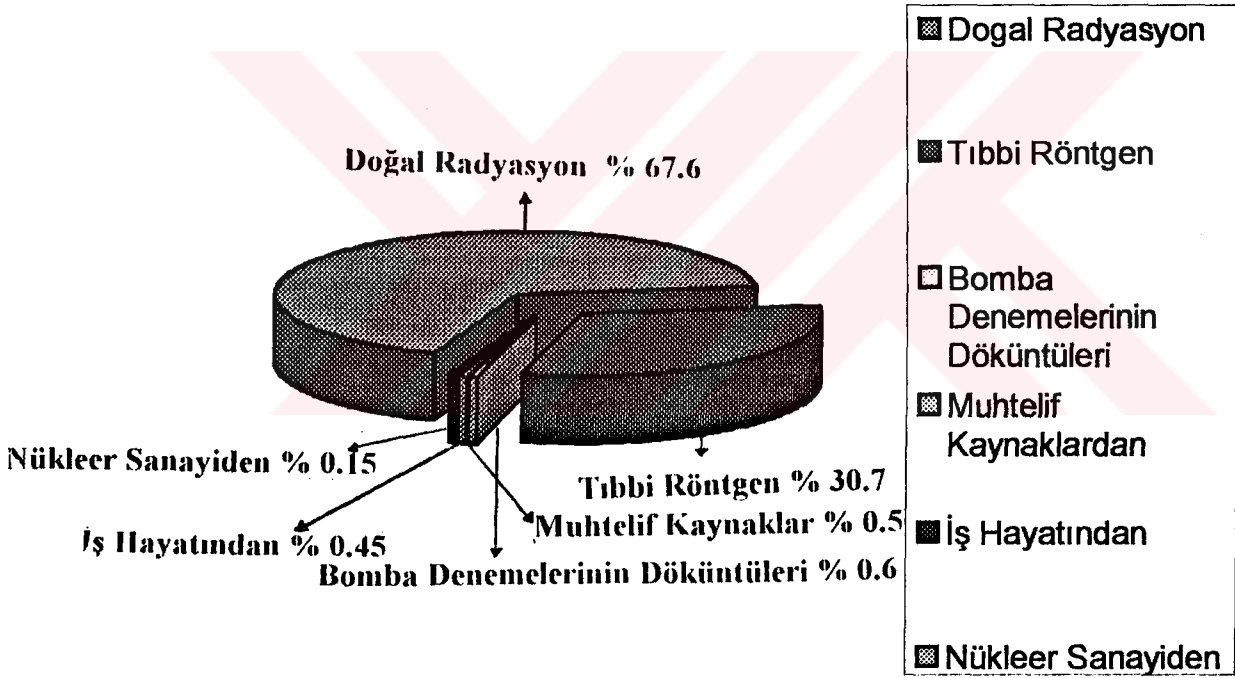
Hava ve özellikle besinlerle vücudumuza girerek, orada yerleşen doğal radyoaktif izotoplar bizi içeriden ışınlarlar. 100 mili rem doğal radyasyon dozunun, üçte birlik bölümünü iç radyasyon oluşturur. Süt, gıdalarımız arasında en radyoaktif olanıdır. Bira, onun üçte biri, içme suyu 200 - 500 katı daha az radyoaktiftirler.

Radyasyon aldığımız bazı içeceklerin bağıl oransal radyoaktiviteleri gösterilmektedir (Şekil-4) [26].



Şekil - 4 Bazı içeceklerden aldığımız radyasyon oranları (rakamlar bağıl değerleri göstermektedir).

Genel olarak solunum sisteminin hücre ve dokularına önemli dozlar veren tüm doğal ve yapay radyasyon kaynakları arasında solunan radon ürünleri baskın olduğu görülmektedir (şekil-5) [25].



Şekil-5 Bir insanın doğal ve yapay kaynaklardan aldığı yıllık doz

BÖLÜM 2

METOT VE TEMEL BİLGİLER

2.1 Radon Ürünlerinin Ölçülmesinin Önemi

Bilim adamları, doğal radyasyon kaynaklarının en önemlisinin tatsız, kokusuz havadan 7.5 defa daha ağır ve görünmez bir gaz olan Radon olduğunu yeni keşfetmişlerdir.

Radyoaktif bir soy gaz olan Radon, (Rn-222) uranyum ailesinden olup Radyumun (Ra-226)radyoaktif bozulması sonucu oluşur. Radon doğada (yeryüzünde) topraktan ve yapı malzemelerinden atmosfer içine diffüzleneradon ve ömrü kısa olan radyoaktif radon ürünleri yayarlar. Bu yayılan radyoaktif ürünler, havadaki toz parçacıklarına yapışarak, solunum yoluyla akciğerlere girmekte ve yayınladıkları alfa parçacıklarıyla akciğer dokularını ışınlayarak tahrip ederler. Diğer bir kısmı ise akciğer sıvısında çözülür buradan da vücudun diğer taraflarına taşınarak birtakım kritik hücreleri tahrip ederek kansere yol açabilmektedir.

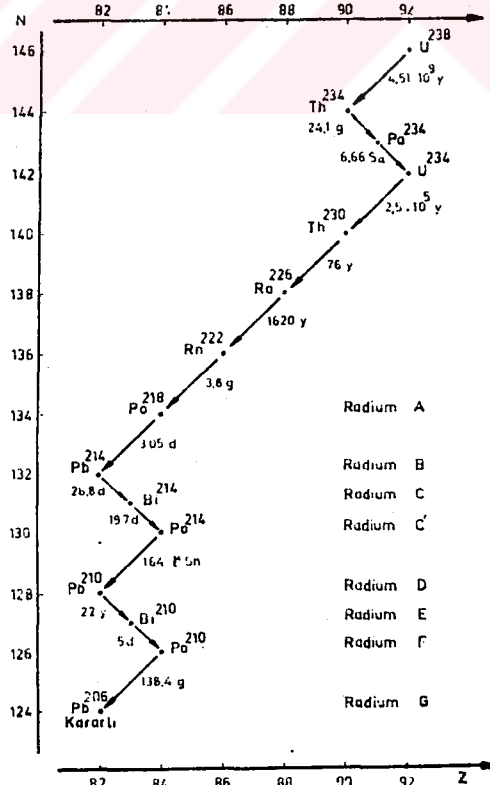
Radonla ilgili çalışmalar, kimyasal madde ile iz kazıma yöntemi sahasının küçük bir bölümüdür. Bu metot kullanılarak radon, havada , suda ve toprakta incelenmiş.

Daha sonra uygulamalar biyolojik dozimetre, evin havalandırılması, enerji kaynakları için maden arama ve hatta uranyum kaynakları , petrol, doğal gaz alanlarını ve jeotermal olarak faydalı olabilecek bölgeleri tespit etmekte kullanılabilir.

O halde gerek sağlık yönünden gerekse yukarıda sözü edilen uygulamalar göz önüne alındığında radon konsantrasyonunun ölçülmesinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

2.2 Radon gazının Oluşumu

Radon terimi genellikle ^{222}Rn izotopu için kullanılır. ^{222}Rn radyum-226 'nın bozunma ürünüdür. Radon'un diğer izotopları olan ^{220}Rn ve ^{219}Rn sırası ile 'thoron' ve 'aktinon' adları ile anılırlar. Radon alfa parçacıkları yayımlayarak bir polonyum izotopu olan polonyum-218'e bozunur. Yarı ömrü 3.82 gündür. Polonyum-218'de kurşun, bizmut, polonyum ve talyum izotopları üzerinden kararlı kurşuna (^{206}Pb) bozunarak uranyum (^{238}U) bunma zincirini tamamlar (şekil-6). Radon kimyasal açıdan asal bir gazdır [6].



Şekil-6 Radon Gazının Oluşumu (uranyumun bozunum zinciri)

Radonun kaynağı olan radyum toprakta ve diğer birçok maddelerde bulunur. Radyumun bozulmasından ortaya çıkan radonun sadece bir bölümü çevreye karışır. İnsanın radon bozunma zinciri radyasyonlarından aldığı doğal dozun asıl kaynağı radon değil onun kısa ömürlü bozunma ürünleridir (tablo - 2).

Radon ürünleri	Yarı ömürleri
^{218}Po	3,05 dk
^{214}Pb	26.8 dk
^{214}Bi	19.7 dk
^{214}Po	$1,6 \cdot 10^{-4}$ sn

Tablo-2 Radonun bozunum ürünlerinin yarı ömürleri

Radon ürünleri konsantrasyonları ya aktiviteleri, yada potansiyel alfa enerjileri esas alınarak ifade edilir. Potansiyel alfa enerjisi ; mevcut atomların ^{210}Pb 'a kadar bozulduklarında açığa çıkan toplam enerjidir [32].

2.3 Yer Yüzünde Radon

Açık havadaki radonun başlıca kaynağı yer kabuğundaki Radyumdur. Yer kabuğunun en dış 10 km'lik tabakasındaki radyum miktarı 10^4 Bq düzeyindedir. Bu radyumun bozulmasından ortaya çıkan radonun büyük bir bölümü radyum taşıyıcı maddeye (rüzgar, bitkiler, vb.) bağlı kalır, çok az miktarda atmosfere geçer. Açık havadaki radonun ikinci derecede önemli kaynakları bitkiler, yeraltı suları ve okyanuslardır [8].

Bir uranyum cevheri atıkları içinde bizzat uranyum kalıntıları olur. Bu cevher atığında bulunan uranyum uzun bozunum zincirinin her biri radyoaktif olan çeşitli bireyleride atık içinde kalır. Bunlardan çevre sağlığı açısından en büyük tehlikeyi oluşturanlar Radyum-226 ve Radon-222 dir. Katı madde olan Radyum-226, rüzgar ve su erozyonu ile çevreye taşınır. Fakat gaz olan Radon-222 , bu gibi dış etmenlere bağlı kalmadan kendiliğinden havaya karışır. 1Gwe gücünde büyük boy hafif su santralinin ekonomik ömrü boyunca 6,6 milyon ton cevher artığı bırakmaktadır. Bu ise yılda 2300 Ci radon gazı yayar [4].

İnsan, uygar toplumlarda yılda 160 mili rem dolayında radyasyon dozu alır. Bunun üçte ikisi doğadan, üçte biri insan yapısı kaynaklardan gelir [29].

Çevrede uranyum ve toryum zenginliğinin olması o bölgedeki yaşayan insanların radyasyona maruz kalmalarını artıracaktır. Örneğin Güney Hindistan`da toryumca zengin Monazite kumları üzerinde kurulmuş olan Kerala kasabasında yaşayanların aldıkları radyasyon dozu 400 mili rem düzeyindedir [6]. Dünya`da yüksek seviyede radyasyon ve radon aktiviteleri ölçümleri yapılmıştır. Bu değerler aşağıdaki (tablo-3) de verilmiştir.

Yerleşim Yerleri	²²² Rn aktivitesi (Bq/m ³)
Cincinatti	9.6
Fransa	9.3
New York	4.8
İngiltre	3.3
Washington	2.9
Japonya	2.1
Bolivya	1.5
Filipinler	0.3
Hint Okyanusu	0.07

Tablo-3 Bazı yerleşim yerlerindeki ²²²Rn aktiviteleri

Yer kabuğuna eser miktarda dağılmış olan doğal radyoaktif maddeler birer radyasyon kaynağıdır. Hemen hemen bütun jeolojik tabakalarda fakat değişik oranlarda radyoizotoplar bulunur. Binaların yapısında kullanılan malzemeler , yer kabuğundan alındığına göre belirli oranlarda radyoaktivite içereceklerdir.

2.4 Radon Gazının Binalardaki Varlığı

Evlerdeki radonun başlıca kaynakları ; inşaat yapı malzemeleri, evin altındaki toprak, su ve hava gazıdır. Radyum konsantrasyonları araştıırılan çimento türlerinin bazılarının diğerlerinden daha yüksek konsantrasyonlarda radyum içerdikleri saptanmıştır. Bu tür malzemeler hesaba katılmazsa radyumun inşaat malzemelerindeki ortalama konsantrasyonu 100 Bq/Kg düzeyindedir. Tahta, alçıtaşı, kum ve çakıl aktiviteleri düşük olan malzemelerdir. Örneğin, tuğla bir evde yaşamakla yılda 50-100 mrem, beton bir evde yaşamakla 70-100 mrem ve tahta bir evde ise 30-50 mrem radyasyon alınır. Bir evin duvarlarından, tabanından ve tavanından radon salınışı bu yapılardaki radyum konsantrasyonlarına, malzemedeki diffüzyon katsayısına ve sıva malzemelerinin kalite ve kalınlıklarına bağlıdır [3].

Amerika birleşik devletlerinin maden hazinesi olan Colorado yöresinde uranyum ocaklarından çıkan artıklar Grand Uonction kasabasında binalarda dolgu malzemesi olarak kullanılmış. Yine aynı ülkenin güney eyaletlerinde yüz binlerce bina fosfat yatakları artıklarından yapılmış briketlerle inşa olunmuştur. Bilindiği gibi, radonun esas kaynağı uranyum olduğundan bu tip yapı malzemesi kullanılan evlerde radon aktivitesi artacaktır [26].

Hacmi 200 m^3 · iç yüzeylerinin alanı 350 m^2 kabul edilen bir eve çeşitli kaynaklardan bir günde giren radon miktarı (radon akısı) tablo-4 de gösterilmiştir [6].

Ağaç,bina yapı malzemeleri içinde en az radon yaymaktadır. Bunlara karşılık Batı Almanya ve Rusya’da kullanılan sünger ve granit taşı çok daha radyoaktiftir. Bazı bina yapı malzemelerinin Radon-226 konsantrasyonları (Tablo-5) de verilmiştir.

Kaynak	Radon Akısı Bq/gün	Açıklama
İnşaat malzemesi	7.10^3	Salınma hızı: 2.10^{-3} Bq/m ² /s
Su	4.10^3	Sudaki Kon. 4Kb/m ³ , Su kullan. 1000 L/gün
Dışarıdaki Hava	9.10^3	
Doğal Gaz	3.10^3	-----
Sıvı Petrol Gazı	$0,2.10^3$	-----

Tablo-4 Bazı maddelerin radon akısı

Malzeme cinsi	Konsantras.Bq/kg	Malzeme cinsi	Konsantras.Bq/kg
Ağaç	1.1	Kırmızı tuğla	78
Tabii alçı	2.9	Uranyum madeni atıklar.	4625
Portland çimento.	45	Alçı taşı	26
Beton	98	Kireç lime	33
Deniz kumu	7	Kireç taşı	3
Nehir kumu	44	Kalsiyum silikat	2140
Kum tuğla	82	Şapşist	496
Granit	180	-----	-----

Tablo-5 Bazı bina yapım malzemelerinin ²²⁶Ra konsantrasyonları

Radyum-uranyum serisinin doğal radyonüklitlerin düzeyleri, kömürün yanma ürünleriyle artmaktadır. Yunan linyitinden çıkan bu kül, 100Bq/kg’ın üzerinde ²²⁶Ra içermekte ve Yunanistan fabrikalarında enerji olarak yakılmaktadır. Bu kül Yunan çimento endüstrisinde 1975’lerden beri % 20 ile % 40 arasında değişen oranlarda betonda ve portland çimentosunda katkı maddesi olarak kullanılmıştır [27].

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada, 1960 ile 1970 yılları arasında yapılan 14 eski evlerde radon konsantrasyonu, 1980 de yapılan 10 yeni evdeki radon konsantrasyonlarından daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bunun nedeni ise 1980 de yapılan binalarda yüksek seviyede ^{226}Ra içeren kırmızı kil tuğla kullanılmasıdır [27].

1992 yılında Japonya'nın Hiroşima bölgesinde ahşap evlerde yapılan radon ölçümleri, yarı toprak evlerde yapılan ölçümlerden daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bunun nedeni ise yukarıda belirtildiği gibi uranyumun kaynağı olan topraktır [8].

Evlerin taban kaplaması altında bulunan çatlaklardan ev içine önemli ölçüde radon sızarak içerideki radon konsantrasyonunu artırmaktadır. Eğer evin içi bir vantilatör vasıtasıyla havalandırıldığında çatlaklardan daha fazla radon sızdığı görülmüştür. Buna karşılık tabandaki çatlaklar tamamen yalıtılıp aynı şekilde havalandırıldığında bina içindeki radon yoğunluğunun azaldığı görülmüştür [29].

Bilindiği gibi radon gazı havadan daha ağır olduğu için topraktan çok fazla yükseğe çıkamayacaktır. Dolayısıyla binaların yüksek veya alçak olma durumuna göre binalardaki radon gazı konsantrasyonu da değişim gösterecektir.

Adana'da bir fabrikanın alt ve üst katlarında yapılan ölçümlerinde alt katlardaki radon ve radon ürünleri konsantrasyonu, üst kattaki radon ve radon ürünleri konsantrasyonlarından daha yüksek olduğunu göstermiştir [29].

Genellikle radon topraktan sızmaktadır. Binaların toprak üzerine kurulması binalardaki radon konsantrasyonunun en önemli sebeplerindedir. Eğer evlerin tabanı herhangi bir kaplama ile kaplanmamışsa içerideki radon konsantrasyonu daha da artmaktadır. Buna örnek olarak Colorado'daki uranyum madeni tozları, şap sist tozları ve Florada'daki fosfat maden sahası üzerine inşa edilen evler sayılabilir [5].

Colorado yakınında bulunan Confier kasabasında 28 evin çeşitli odalarında ^{222}Rn konsantrasyonunun, suyun kullanıp kullanılmamasına göre yapılan çalışmalarda; Su kullanılmazken oda havasındaki ^{222}Rn miktarından, su kullanılırken oda havasındaki ^{222}Rn miktarı daha fazla olduğu gözlenmiştir [23].

2.5 Radonun Kısa Tarihçesi

Avrupa'da maden işçileri arasında yüksek ölüm oranının varlığı, 1600 yılından önce saptandı ve ölümlerin çoğunun gerçek sebebinin 19. yüzyıl sonunda akciğer kanseri olarak teşhis edildi. 1924 yılında ölümlerin sebeplerinin radona maruz kalınmasının bir sonucu olarak kanserin oluşabileceği ileri sürüldü. Bunun üzerine ilk olarak ilgili çevresel ölçümler genellikle dışarıdaki havada, atmosfer değişimlerinde, topraktan gazların yayılmasında yapılmıştır. Bu ise fazla ilgi görmemiştir. ancak son yıllarda ilginç bir şekilde artarak ev ve iş yerlerinde ölçümler yapılmaya başlanmıştır [19].

Radon gazı ölçümleri 1950 yılından sonra Colorado madenlerinde, 1955 yılından sonra da Doğu Almanya'daki uranyum madenlerinde yapıldı. Bu zaman zarfında , radonun solunmasıyla ilgili yapılan biyolojik araştırmalar ve dozimetrik ölçümler devam ediyordu. 1951 e kadar sadece radon gazının solunmasıyla akciğer kanserine yakalandığını tüm çalışmalar ispatlayamadı. Bununla birlikte Rochester asıl sebebin radonun kendisinden çok radon ürünlerinin solunmasıyla olduğunu fikrini ileri sürdü [19].

Bu tarihten sonra katihal iz detektörleri, radon gazından gelen ağır yüklü parçacıkların ölçülmesinde ilk pratik uygulamaları, General Electric Research ve General Electric Valecitous şirketlerinde çalışan işçiler tarafından kullanılmıştır. Kimyasal iz kazıma yöntemi üzerindeki ilk konferans, 15 haziran 1965 de yine General Electric tarafından verilmiştir [15].

2.6 Radon ve Radon Ürünlerinin Ölçümleri

Bir yalıtıktan geçen ağır yüklü bir parçacık, meteryal içerisinde hasar bölgeleri oluşturur. Bu hasar bölgelerin mikroskop ile görülebilecek hale gelmesi için bir aşındırıcı kimyasal madde ile yıkanması gerekmektedir. Kimyasal aşındırma sırasında, hasarlı bölgeler hasarsız bölgelere nazaran daha fazla aşınmaya uğrayarak görünmeyen izlerin görünür hale gelmesidir. Bu ise Solid State NuclearTrack Dedection (SSNTD) olarak bilinir. Kullanılan aşındırıcıya da kimyasal aşındırıcı denir [1].

Radon konsantrasyonunun tespit edilmesinde katı hal iz dedektörlerinin kullanılmasının avantajları, düşük enerjili alfa parçacıkları değişik polimerik katılarda görünmeyen izler oluşturabilmesi, ve bu izlerin kimyasal iz kazıma yöntemiyle mikroskop altında görülebilir olmasıdır. Bu dedektörlere, alfa iyonlaştırıcısı dışında diğer düşük iyonlaştırmaya sahip olan beta ve gamma parçacıkları etki etmemesidir. Ayrıca alçak konsantrasyonda radon ölçümleri yapılması zor ve zaman alıcı olduğu gibi pahalı ve kompleks laboratuvar cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Oysaki, evlerdeki alçak düzeyli radon konsantrasyonlarının ölçülmesi için, yeteri kadar doğru ve hassas ölçüm yapabilen kullanılması kolay ve aynı zamanda ucuz olan çok sayıda dedektöre ihtiyaç vardır. Bu koşullara en uygun dedektörler iz aşındırma yöntemine dayanan pasif radon dedektörleridir.

2.6.1. Elektrokimyasal Aşındırma Sistemi

1979'lu yıllarda Hassib ve arkadaşları tarafından geliştirilen elektrokimyasal iz kazıma yöntemiyle polikarbon üzerindeki alfa parçacıklarının izlerini saptamışlardır. Alfa parçacıklarına maruz kalan plastik dedektörler, genel olarak sıcak potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi içine belirli bir süre daldırılarak yüzey kazıma işlemine tabi tutulur ve dedektör üzerine yüksek gerilim ve frekans uygulandığında alfa izleri yaklaşık olarak 200 μm ye kadar büyümektedir [18].

İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNEAM) bir CR- 39 plastik dedektör üzerinde kimyasal iz aşındırma yönteminin optimum şartlarını araştırma amacıyla yapmış olduğu bir çalışmada, dedektörler üzerinde sıcaklık, gerilim, zaman ve frekansa bağlı olarak, iz sayılarını ve iz büyüklüklerini ele almışlar. İzlerin 4 saat sonra belirgin olmaya başladığını ve zaman arttıkça iz sayısının ve büyüklüğünün arttığını görmüşler. 5-6 saattan fazla iz kazıma süresinde ise dedektörlerin delindiğini görmüşlerdir [22].

2.6.2. Kimyasal Aşındırma Sistemi

Dedektörlerden en pratik ve en fazla kullanılan kimyasal aşındırma yöntemine dayanan “Pasif radon dozimetreleri” dir. Bu dedektörlerde genellikle allidiglikolkarbonat (CR-39), selüloz asetat polikarbonat gibi plastik maddeler kullanılmaktadır. Radona maruz bırakılan bu dedektörler, önce sıcak bir alkali çözeltisi içinde kimyasal aşındırmaya tabi tutulur. Bu kimyasal aşındırmada alfa parçacıkların oluşturduğu gizli izlerin dışındaki bölgelerin çok daha fazla aşınarak gizli izlerin görünür hale gelmesidir [14].

En iyi kimyasal iz aşındırma koşulları aşağıdaki tablo-6 da verilmiştir [16].

Materyal	Aşındırıcı	Sıcaklık	Zaman
Gadolinyumgaliyumlal taşı	%25HNO ₃ %25CH ₃ COOH, %50N ₂ O	70 ⁰ C	30 dk.
oskovit mika	% 48 HF	20 ⁰ C	20 dk.
Kuvarts	a) KOH suda	150 ⁰ C	3 saat
	b) %48 HF	23 ⁰ C	24 saat
Kurşun fosfat cam	1 ml %70HNO ³ / 3 ml H ₂ O	-----	11 dk.
Fosfat cam	%48 HF	-----	13 dk.
Kuvarts cam	% 48 HF	-----	1 dk.
Soda lime cam	a) % 48 HF	-----	5 saat
	b)%24 HBF ₄ /%5HNO ₃ asetik asit	-----	1 saat
Allildiglikol karbonat	NaOH, KOH ≤ % 40	≤70 ⁰ C	17 saat
Selülöz asetat	1ml %15 NaClO/2 ml6,25 N aOH	40 ⁰ C	1 saat
Selülöz asetat bütrat	6,25 N NaOH	70 ⁰ C	12 dk.
Selülöz nitrat	≤ 16 N LiOH, NaOH, KOH	≤50 ⁰ C	≤6saat
Poliymid	a) KMnO ₄ % 25 suda	100 ⁰ C	1,5saat
	a) 6 N NaOH	-----	-----
Polikarbonat	6,25 N NaOH	50 ⁰ C	20 dk.
Polietilen	6,25 N NaOH	7 ⁰ C	10 dk.
Polistiroil	a) KnNO ₄	85 ⁰ C	2,5saat
	b) 10gr K ₂ Cr ₂ O ₇ /35 ml, %30 H ₂ SO ₄	85 ⁰ C	3 saat
Poliviliniden florid	5 - 12 N NaOH	65-85 ⁰ C	≤100 saat

Tablo-6 K imyasal aşındırma için tavsiye edilen koşullar

2.6.3. Radon Dozimetrelerinin Kalibrasyonu

Pasif radon dozimetrelerini radon gazı konsantrasyonu cinsinden değerlendirmek için radon konsantrasyonu bilinen bir ortama ihtiyaç vardır. Bunun için bir 'radon kalibrasyon odası' geliştirilmiştir. Radon kalibrasyon odası merkezine aktivitesi bilinen bir radyum kaynağı konulmuştur. Bunun yanına dozimetrelerin konulacağı raflar yerleştirilmiştir. Oda içerisinde bir müddet sonra radonun denge konsantrasyonuna geldiğinde içeriye kalibre edilecek dozimetreler yerleştirililerek belirli süre radona maruz bırakılır. Bu dozimetreler değerlendirilir. Böylece bilinen konsantrasyona göre iz sayısı belirlenerek bir 'Kalibrasyon Çarpan' faktörü bulunmaktadır.

2.7. Geçirgen Zar Engelleri

Daha önce ifade edildiği gibi çevremizde radon gazından çok, radon ve radon ürünlerine rastlanmaktadır. Oysaki ölçümlerimizde sadece ^{222}Rn 'yi göz önüne alacağız.

Bunu yapabilmek için sadece ^{222}Rn 'yi ölçen detektörler yapılmalıdır. O halde detektörler seçici geçirgen bir zarla kaplanmalıdır. Zarın kalınlığı, alanı ve duyarlılığı öyle ayarlanmalıdır ki sadece içeriye ^{222}Rn girerek kendisi ve bozunum ürünleri sayılmış olsun [14].

Bu zar kalınlığının ayarlanabilmesi için Radon ve izotoplarının bozunum zinciri bilinmelidir. Tablo-7 de plastik iz detektörlerinde iz oluşturabilecek üç radon izotopu, onların α - aktif ürünlerinden oluşan dokuz türü görülmektedir.

Zarın diffüzyon zamanı belirli bir Rn izotopunun ortalama ömrüne göre uzun olacak şekilde yapılırsa, hemen hemen hiç bir ürün dedektör içine giremez. Tablo-7 de görüldüğü gibi ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn 'un ortalama ömürleri sırasıyla 3.8 gün, 5.6 sn ve 4 sn olduğundan yaklaşık bir günlük gecikme ^{222}Rn hariç diğerlerini dışarıda bırakacaktır.

^{232}Th 'nin bozunum zinciri	^{238}U 'in bozunum zinciri	^{235}U 'in bozunum zinciri
^{220}Rn (56 sn)	^{222}Rn (3.8 gün)	^{219}Rn (4 sn)
^{216}Po (0.15 sn)	^{218}Po (3.1 dak.)	^{215}Po (1.8 msn)
^{212}Po (0.30 μsn)	^{214}Po (0.16 msn)	^{212}Po (0.53 sn)

Tablo-7 Radon izotopları ve radonun α - aktif soyları

Fleischer yaptığı çalışmada [32], detektör içerisine thoronun girmesini engellemek için saf SiO_2 kum engeli kullanmıştır. Radon kaynağı hemen hemen eşit miktarda ^{220}Rn ve ^{222}Rn üretmektedir. Burada kullanılan kumun kalınlığı arttıkça detektördeki iz yoğunluğu sayısı azalmaktadır, sonunda sadece ^{222}Rn 'nin geçmesine izin verilmektedir.

Bazı maddelerin radon geçirgenliği 'zar engelleri teknikleri' kullanılarak saptanmıştır ve elde edilen sonuçlar tablo-8 de gösterilmiştir [32].

Materyal	Geçirgenlik $10^{-8} \text{ cm}^2 / \text{san}$	Gecikme zamanı
Selüloz asetat	0,75	19 gün
Selüloz nitrat	12,50	1,1 saat
Selgrad (Silikon ile doymuş filitre)	150,000	2,3 saat
Dimethylsiloxane-bisphenol polikarbonat kopolimer(MEM-213)	125-840	0,4-2,7saat
Fiber cam	450	- - - - -
Hidrat selülöz	0,79	15 gün
Polikarbonat	0,38	38 gün
Policarbonat makrofol G	2,4	6 gün
Polyester	0,20	72 gün
polyethlenteriphtalate myelar	0.084	170 gün
polyethlenteriphtalate melinex-O	0,30	48 gün
Polietilen	0,34	42gün
2°C	2,8	5,1gün
23°C	5,5	2,6 gün
Polyvinylidene	5,0	2,9 gün
Polyvinylidene folpak	0,61	23 gün
Polyvinylidene klorid (saran)	< 0,6	> 24 gün
Doğal plastik	635	32 dk.

Tablo-8 Bazı maddelerin zar geçirgenliği

2.8. Polimerlerde Görünmeyen İzin Oluşum Teorisi

Yüklü bir parçacık herhangi bir madde içerisinde geçerken (özellikle iletken ve yalıtkanlardan) enerjisinin tamamını veya bir kısmını ortam içerisine bırakarak ortamda hasar bölgeleri oluşturabilmektedir. Bu hasar bölgelerinin oluşumu şu şekilde sıralanabilir.

- 1-) Gelen yüklü parçacıklar ortamın atomları ile esnek veya esnek olmayan çarpışmalar yapabilirler
- 2-) Gelen yüklü parçacıklar enerji transferine neden olabilirler
- 3-) Ortamın atomlarıyla nükleer bir etkileşim yapabilirler. Bu nükleer etkileşimde ortama enerji aktarılması önemsenmeyecek kadar küçük olduğundan parıldama olarak yayılan enerji çok küçüktür.

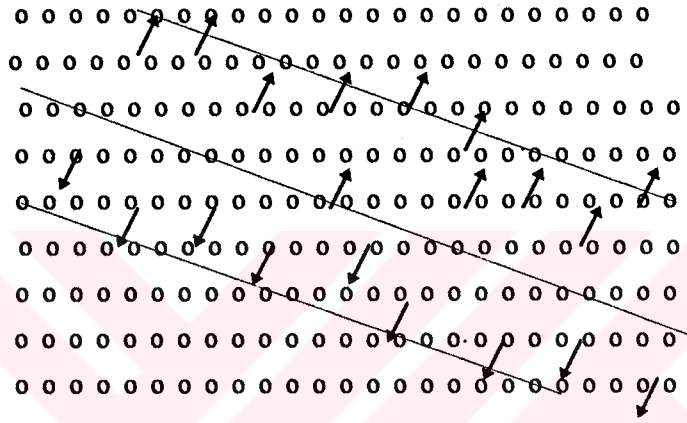
Yukarıdaki teorilere göre katılardaki gözükmeyen izlerin ısısal kırılma işlemi sonucunda oluştuğu bilinmektedir.

Yüklü parçacık enerjisinin çoğunu elektrona, elektronda kristal yapıya sıcaklık olarak aktarır. Enerjili parçacıklar, yüklü parçacığın yolu çevresinde silindirik biçiminde son derece yüksek sıcaklığa erişmiş bölgeler oluştururlar. Böylece sıcaklığın etkisiyle madde yüzeyinde erime ve buharlaşma yaparak iz oluşmaktadır [16]

Başka bir teoriye göre, pozitif yüklü parçacık gittiği yolun kenarında bulunan atomların yörüngelerindeki elektronları kopararak yol etrafında pozitif yüklerle yüklenmiş silindirik şekilde iyon bulutları oluştururlar. Bu iyon bulutlarının şiddetle patlamasıyla maddenin kristal yapısını bozarlar ve böylece görünmeyen izler oluşmaktadır Şekil-7 [11].

Yalıtkan ve yarıiletken maddeler üzerinde geçici olmayan izlerin oluşmasının nedeni, iyonlaşmış bölgelerin yakınında, yoğun bir şekilde serbest iyonların olmasıdır.

Buna karşılık silikon ve germanyum gibi yüksek delik hareketliliğine sahip maddelerde geçici olmayan izler kaydedilemez.



Şekil-7 Polimerler üzerinde görünmez izin oluşum

2.9. Hasar Bölgesinin Oluşumu

a) Polimer üzerine gelen bir iyon, katının atomları civarında birbirlerini 10^{-17} sn gibi çok kısa zamanda etkilemeye sahiptirler ki bu iyonun hızı ışık hızının % 10'na ve enerjisi 4 Mev dur.

b) Bu ilk etkileşmeyi parçacık yörüngesinden çok çabuk dışarı yayınlanan elektronik çarpışma şalesi takip eder ki bu şale arkasında pozitif yüklenmiş plazma bölgesi bırakır. Ve bu bölge dışında aktive edilmiş moleküller oluşturur. Bu işlem 10^{-14} sn sürer.

c) Dielektirik katılarda geriye kalan plazma yük bulutu, pozitif iyon, elektrostatik itici yoldan geçmesiyle birbirlerini Coulomb etkisiyle hızla iterler. Bu ise yaklaşık olarak 10^{-12} sn sürer.

2.10. Atomik Hasar Bölgesinin Gevşemesi

Bir bölgeden ağır bir iyon geçmesinden hemen sonra bir görünmeyen iz bölgesi oluşur. Bu iz bölgesi, atomlar ve boşluklar arasında iyonları çevreleyen sınırlı bölgenin şiddetli bir şekilde sarsılmasıyla oluşur. Oluşan bu iz nüvesi silindirik şekilde ince uzun sıcak bir bölge olup sıcaklığı birkaç bin santigrat dereceye ulaşabilir[25]. Tekrar soğuma esnasında atomik hasar yığılmaları hemen hemen bir sıra halinde etrafları bir nokta hasar bulutuyla kuşatılır. Bu olay yaklaşık 10^{-10} sn sürer ve noktaların iç çapı ise 10 nm kadardır[7]. Esas itibariyle organik polimerlerde izler, hasar bölgesinde bariz bir şekilde azalması ve uygun molekül bağlarının kırılmasından ibarettir.

2.11. Moleküler Hasarın Gevşemesi

Son olarak inorganik polimerlerde iz nüvesinden daha uzak noktalarda hasar bölgelerinin, kimyasal olarak aktive edilmiş türlerin ikincil reaksiyonu sayesinde oluşur. Aynı zamanda havanın oksijeniyle de bu reaksiyon vuku bulur. Oluşan izler uzun bir zaman geçmesine rağmen silinip kaybolmazlar. Böylece inorganik katılar ve organik polimerler farklı boyutlardaki hasarların tamamını kaydederler. İnorganik polimerler üzerinde çapları 10-100 nm olan iz halesi oluşur. Kimyasal özelliklerin değişmesiyle iz sayıları değişmektedir.

2.12. Nükleer İzin Görünür Hale Gelmesi

Nükleer izler (alfa partikül) normal olarak optik mikroskopta görünmezler. Detektör üzerindeki bu izlerin görünür hale gelmesi için, iz haricinde olan bölgelerin

herhangi bir aşındırıcıyla aşındırılır. Böylece izler ortaya çıkarak bir genişleme yapar ve normal bir mikroskop altında görünebilir[13].

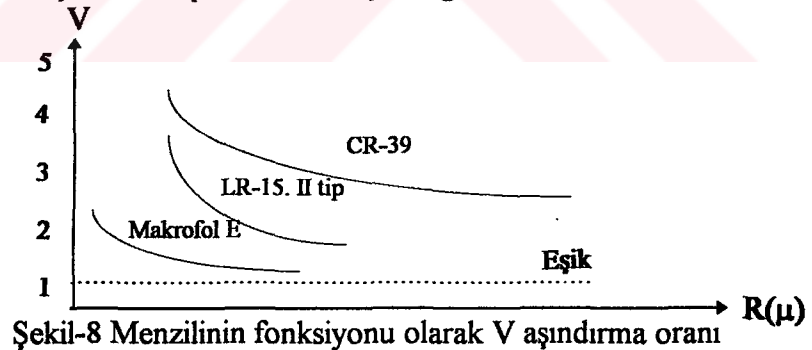
Aşındırılmış yüzey kalınlığı göz önüne alındığında detektörleri, iki kısma ayrılabiliriz.

1) Aşındırıldığı zaman, izlerin çoğu aşınma nedeniyle, Detektör üzerinden silinen ince detektörler.

2) Aşınan bölgelerin kalınlığı, aşınmış izlerin kalınlığından daha kalın olan, detektörler.

Aşınan iz üzerinde teorik bir düşünce olarak[31] aşındırma hız oranını $V(V=V_T/V_B)$ kalıntı kalınlığını, R 'nin bir fonksiyonu olarak Polikarbonat'ta ve selüloz nitrat'ta $V=1+\exp(-aR+b)$, allildiklikol karbonat'ta da $V=1+aR^b$ olduğunu göstermiştir. Burada V : Aşındırma oranı hızı, R : Alfa parçacıkların menzildir.

Alfa parçacık tespitinde kullanılan üç çeşit detektörün $V(R)$ fonksiyonunun grafiği Şekil-8 de verilmiştir. İz aşındırma koşulu tablosundan $V=1$ eşik değeri göz önüne alınarak işaretlenmiştir. Fakat pratikte 1.2 eşik değeri kullanılır.



Detektörler üzerindeki alfa parçacıklarını ortaya çıkarmak için alfa parçacıkların menziline eşit kalınlıkta bir tabaka aşındırılmalıdır aksi halde izler dedektörler üzerinden akıp gider veya zamanla kaybolur. O halde alfa parçacıklarının, özellikle kullandığımız dedektörler üzerindeki menzil uzunlukları göz önüne alınmalıdır. Aşağıdaki tablo-9 da alfa parçacıklarının menzil uzunlukları verilmiştir.

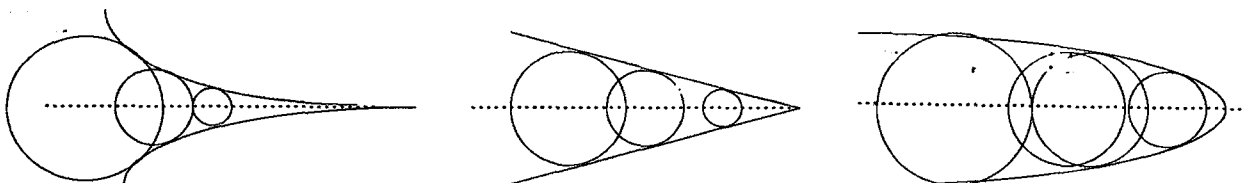
Nüklid	alfa parçacık enerjisi (MeV)	Hava(cm)	CR-39 (μm)	Makrofol(μm)
^{222}Rn	5.48	4.0	35.5	38.7
^{218}Po	6.00	4.6	40.7	44.5
^{214}Po	7.70	6.9	59.8	65.6
^{220}Rn	6.28	4.9	33.6	47.7
^{216}Po	6.77	5.6	48.9	43.6
^{212}Po	8.95	8.5	75.8	83.3

Tablo-9 Radonn izotopları ve bozunumlarından yayılan alfa parçacıklarının menzili

2.13. Kimyasal Olarak Aşındırılmış bir İzin Şekli

Görünmeyen izin üzerine bir aşındırıcının temas etmesi kimyasal kazıma olarak bilinir. Genelde, iz kazıma yöntemi, iz boyunca yoğun enerji birikiminin düz bir fonksiyonudur. Başlangıç iz kazıma, spesifik iyon enerjisinin artmasıyla birlikte iz kazıma oranında süratli bir şekilde artmaktadır. İz kazıma oranı 1 ile 10 MeV/nükleon arasında spesifik iyon enerjisinde bir maksimuma ulaşılır ve maksimumdan sonra yüksek durgun enerji, yavaş yavaş göreceli olarak azalır. Buna ilaveten, izden ize yoğun enerji deposunda düzensiz bir değişim olarak, başlangıç iz kazımaya yaklaşır. Şayet iz ve iz kazıma oranı belirlenirse kazınmış izin şekli elde edilir [12]. İz oluşum şekli, iz kaydedicinin derinliğine ilerlemesinden ve aşınmış iz noktasının hareketinden dolayı çok hızlı bir merminin şok dalgaya veya bir gemi burnunun yaymış olduğu dalgaya benzemektedir (şekil-9).

Hızlanma, sabit hız ve yavaşlama için, iz aşındırma oranı izotropik bir ortamda: iz kazıma durumu, konkav, koni veya konveks olarak sıralanabilir.



Şekil-9 Konkav, koni ve konveks izler

2.14 İzotropik Ortamda Sabit Hızla İz Kazıma

Bunu üç kategoride ele alabiliriz.

- 1- Koni fazı
- 2- Geçiş fazı
- 3- Küre fazı

2.14.1 Koni fazı:

Çoğu pratik uygulamalarda iz oluşumları koni şeklindedir. Bir iz konisi, dedektörün sabit bir şekilde aşındırılması veya yavaş yavaş aşındırılmasıyla oluşur. Sınırlı bir bölge içerisinde iz kazıma fonksiyonu, (başlangıç iz kazımasından yukarı sınırlı bölgelerinde) hemen hemen doğrudur. Bu ise ideal bir durumdur. İdeal bir durumda aşağıdaki parametrelerin hesaplanması mümkündür.

α : Radyasyonun gelme açısı

R: İyon menzili

V_t : İyon kazıma hızı

V_b : Hacim kazıma hızı

t : Kazıma süresi L_c : Aşındırılmış konin uzunluğu

Şimdi şekil-10 da bir kaydedici dedektör üzerine dik olarak gelen bir iyonun oluşturduğu koninin V_T iz aşındırma hızını göz önüne alalım. Bu durum parçacığın iyonlaşma hızının çok hızlı değişmediği durumlar için geçerlidir.

$\sin\theta = \frac{V_B t}{X}$ den $X = \frac{V_B t}{\sin\theta}$ elde edilir. Böylece, koninin tepesinin, koni ekseninin aşındırılmış yüzeyi kestiği noktaya uzaklığı olan, aşındırılmış çukurun L_e uzunluğu

$$OB - X = V_T t - \frac{V_B t}{\sin\theta} \quad \text{dır.}$$

Bu durumda, O' noktasının D yi iki eşit parçaya ayırmadığına dikkat edelim. Koni yüzeyinin, koninin açık yüzeyini kestiği P ve P' noktalarının koni eksenine uzaklıkları, sırasıyla X_1 ve X_2 olsun. P ve P' den koni eksenine inilen dikmelerin ayaklarının O' noktasına uzaklıklarına sırasıyla dy_1 ve dy_2 diyelim. $O'P = r_1$ ve $O'P' = r_2$ koyalım. Burada $D = r_1 + r_2$ dir. Böylece

$$r_1 = \frac{X_1}{\sin\theta}; \quad r_2 = \frac{X_2}{\sin\theta}; \quad \Delta y_1 = r_1 \cos\theta; \quad \Delta y_2 = r_2 \cos\theta$$

bulunur.

$$\tan \delta = \frac{X_2}{V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin\theta}\right) - \Delta y_2} = \frac{X_1}{V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin\theta}\right) + \Delta y_1}$$

$$X_1 = \tan \delta \left(V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin\theta}\right) + \Delta y_1 \right)$$

$$r_1 \sin \theta = \tan \delta \left(V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin \theta} \right) \right) + r_1 \cos \theta$$

$$r_1 \sin \theta = \tan \delta \left(V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin \theta} \right) \right) + \tan \delta r_1 \cos \theta$$

$$r_1 (\sin \theta - \tan \delta \cos \theta) = \tan \delta \left(V_T t - \left(\frac{V_B t}{\sin \theta} \right) \right)$$

$$X_2 = \tan \delta \left(V_T t - \frac{V_B t}{\sin \theta} \right) - \Delta y_2$$

$$r_2 \sin \theta = \tan \delta \left(V_T t - \frac{V_B t}{\sin \theta} - r_2 \cos \theta \right)$$

$$r_2 \sin\theta = \tan\delta \left(V_T t - \frac{V_B t}{\sin\theta} - \tan\delta r_2 \cos\theta \right)$$

$$r_2 (\sin\theta + \tan\delta \cos\theta) = \tan\delta \left(V_T t - \frac{V_B t}{\sin\theta} \right)$$

bulunur. Böylece

$$r_1 = \frac{\tan\delta (V_T t - (V_B t / \sin\theta))t}{\sin\theta - \cos\theta \tan\delta} \quad (14.1.5)$$

$$r_2 = \frac{\tan\delta (V_T t - (V_B t / \sin\theta))t}{\sin\theta + \cos\theta \tan\delta} \quad (14.1.6)$$

elde edilir. $A = \tan\delta (V_T t - (V_B t / \sin\theta))$ koyarak, $D = r_1 + r_2$ olduğu göz önüne alınır

$$D = \frac{A}{\sin\theta - \cos\theta \tan\delta} + \frac{A}{\sin\theta + \cos\theta \tan\delta}$$

$$D = A \cdot \frac{2\sin\theta}{\sin^2\theta - \cos^2\theta \tan^2\delta}$$

$$D = \frac{2V_B t}{\sqrt{V_T^2 - V_B^2}} \cdot \frac{(V_T^2 - V_B^2)(V_T \sin\theta - V_B)}{V_T^2 \sin^2\theta - V_B^2 \sin^2\theta - V_B^2 \cos^2\theta}$$

$$D = 2V_B t \cdot \frac{\sqrt{V_T^2 - V_B^2}}{V_T \sin\theta + V_B} \quad (14.1.7)$$

Veya $V = V_T / V_B$ Koyarsak

$$D = 2V_B t \cdot \frac{\sqrt{V^2 - 1}}{V \sin\theta + 1} \quad (14.1.7')$$

elde edilir.

Dikkat edilecek olursa, görünmez hasar bölgesi elipsin C merkezinden geçmez.

Bu bölgenin C ye uzaklığı $\Delta r = (r_1 - r_2) / 2$ dir. Buradan

$$\Delta r = \frac{A}{2} \left(\frac{1}{\sin\theta - \cos\theta \tan \delta} - \frac{1}{\sin\theta + \cos\theta \tan \delta} \right)$$

$$\Delta r = \frac{A}{2} \left(\frac{2 \cos\theta \tan \delta}{\sin^2\theta - \cos^2\theta \tan^2 \delta} \right)$$

$$\Delta r = A \cdot \frac{\cos\theta \tan \delta}{\sin^2\theta - \cos^2\theta \cdot V_B^2 / (V_T^2 - V_B^2)}$$

$$\Delta r = \frac{t \cos\theta \tan^2 \delta (V_T - V_B / \sin\theta) (V_T^2 - V_B^2)}{(V_T^2 - V_B^2) \sin^2\theta - V_B^2 \cos^2\theta}$$

$$L' = V V_{Bt} - \frac{V_{Bt}}{\sin\theta} + \frac{V_{Bt}}{\tan\theta(V \sin\theta + 1)} \cos\theta$$

$$L' = L_e + \Delta r \cos\theta = V_T t - \frac{V_{Bt}}{\sin\theta} + \Delta r \cos\theta$$

$$L' = V \cdot V_{Bt} - \frac{V_{Bt}}{\sin\theta} + \frac{V_{Bt}}{\tan\theta(V \sin\theta + 1)} \cos\theta$$

$$L' = V_{Bt} \left(\frac{V^2 \sin^2\theta + V \sin\theta - V \sin\theta - 1 + \cos^2\theta}{\sin\theta(V \sin\theta + 1)} \right)$$

$$L' = V_{Bt} \left(\frac{V^2 \sin^2\theta - \sin^2\theta}{\sin\theta(V \sin\theta + 1)} \right)$$

$$L' = V_{Bt} \cdot \frac{(V^2 - 1) \sin\theta}{V \sin\theta + 1}$$

elde edilir. Çemberin yarı çapı $AK = L' \tan\delta$ dir. ACO' dik üçgeninden AC uzunluğu $\Delta r \sin\theta$ olarak bulunur. ACX dik üçgeninde AX yarı çap olduğundan $AK = AX$ ve $CX = d/2$ dir. Böylece

$$\left(\frac{d}{2} \right)^2 = L'^2 \tan^2 \delta - (\Delta r)^2 \sin^2\theta$$

elde edilir. Böylece d için

$$\frac{d^2}{4} = \left(\frac{V_B t (V^2 - 1) \sin \theta}{V \sin \theta + 1} \right)^2 \frac{1}{V^2 - 1} - \left(\frac{V_B t}{\tan \theta (V \sin \theta + 1)} \right)^2 \sin^2 \theta$$

$$\frac{d^2}{4} = V^2 B^2 t^2 \left(\frac{(V \sin \theta + 1)(V \sin \theta - 1)}{(V \sin \theta + 1)^2} \right)$$

(14.1.10)

$$d = 2V_B t \sqrt{\frac{V \sin \theta - 1}{V \sin \theta + 1}}$$

bulunur.

Bu denklemde $V \sin \theta = 1$ olması halinde $d = 0$ dır ve $V \sin \theta < 1$ ise d sanaldır. Bunun nedeni $V \sin \theta = 1$ olduğunda, iz aşındırma hızının yüzeye dik olan bileşeni daima toplam aşındırma hızı ile aynıdır, dolayısıyla koninin ucu hiç bir zaman ilerleyen yüzeyin önüne geçemez. Böylece iz hiç bir zaman görülemez.

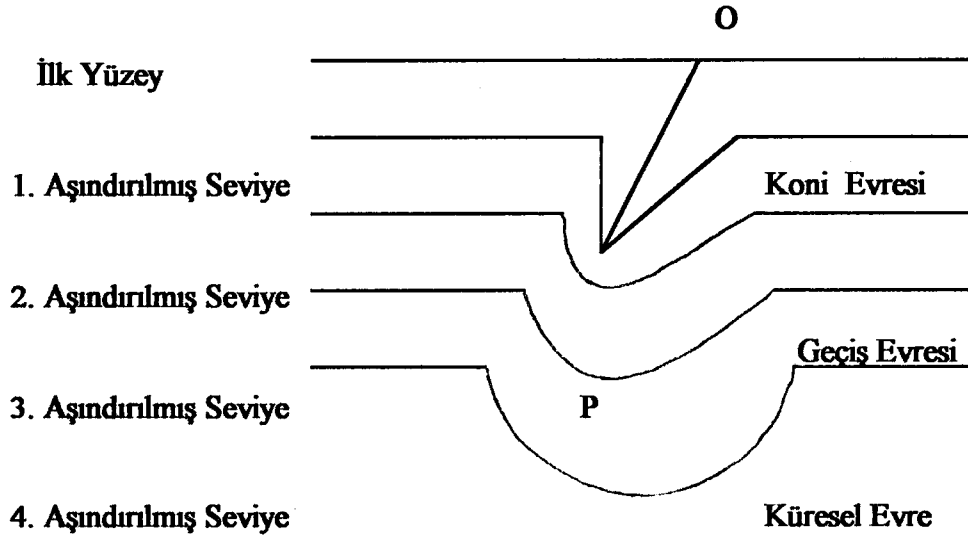
2.14.2 Geçiş Fazı

Son olarak, konik faz durumunda , (şekil-11) de $OO'P'$ iz çukurunun aşındırılmış yüzey üzerine S iz düşümü

$$S = L_e \cos \theta + r_1 \quad (14.2.1)$$

bulunur. Burada r_1 denklem (5) de verildiği gibidir. Aşındırıcı, görünmez hasar izinin bitimine ulaştığı zaman, konin ucu yuvarlaklaşmaya başlar ve mükemmel bir koni olmaktan çıkıp yavaş yavaş küre safasına geçer (şekil- 13). Bu safhanın ulaştığı t_0 zamanı

$$t_0 = R / V_T$$



Şekil -13 Dedektör üzerinde oluşan izlerin geçiş evreleri

bağıntısı ile verilir. $t > t_0$ için y yuvarlaklaşan ucun σ eğriliği

$$\sigma = V_B (t - t_0)$$

olduğuna göre, izdüşüm uzunluğu t_0 zamanında

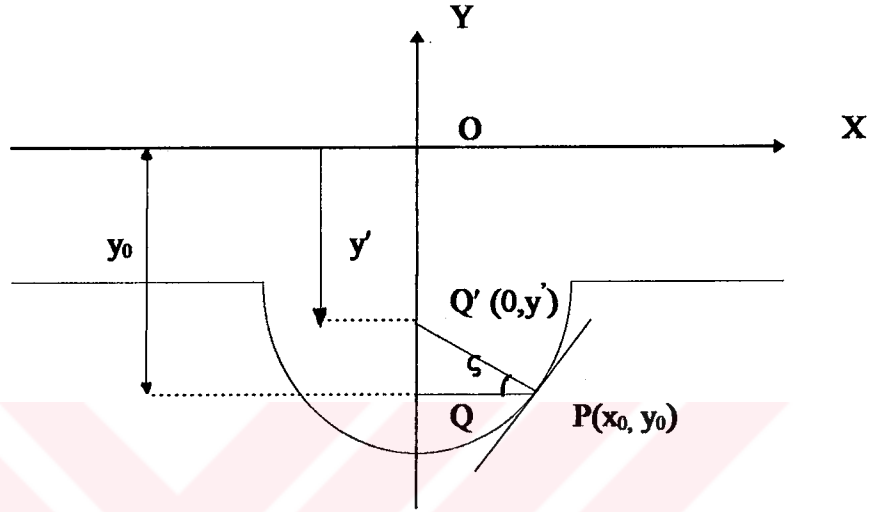
$$S = L_s \cos\theta + r_1 + \sigma \quad (14.2.2)$$

olur. Burada $L_s = R - (V_B t / \sin\theta)$ dir. t_0 zamanından sonra (14.1.7), (14.1.7') ve (14.1.10) denklemleri geçersiz olur. [20];[30];[2]

2.14.3. Küre Fazı

Bu fazda aşındırılmış iz çukurunun şekli, zamanın ve aşınmış yüzeyin bir fonksiyonu olarak incelenebilir [31].

Bunun için (şekil-14) de izin sonuna doğru V_T hızının yavaşladığı bir durum görülmektedir. İz çukurunun duvarında herhangi bir $P(x_0, y_0)$ noktası için (x_0, y_0) koordinatlarını bulalım.



Şekil -14 Kazınmış izin küre fazı

Aşındırıcı $OQ'P$ yolunu alabilmesi için gerekli süre ; değişen $V_T(y)$ hızıyla Q' ye varması için t_T zamanıyla Q' den P noktasına sabit V_B hızıyla erişmesi için geçen zaman t_B nin toplamıdır.

$$t = t_T + t_B$$

dir.

$$t = \int_{Q'}^{y'} \frac{dy}{V_T(y)} + \frac{((y_0 - y')^2 + x_0^2)^{1/2}}{V_B} \quad (14.3.1)$$

dir. Aşındırıcının gerçek uzunluğunu belirleyen y' dür. Ulaşma zamanını minimum yapan bu y' değeri

$$\frac{dt}{dy'} = 0$$

olmalıdır.

Denklem (14.3.1) in y' ye göre birinci türevi alınıp sifira eşitlenirse

$$0 = \frac{1}{V_T(y')} - \frac{y_0 - y'}{V_B \sqrt{(y_0 - y')^2 + X_0^2}}$$

$$y' = y_0 - x_0 \left[\left(\frac{V_T(y')}{V_B} \right)^2 - 1 \right]^{-1/2} \quad (14.3.2)$$

elde edilir.

Öte yandan şekil-9'dan

$$x_0 = \left[(y_0 - y')^2 + x_0^2 \right]^{1/2} \sin \zeta \quad (14.3.3)$$

$$\tan \zeta = \frac{x_0}{y_0 - y'} \quad (14.3.4)$$

yazılabilir ve aşındırma hızına bağlı olarak da (14.3.2) ve (14.3.4) den aşağıdaki ifadeler

$$\tan \zeta = \left[\left(\frac{V_T(y')}{V_B} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \quad (14.3.5)$$

$$\text{Sec}\zeta = \frac{V_T(y')}{V_B} \quad (14.3.6)$$

$$\text{Sin}\zeta = \left[1 - \left(\frac{V_B}{V_T(y')} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (14.3.7)$$

Son olarak da (14.3.3), (14.3.1) ve (14.3.7) denklemlerinden

$$x_0 = V_B \left(t - \int_{Q'}^{y'} \frac{dy}{V_T(y)} \right) \left[1 - \left(\frac{V_B}{V_T(y')} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (14.3.8)$$

elde edilir. Yine (14.3.3), (14.3.1) ve (14.3.6) denklemlerinden

$$y_0 = y' + \frac{V_B^2}{V_T(y')} \left(t - \int_{Q'}^{y'} \frac{dy}{V_T(y)} \right) \quad (14.3.9)$$

elde edilir.

Devam etmeden önce şekil-14 den görüleceği gibi $\zeta = 90^\circ - \phi$ olduğuna dikkat edilirse

$$\text{Cos}(90^\circ - \phi) = \text{Sin}\phi = \frac{V_B}{V_T(y')}$$

olur.

Denklem (14.1.2) ile bir karşılaştırma yapıldığında, δ yı y' de iz aşındırma hızına karşılık gelen koni açısı olarak $\phi = \delta$ olduğu görülür ki, buda kritik iz aşındırma oranına karşılık gelen kritik açıdır.

(14.3.8) ve (14.3.9) denklemlerinde $V(y') = V_T(y')/V_B$ ve $h = V_B t$ yazıldığında ve ayrıca Somogyi ve Szalay'ın yaptığı gibi [31].

$$h(y') = V_B \int_0^{y'} \frac{dy}{V_T(y)} = \int_0^{y'} \frac{dy}{V(y')} \quad (14.3.10)$$

koyduğumuzda, (14.3.8) ve (14.3.9) denklemleri böylece daha kısa olarak

$$x_0 = (h - h(y')) \frac{\sqrt{V^2(y') - 1}}{V(y')} \quad (14.3.11)$$

$$y_0 = y' + \frac{1}{V(y')} (h - h(y')) \quad (14.3.12)$$

şeklini alır.

Son basamak olarak, verilen bir $V_T(y')$ için aşınan yüzey kalınlığı h için, aşınmış izin çap genişliği d yi hesaplamak olacaktır.

Bunun için P noktasının son aşınmış yüzey üzerinde olduğunu düşünelim (şekil-14). Bu P noktasına varılabilmesi için aşındırıcının orijinal yüzeyden h kadar aşağı inmesi için geçen süre içinde, aşındırıcının önce iz boyunca V_T değişken hızıyla bir y' mesafesi kadar gitmesi ve daha sonra V_B hızıyla P noktasına varır.

P noktası yüzey açıklığının kenarında olduğu zaman $y_0 = h$ ve $x_0 = d / 2$ dir. Denklem (14.3.12) de y_0 yerine h yazıp sadeleştirilirse

$$h = \frac{y' V(y') - h(y')}{V(V(y') - 1)} \quad (14.3.13)$$

elde edilir. Bu h değeri, denklem (14.3.14) de $d = 2x_0$ olduğu göz önüne alınarak koyulacak olursa

$$d = 2(y' - h(y')) \sqrt{\frac{V(y') + 1}{V(y') - 1}} \quad (14.3.14)$$

bulunur. Buradaki $h(y')$ leri, aşındırıcının iz boyunca y' mesafesini V_B hızıyla gitmesi sırasında aşındırılan yüzey tabakasının kalınlığıdır[31].

Verilen bir $V(y')$ Fonksiyonu için, denklem (14.3.13) de sağ taraf h ye eşit olana kadar y' değerleri alınır. Bu eşitliği sağlayan y' değerleri denklem (14.3.14) de yerine konarak h ye karşılık gelen d hesaplanır. Bu işlem genelde nümerik yapılmak zorundadır. Fakat bu işlem d yi doğru hesaplandığını $V(y') = V = \text{Sabit}$ olduğunda kolaylıkla gösterebiliriz. Bu durumda

$$h(y') = \int_{0'}^{y'} \frac{dy}{V(y)}$$

dan

$$h(y') = y'/V$$

bulunur. Bunu (14.3.13) denkleminde yerine yazarsak

$$h = y' \frac{V+1}{V}$$

veya

$$y' = \frac{hV}{V+1}$$

bulunur. Bu y' ve $h(y')$ değerlerini denklem (14.3.14)de yerine yazarsak

$$d = 2h \sqrt{\frac{V-1}{V+1}}$$

elde ederiz. Bu ise denklem (14.3.13) ile tamamen aynıdır.

BÖLÜM 3

UYGULAMA

3.1. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada Adıyaman ilinin çeşitli semtlerinde 43 evin yatak odası ve oturma odasındaki radon gazı konsantrasyonlarını çeşitli parametrelere bağlı olarak iki kategoride ölçümleri yapılmıştır.

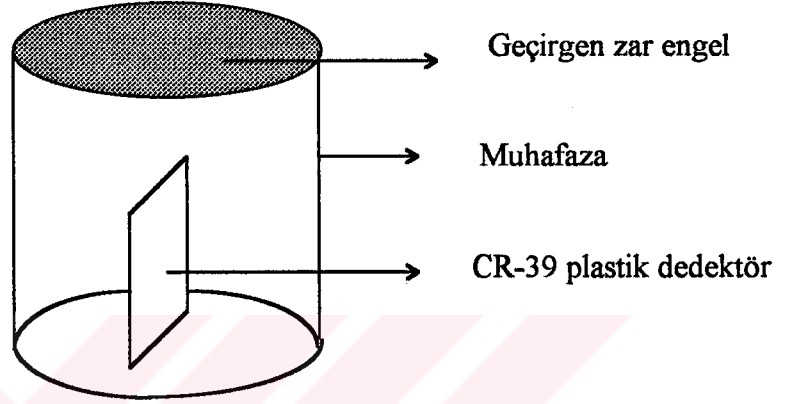
Bu parametreler:

- 1) Odaların yerden yüksekliği
- 2) Odaların havalanma durumu
- 3) Odaların ısınma şekli (kalorifer, soba)
- 4) Yaz ve kış sezonuna bağlı olarak mevsimsel değişimler göz önüne alınmıştır.

Genelde bu evlerin zemin kısımları beton, duvarlar ise tuğla ile yapılmış ve portland çimentosu kullanılarak yapılmış harç ile sıvanmıştır. İstisna olarak 33-34 nolu dedektörlerin yerleştirilmiş olduğu evin yapı malzemesi, zemin hariç diğer yapı elemanlarının tamamı topraktır.

Bu çalışmalarda, dedektör olarak ince yaprak şeklinde olan CR-39 plastiğinden, ebatları 2 x 2 cm ve kalınlığı yaklaşık 2mm olan bir malzeme, özel olarak

yapılmış bir muhafaza kap içerisine dikey halde yerleştirilmiş olarak pasif radon dozimetreleri kullanılmıştır(şekilde 15).



Şekil-15

Dedektörlerin yerleştirilmesi ise evin zemininden yaklaşık olarak 1.5m yüksekliğe ve duvardan 50 cm uzaklıkta bir yere yerleştirilmiştir

Bu şekilde yerleştirilen dozimetreler ilk kategoride 43 eve, yatak odası ve oturma odası olmak üzere ikişer adet, 10. 03. 1994 ile 07. 06. 1994 tarihleri arasında yerleştirilerek toplam 89 gün süre ile radona maruz bırakılmıştır. İkinci kategori olarak yine aynı evlere aynı şekilde yerleştirilen dedektörler, 21. 12. 1994 ile 26. 04. 1995 tarihleri arasında toplam 126 gün radona maruz bırakılmıştır.

Radona maruz bırakılan bu dedektörler toplanarak sıkı bir şekilde muhafaza edilip Çekmece Nükleer Eğitimi ve Araştırma Merkezin'de değerlendirmeleri yapıldı (ÇNEAM).

Dedektörler 17 saat süre ile % 30 luk sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi içerisinde 70⁰ C sıcaklıkta kimyasal aşındırmaya tabi tutularak, dedektör üzerindeki

görünmeyen alfa izleri görünür hale gelmiştir. Daha sonra bir optik mikroskop yardımıyla x400 oranında büyütülerek alfa parçacıklarının yapmış oldukları hasar izleri sayılmıştır.

Dedektörler yerleştirilmeden önce radona maruz kalmış olabilir ve sonuçta yanlış sayım yapılabilir. Bunu önlemek için birkaç numune dedektör, radona maruz kalmaktan korunur. Bu korunan dedektörler diğer maruz kalan dedektörlerle kimyasal işleme tabi tutularak başlangıçtaki iz sayıları yani bacgroundlar hesaplanır. Bulunan bu bacgroundları, maruz kalan dedektör üzerinde sayılan iz sayısından çıkartılarak net iz sayısı bulunur.

Bu sayılan izler birim yüzeydeki iz sayısıdır. Oysaki biz birim hacımdaki aktiviteyi bulmamız gerekmektedir. Bu sayılan iz sayısını aktivite cinsine çevirmemiz için önceden belirlenmiş bir kalibrasyon çarpanına ihtiyaç vardır ki bu değer ÇNEAM tarafından belirlenen $4 \text{ KBq/m}^3 \cdot \text{h/iz}$ sayısıdır.

Dedektörlerin dağıtılması rasgele yapılmış olup ve anket yapılarak ev hakkında (yukarıda bahsedilen parametreler) bilgiler toplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda , bulunan sonuçlar tablolar halinde yazılmıştır.

3.2. Bulgular

Dedektörlerin yüksekliğe göre dağılım tabloları (yaz -1994)

Dedektör No:	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
1	20.4	2.24	38.202±4.194
5	12.6	1.37	23.595±2.565
11	17.2	2.45	32.209±4.588
23	17.9	2.57	33.520±4.812
33	14.7	1.77	27.528±3.314
39	20.7	2.78	38.764±5.205
41	14.5	3.03	27.153±5.674
43	18.6	3.30	34.831±6.179
51	12.8	2.49	23.970±4.662
65	12.8	2.41	23.970±4.513
71	10.8	2.75	20.224±5.149
81	17.8	2.10	33.333±3.932
97	57.5	2.18	108.052±4.082

Tablo-10 Oturma odası zemin kat, 1994 yaz sezonu

Dedektör No:	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
2	15.1	1.44	28.277±2.696
6	15.8	2.28	29.588±4.269
12	23.2	1.55	43.445±2.902
24	12.6	1.81	23.590±3.389
34	14.6	2.12	27.340±3.970
40	13.3	2.67	24.906±5.00
42	16.9	2.40	31.647±4.497
44	11.9	2.76	22.284±5.168
52	18.6	1.86	34.831±3.483
66	11.4	3.10	21.348±5.805
72	11.6	1.37	21.722±2.565
82	12.8	2.27	23.970±4.250
98	64.2	1.26	120.224±2.359

Tablo-11 Yatak odası zemin kat, 1994 yaz sezon

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m3)
15	18.9	1.80	16.666±3.370
21	10.9	1.70	20.411±3.183
27	9.6	1.81	17.977±3.389
31	8.7	2.60	14.606±4.868
35	9.9	1.62	16.666±3.033
37	9.6	1.52	17.977±2.846
61	11.4	3.10	21.348±5.805
75	10.2	2.28	19.101±4.269
77	10.0	2.10	18.726±3.932
91	15.2	2.14	28.464±4.007

Tablo-12 Oturma odası, 1. Kat, 1994 yaz sezonu

Dedektör no:	Net iz sayısı	Standart sapma	Aktivite (Bq/m3)
16	10.5	1.61	19.662±3.014
22	13.8	1.95	25.842±3.651
28	7.2	1.67	13.483±3.127
32	13.7	1.88	25.655±3.520
36	10.6	1.12	19.850±2.090
38	9.9	2.15	18.539±4.026
62	13.0	2.65	24.344±4.962
76	7.8	1.90	14.606±3.558
78	7.5	1.89	14.044±3.539
92	10.2	1.26	19.101±2.359

Tablo-13 Yatak odası 1.kat, 1994 yaz sezonu

Dedektör No:	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
13	6.7	1.66	12.546±3.108
17	6.2	1.41	11.610±2.640
24	7.5	2.68	23.595±5.018
29	10.8	1.79	20.224±3.352
45	20.0	2.10	37.453±3.932
47	12.9	2.69	24.154±3.037
49	11.2	1.32	20.973±2.441
53	7.7	1.93	14.419±3.614
57	10.6	2.29	19.850±4.288
59	17.2	2.36	32.771±4.419
63	9.2	2.83	17.228±5.299
67	7.2	2.28	13.483±4.269
69	8.1	2.33	15.168±4.363
73	7.7	2.10	14.490±2.932
79	5.6	1.75	10.486±3.277
87	6.6	1.57	12.359±2.940
89	5.0	1.36	9.362±2.546
95	15.2	2.42	28.464±4.531
99	10.0	1.74	18.276±3.258

Tablo-14 Oturma odası 2.kat, 1994 yaz sezonu

Dedektör No	Net İz sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
14	5.5	1.48	10.229±2.771
18	10.1	1.90	18.913±3.558
26	15.4	2.16	28.838±4.044
30	7.8	1.42	14.606±2.659
46	10.0	2.20	18.726±4.119
48	10.4	2.12	19.475±3.997
50	9.1	1.80	17.040±3.370
54	10.0	2.29	18.726±4.288
58	11.0	2.24	20.599±4.194
60	9.1	2.41	17.041±4.513
64	9.4	2.02	17.602±3.782
68	11.3	3.96	21.161±4.415
70	6.6	2.30	12.359±6.179
74	8.7	2.52	16.292±4.719
80	4.8	2.10	8.988±3.932
88	10.4	1.86	19.475±4.483
90	13.2	1.61	24.719±3.014
96	9.5	1.67	17.790±3.127
100	5.4	1.98	10.112±3.707

Tablo-15 Yatak odası 2. kat, 1994 yaz sezonu

Binaların havalanma durumuna göre dedektör dağılımları

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
1	14.5	2.24	38.202±4.194
5	12.5	1.37	23.595±2.565
11	17.2	2.45	32.209±4.588
23	17.9	2.27	33.520±4.250
33	14.7	1.77	27.528±3.314
39	20.7	2.78	38.746±5.205
41	14.8	3.03	27.153±5.674
43	18.6	3.36	34.831±6.235
45	20.0	2.10	37.453±3.932
51	12.8	2.49	23.970±4.662
57	11.0	2.24	19.850±4.194
65	12.8	2.41	23.970±4.513
81	17.8	2.10	33.333±3.932
95	15.2	2.42	28.464±4.531
97	57.2	2.18	108.052±4.082
9	11.4	2.10	21.348±3.932

Tablo-16 Az havalandırılan binalar oturma odası, 1994 yaz sezonu

Dedektör No:	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
13	6.7	1.66	12.546±3.108
17	6.2	1.41	11.610±2.640
27	9.6	1.81	17.977±3.389
31	8.7	2.60	14.606±4.868
35	9.9	1.62	16.666±3.033
37	9.6	1.52	17.977±2.246
53	7.7	1.93	14.419±3.614
63	9.2	2.83	17.228±5.299
67	7.2	2.28	13.483±4.269
69	8.1	2.33	15.168±4.363
73	7.7	2.10	14.419±3.932
79	5.6	1.75	10.586±3.277
87	6.6	1.57	12.359±2.940
89	5.0	1.36	9.363±2.546

Tablo-26 17 Çok havalandırılan binalar oturma odası, yaz 1994 sezonu

Dedektörlerin yüksekliğe göre dağılım tablosu(kış 1995)

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
1	33.9	2.24	44.841±2.962
9	39.6	3.09	52.380±4.087
19	32.7	1.80	43.250±2.380
33	70.6	1.44	93.386±1.904
53	30.2	2.05	39.947±2.716
55	28.9	2.15	38.227±2.843
57	78.1	1.41	103.306±1.865
69	42.5	2.06	56.216±2.724
71	39.1	2.03	51.719±2.685
75	47.2	2.60	62.433 ±3.439
77	35.5	2.19	46.957±2.896
87	27.2	1.98	35.987±2.619
89	64.8	4.49	85.714±5.939

Tablo-18 Oturma odası zemim kat, 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart sapma	Aktivite (Bq/m ³)
2	41.1	1.64	54.365±2.169
10	55.1	1.95	72.883±2.579
20	30.3	1.91	40.007±2.526
34	93.1	3.77	123.148±4.986
54	49.4	1.75	65.343±2.314
56	38.4	1.75	50.793±2.314
58	74.5	2.25	98.544±2.976
70	56.5	1.73	74.735±2.288
72	48.3	2.27	63.888±3.002
76	46.1	2.05	60.978±2.716
78	31.0	1.68	41.005±2.222
88	47.2	1.55	62.433±2.050
90	55.5	4.30	73.412±5.687

Tablo-19 Yatak odası zemin kat, 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
5	27.1	1.42	35.486±1.878
17	31.1	1.49	41.137±1.970
25	20.7	1.24	27.380±1.640
31	23.6	1.66	31.216±2.195
39	29.2	1.67	38.624±2.208
41	20.4	1.70	26.984±2.248
47	24.4	2.05	32.275±2.711
67	15.4	1.54	20.037±2.037
81	22.6	1.75	29.897±2.314
91	25.7	1.46	33.994±1.931
99	45.3	2.23	59.920±2.949

Tablo-20 Oturma odası 1.kat, 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
6	20.3	1.53	26.851±2.023
18	38.6	2.50	51.058±3.306
26	21.2	1.55	28.042±2.050
32	26.8	1.26	35.449±2.666
40	36.7	1.77	48.544±2.341
42	26.4	1.70	34.920±2.248
48	28.3	1.50	37.433±1.984
68	23.5	2.08	31.084±2.751
82	24.7	1.32	32.671±1.176
92	20.9	1.62	27.465±2.142
100	47.1	2.40	62.301±3.174

Tablo -21 Yatak odası 1.kat, 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
3	21.0	1.68	27.777±2.222
7	17.8	1.18	23.544±1.560
13	29.0	1.50	38.359±1.984
15	18.2	1.50	24.074±1.984
21	27.9	2.00	36.904±2.645
27	36.7	2.85	48.544±3.769
35	31.1	2.1	41.137±2.777
37	17.9	2.05	23.670±2.711
43	8.4	2.24	11.111±2.962
45	11.2	1.52	14.814±2.010
51	19.7	1.72	26.058±2.275
59	14.3	0.97	18.915±1.216
61	17.3	1.66	22.883±2.195
63	26.2	1.50	34.654±1.987
83	25.5	2.10	33.730±2.277
85	18.4	1.33	24.338±1.759
93	20.2	1.61	26.719±2.129
95	20.0	2.01	26.455±2.658
97	18.8	1.48	24.867±1.957

Tablo-22 Oturma odası 2.kat 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
4	33.0	1.20	43.650±1.587
8	11.7	2.56	15.476±3.386
14	21.2	2.86	28.042±3.783
16	21.3	2.31	28.174±3.055
22	10.4	1.50	13.756±1.984
28	25.0	3.04	33.068±4.021
36	36.2	2.00	47.883±2.645
38	21.3	1.16	28.176±1.534
44	16.6	2.87	21.957±3.796
46	15.3	1.72	20.238±2.275
52	19.8	1.10	26.190±1.455
60	16.6	0.51	21.957±0.776
62	22.9	1.86	30.291±2.440
64	24.9	1.75	32.936±2.314
84	16.2	1.90	21.428±2.513
86	31.1	1.42	41.137±1.878
94	17.3	2.27	22.883±3.002
96	14.5	2.19	19.179±2.896
98	20.1	1.35	26.587±1.785

Tablo-23 Yatak odası 2.kat, 1995 kış sezonu

Binaların yakıt sistemine göre dedektör dağılım tabloları

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite (Bq/m ³)
1	33.9	2.24	44.841±2.962
3	21.0	1.68	27.777±2.222
5	27.1	1.42	35.846±1.878
17	31.1	1.49	41.137±1.970
25	20.7	1.24	27.380±1.640
33	70.6	1.44	93.386±1.904
37	17.9	2.05	23.670±2.716
39	29.2	1.67	38.624±2.208
43	8.4	2.24	11.111±2.966
45	11.2	1.52	14.814±1.010
55	28.9	2.15	38.227±2.843
57	78.1	1.41	103.306±1.865
59	14.3	0.97	18.915±1.283
61	17.3	1.66	22.883±2.195
75	47.2	2.60	62.433±3.439
77	35.5	2.19	46.957±2.896
81	22.6	1.75	29.894±2.314
85	18.4	1.33	24.338±1.749
87	27.2	2.27	35.978±3.002
93	20.2	1.61	26.719±2.129

Tablo-24 Oturma odası kömür sobalı, 1995 kış sezonu

Dedektör No	Net İz Sayısı	Standart Sapma	Aktivite(Bq/m ³)
9	39.6	3.09	52.380±4.087
19	32.7	1.80	43.250±2.380
27	36.7	2.85	48.544±3.769
31	23.6	1.66	31.216±2.195
51	19.7	1.72	26.058±2.314
53	30.2	2.05	39.947±2.716
71	39.1	2.03	51.719±2.685
91	25.7	1.46	33.994±1.931
95	20.0	2.01	26.455±2.658
97	18.8	1.48	24.867±1.957
99	45.3	2.23	59.920±2.949

Tablo-25 Oturma odası kaloriferli, 1995 kış sezonu

3.3. Alt ve Üst Kat Değişimi

Yaz 1994 sezonu tablolarına bakıldığında dedektörlerin yüksekliğe göre yerleştirilmesinde, zemin katta bulunan oturma odalarının ortalama aktivitesi 35.103 Bq/m^3 , yatak odalarının aktivite ortalaması 34.859 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yüksek katlarda (2. katta), oturma odaları için 18.784 Bq/m^3 , yatak odaları ise 17.513 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Yine aynı şekilde kış 1995 sezon sonuçlarına bakıldığında, zemin katta bulunan oturma odaları aktivite ortalaması 58.027 Bq/m^3 dir. ikinci kat oturma odası aktivite ortalaması 27.818 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Tüm ölçüm sonuçlarına bakıldığında zemin kat ile 2. kata bulunan oturma odaları ile yatak odaları arasında çok büyük fark olduğu görülmektedir. Radon ve radon ürünleri konsantrasyonları, yer yüzünden yukarılara çıktıkça azalmaktadır. Nedeni ise bilindiği gibi radon havadan daha ağırdır.

3.4. Havalanma Durumuna Göre Değişim

Havalanma durumları göz önüne alındığında (yaz 1994 sezonu için) az havalanan tüm evlerin oturma odalarının (yerden yüksekliğe bakılmaksızın) ortalama aktivitesi 34.512 Bq/m^3 , çok havalanan tüm evlerin oturma odalarının ortalama aktivitesi ise 14.172 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Odalar arasında farklı değerlerin çıkması radon gaz olduğuna göre küçük bir hava akımında kolaylıkla taşınacaktır.

Yaz 1994 sezonu için yapılan tüm ölçüm ortalamaları, oturma odaları için 23.586 Bq/m^3 , yatak odaları için 23.927 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında odalar arasında pek büyük fark görülmemektedir. Bunun pek farklı farklı olmamasının nedeni ise, odaların her ikisinde aynı şartlar altında havalanmasıdır. Sıcak bölgelerde evlerin, çoğu kısmı açık olduğundan ev içerisinde radon birikimi olmayacaktır. UNSC report 1977 [34]

Kış 1995 sezonunda tüm oturma odaların ortalama aktivitesi 39.439 Bq/m^3 , yatak odaları ortalama aktivitesi ise 44.712 Bq/m^3 dür. Farklı olmasının nedeni ise , kış aylarında insanlar genellikle pencere ve kapıları kapalı tutarak ev içinin havalanmasını önlerler. Böylece içeride radon birikimi artmasına neden olacaktır. Bu ise UNSC report 1977 tarafından yayınlanan bildiriye paralellik göstermektedir.

3.5. Binaların Isınma Şekli (yakıt durumuna göre)

Kış 1995 sezonu için kömür sobalı evlerin oturma odalarındaki ortalama aktivite 38.412 Bq/m^3 , kaloriferli evlerin oturma odaların ortalama aktiviteleri ise 39.850 Bq/m^3 .olarak ölçülmüştür. Bu iki değer arasında pek bir farkın olmadığı görülmektedir

3.6. Yaz ve Kış Mevsimlerine göre Değişim

Yaz 1994 sezonu için tüm yatak odaları ve oturma odaları ortalama radon ve ürünleri aktivite ortalaması 24.303 Bq/m^3 , kış 1995 sezonu için yatak odaları ve oturma odaları için ortalama aktivite ise 41.909 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında kış 1995 sezonu, yaz 1994 sezonundan yaklaşık olarak 2 kat daha fazla görülmektedir.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), evlerdeki radon konsantrasyonlarına bir sınırlama getirmiştir. Bu sınır değeri ,yıllık olarak 400 bq/m^3 dür bu ise eylem seviyesidir. Bu değer % 6 lık kanser riski taşımaktadır.

Yukarıda tablo olarak ifade edildiği gibi Adıyaman ilinde en yüksek değer 120 Bq/m^3 ,en düşük değeri ise 8.988 Bq/m^3 dür.

Değerler karşılaştırıldığında eylem seviyesinin altında bir değer görülmektedir. Bu değer insan sağlığı açısından her hangi bir risk taşımamaktadır.

ÖZET

Adıyaman ilinde., evlerde radon ve radon ürünleri konsantrasyonları ölçümleri, Pasif yöntem denilen plastik esaslı nükleer iz dedektörleri kullanılarak yapılmıştır. Ticari adı CR-39 olan nükleer iz dedektörleri, bir plastik kap içerisine konuldu ve ağzı geçirgen bir zarla kapatıldı. Bu şekilde hazırlanmış olan dedektörler, yaz 1994 ve kış 1995 mevsimlerinde iki kategoride dağıtıldı ve radona maruz bırakıldı.

Sonra bu dedektörler değerlendirmek için toplandı ve “Kimyasal İz Kazıma” yöntemiyle izlerin mikroskop altında görünmesi sağlandı.

Görünen bu izler mikroskop altında sayılarak dedektör üzerindeki ortalama net iz sayısı bulundu. Bu sonuçlar kalibrasyon çarpanı ile çarpılarak radon aktiviteleri bulundu.

Bulunan bu değerler Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından belirlenen değerlerle karşılaştırıldı.

SUMMARY

The concentration measurements of radon and radon products in Adıyaman province were carried out with plastic based nuclear trace detector known as passive method nuclear trace detectors commercially known as CR-39 were placed in a plastic container and covered with a permeable membrane. The detectors prepared like that were disturbed in summer and winter 1994 and subjected to radon.

The detectors were later collected back to evaluate the results and the traces were made visible under microscope using a technique which is called "Chemical Trace Scratching".

The net trace numbers were counted under microscope . These number were multiplied with calibration constant to determine radon activities

These values were compared with the values determined by International Committed of Radiation Protection (ICRP).

KAYNAKLAR

- 1- AKHTAR, K., 1989. A Study of Radon Level in Buildings, MSC Thesis.
- 2- Ali, A., DURRANI, S. A., 1977. Etched Track Kinetics in İsotropic Dedectors, Nuclear Tracks Dedection, 1,107-121.
- 3- Anonim, September 1979. Radiation;A Fact of Life; International Atomic Energy Agency;Vienna.
- 4- Anonim.1980. FastBreeders; INFCE Report of Working Group; IAEA: 25-29
- 5- Anonim, 1982. UNESCEAR Report, Exposures to Radon and Thoron and Their Decay Products, Annex D.
- 6- ÇELEBİ, G., 1989. Tıp ve Diş Hekimliği Öğrencileri İçin Biyofizik, Ege Ün. Tıp Fak.,508.
- 7- DARTYGE, E., DURAUD, J.P., LANGENİN, Y., MAURETTE, M. 1981. New Model of Nuclear Perticle Tracks in Dielectric Minerals, Phys. Rev. B 23, 5213.
- 8- DOİ, M., KOBAYASHI, S., March 1994. Characterization of Japanese Wooden Houses Wit Enhanced Radon and Thoron Concentrations, Health Phys., 66, 3., 274 - 282.
- 9- DUGGAN, J. L., Laboratory Investigation in Nuclaer Secience, Oak Ridge, USA, 1981.
- 10- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B., 1964. Glass Dating by Fission Fragment Track, j, Geophys. Res. 69, 331-339.
- 11- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B., WALKER, R. M., 1965. The Lon Explosion Spike Mechanism for Formation of Ceharged Particles Track in Solids, J. Appl. Phys, 36, 3645-3652.

- 12- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B., WOODS, R. T., 1969. Nuclear Particle Tracks Identification in İnorganic solids, Phys. Rev., 88, 563-567.
- 13- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B., WALKER, R. M., 1975, NUCLEAR TRACKS IN SOLIDS, Principles and Applications, University of California Press.
- 14- FLEISCHER, R. L., GIARD, W.R., MOGRO-CAMPERO, A., TURNER, L.G., ALTER, H.W., GINGRICH, C.E., 1980. Dosimetry of Environmental Radon, Health Phys., 39, 957- 962.
- 15- FLEISCHER, R. L., 1988. Alpha Recoil Damage Relation to İsoptic Disequilibrium and Leaching of Radionuclids, Geochim. Cosmochim. Acta. 52, 1459-1466
- 16- FLEISCHER, B. E., SPOHR, R., October 1993. Nuclear Tracks, Rev. Mod. Phys., 55, 907-948.
- 17- GROFDON, D., CHASE, PH. D., FOSPH, L., Principles of radioisotope Methodology, Mineapolis, 1963.
- 18- HASSIB, G. M., PIESCH, E., MASSERA, G. E., 1979. Electrochemical Etching of Alpha Particles in Polycarbonates and Applications, Prof. Internat Conf. on Solid State Track Detectors, Lyon.
- 19- HEARLEY, J. H., 1953. Sampling and Measurement of Airborne Daughter Products of Radon. Nucleonics, 11, 12-15.
- 20- HENKE, R. P., BENTON, E.V., 1971. On Geometry of Tracks in Dielectric Nuclear Tracks Detectors, Nuclear Instrumental Methods., 97, 483-489.
- 21- KENNETH S. Krane Modern Phys.
- 22- KÖKSAL, E. M., ÇELEBİ, N., KIYAK, N., AŞCI, M. 1992. CR-39 Nükleer İz Dedektörleri İçin Çok Hücreli Elektrokimyasal İz Kazıma Sistemi. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- 23- LAWRENCE, E. P., WANTY, R. B., NYBERG, P., february 1992. Contribution of ^{222}Rn in Domestic Water Supplies to ^{222}Rn in Indoor Air in Colorado Homes, Health Phys., 62, 2, 171-177.
- 24- LITTFIELD, T. A., THORLY, N., Atomic and Nuclear Phys., London 1963.

- 25- OLLERHEAD, R. W., BOTTIGER, J. A., L'ECUYER, J., HAUGEN, H.K., 1980. Evidence For a Thermal Spikes Mechanism in The Erosion of Frozen Xenon. Radiation Effect. 49, 203.
- 26- ÖZDEN, N., 1983. Nükleer Çağın İlk 40 yılı, İ.T.Ü. 636.
- 27- PAPASTEFANOU, C., STOULS, S., MANOLOPOULOU, M., IONNIDOU, A., CHARAIAMBOUS, S., March 1994. Indoor Radon Concentrations in Greek Apartment Dwellings, Health Phys., 66, 3., 270-273.
- 28- ÜNLÜ, G.R., Mart 1992. Radon ve Radon Ürünlerinin Kapalı Ortamlarda Belirlenmesi Çalışmaları, Ç.Ü. Adana, 90.
- 29- SUGAN, L., Radiation and Human Health Department, 1980.
- 30- SOMOGYI, G., SZALAY, S.A., 1973. Track Diameter Kinetics in Dielectric Track Detectors, Nucl. Instrum. Meth. 109, 211-213.
- 31- SOMOGYI, G., HUNYADI, I., HAFEZ, A.F., ESPINOSA, G., 1984. A New Possibility for High Resolution Spectroscopy of Nuclear Particles Entering CR-39 at Selected Dip Angles, Nuclear Tracks and Radiation Measurement, 8, 1-4, 163-166.
- 32- URBAN, M., PIESCH, E., 1981. Low Level Environmental Radon Dosimetry With a Passive Track Etch Detector Device Radiation Protection Dosimetry, 1., 2., 97-109.
- 33- UNSC Report, 1977. United Nations Source and Effects of Ionizing Radiation,
- 34- YARAMIŞ, B., 1985. Nükleer Fizik, İ.T.Ü. 636.

TEŐEKKÜR

Bana bu tez çalıŐma konusunu veren , çalıŐmalarım sűresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Adnan Kűűkűnder'e saygı ve teŐekkűrlerimi sunarım. Ayrıca tez çalıŐmalarımı destekleyen ekmece Nűkleer AraŐtırma ve Eėitim Merkezi Saėlık Fiziėi Bűlűmű'nde alıŐan Muhsin Kűksal ve Berna Őzınar'a, K. S. Ő. AraŐtırma Fonuna, tezimin yazılmasında yardımcı olan Abdurrahman etin'e ve yardımcı olan diėer tűm araŐtırma gűrevlisi arkadaşlara teŐekkűr ederim

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve soyadı : Kani ARICI

Baba adı : Ali

Ana adı : Ayşe

Doğum yeri : Adana

Doğum tarihi : 20. 12. 1963

İlk orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. Yüksek öğrenimini Ankara Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünde tamamladı. 1993 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fizik Bölümüne araştırma görevlisi olarak girdi ve halen bu görevinde devam etmektedir.