

**ISPARTA BÖLGESİNDEKİ
DOĞAL FON (BACKGROUND)
RADYASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ**

Zeliha SEVIN

**Yüksek Lisans Tezi
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2004**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISPARTA BÖLGESİNDEKİ DOĞAL FON (BACKGROUND)
RADYASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ**

ZELİHA SEVİN

Danışman Yrd. Doç. Dr. Iskender AKKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2004

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TESEKKÜR.....	v
SEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
1. GİRİS	1
1.1 Atomun Yapisi	1
1.2 Atom Çekirdegi ve Özellikle ri	1
1.3 İzotoplar	4
1.3.1 Kararlı İzotoplar	5
1.3.2 Kararsız İzotoplar	6
1.3.3 Yapma (Suni) İzotoplar	7
1.4 Radyoaktivite	7
1.4.1 Radyoaktif Parçalanma Kanunu.....	7
1.4.2 Radyoaktif Isınlar	10
1.4.2.1 Alfa (α) Isınları	11
1.4.2.2 Beta (β) Isınları	12
1.4.2.3 Gama (γ) Isınları.....	13
1.4.2.4 Nötronlar	16
1.4.2.5 Radyoaktif Seriler	18
1.4.3 Radyasyon Doz Birimleri.....	20
1.4.3.1 Aktivite Birimleri.....	21
1.4.3.2 Doz Birimleri.....	21
1.5 Radyasyon Kaynakları	23
1.5.1 Yapay Radyasyon Kaynakları.....	23
1.5.2 Doğal Radyasyon Kaynakları.....	23
1.5.2.1 Karasal Radyasyon.....	24
1.5.2.2 Kozmik Isınlar	26
1.5.2.3 Yüzeğe Yakın Atmosferde Bulunan Kozmogeenik Radyonüklidler ve Bunların Yıllık Etkin Doz Esdeğerine Katkıları	32

1.5.2.4 Kozmik Isinlar Nedeniyle Alinan Dozun Diger Kaynaklarla Karsilastirilmesi	33
1.5.2.5 Kozmik Isinlarin İçerdigi UV Radyasyonunun Etkileri.....	34
1.5.2.6 Kozmik Radyasyonlarin Havadaki Absorblanmis Doz Oranlari.....	38
1.6 Isparta'nin Dogal Yapisi	39
1.6.1 Yeryüzü Sekilleri.....	39
1.6.2 Daglar.....	40
1.6.3 Toprak Yapisi.....	40
1.6.4 Iklim	42
2. MATERYAL VE METOD	44
2.1 Radyasyonun Madde Ile Etkilesimi	44
2.1.1 Fotoelektrik Olay.....	45
2.1.2 Compton Olayi	47
2.1.3 Çift Olusumu	48
2.2 Radyasyon Ölçme Cihazlari.....	48
2.2.1 Alan Ölçüm Cihazlari.....	49
2.2.1.1 Gazli Alan Ölçüm Cihazlari.....	49
2.2.1.2 Sintilasyon Detektörleri.....	52
2.2.1.3 Kati-Hal Detektörleri.....	55
2.2.2 Kisisel Doz Ölçüm Cihazlari.....	56
3. DENEYSEL ÇALISMA VE SONUÇLAR	59
3.1 Gölcük	60
3.1.1 Gama Radyasyonu.....	60
3.2 Davraz	63
3.2.1 Gama Radyasyonu.....	63
3.2.2 a/ β Radyasyonu Sonuçlari.....	71
4. TARTISMA	73
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMIS	77

ÖZET

Bu çalışmada Isparta'nın Gölcük ve Davraz bölgelerindeki doğal radyasyon miktarları ölçülmüştür. Ölçümler, Eberline firması tarafından üretilmiş olan, ASP/2e model sayıcı ile, γ -radyasyonu için NaI(Tl) probu ve α/β -radyasyonu için plastik sintilatör detektörü kullanılarak yapılmıştır. Tez toplam dört bölümdür. Birinci bölümde radyasyon ile ilgili temel bilgiler verilmiş olup, ikinci bölümde radyasyonun madde ile etkileşimi ve ölçüm metotları tartışılmıştır. Üçüncü bölümde, ölçümlerin yapıldığı deneysel çalışmalar ve sonuçlar verilmiştir. Son bölüm ise, sonuçların yorumlandığı tartışma bölümüdür.

ANAHTAR KELİMELER: Doğal radyasyon, α , β , γ -isini, detektör.

ABSTRACT

In this work background radiation have been measured in Golcuk and Davraz region of Isparta. The measurement have been performed using ASP/2e model counter produced by Eberline and NaI(Tl) probe was used for γ -radiation while plastic scintillator was used for α/β -radiation measurements. This thesis contain four chapter. In first chapter basic information about radiation were given. In second chapter interaction of radiation with a matter and radiation measurement methods were discussed. In third chapter experimental works and the results were given. In the last chapter the results were interpreted.

KEYWORDS: Background radiation, α , β , γ -rays, detector.

TESEKKÜR

3 yıl önce başladığım yüksek lisans çalışmalarımın sonuna gelmiş bulunmaktayım. Oldukça yoğun geçen bu sürecin nihayetinde hazırlamış olduğum tezimde bana yol gösteren, destek veren ve yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarima tesekkürü bir borç bilirim.

Özellikle ölçümlerimin yapılmasından tezimin yazımına kadar her asamada yardımlarını esirgemeyen danismanım Yard. Doç. Dr. Iskender AKKURT'a, tüm ölçümlerimde kar kis demeden bana yardım eden Yard. Doç. Dr. Abdullah KAPLAN'a, tesekkür ederim.

Mesai arkadaşlarım Ars.Gör.Osman SAHIN'e ve Ars.Gör.Sükrü ÇAKMAKTEPE'ye ayrıca tesekkür ederim.

Gece gündüz demeden benimle her sikintimi yürekten paylasan, ihtiyaç duyduğum her an bir nefes kadar yakınımda bulduğum sevgili esim Prof. Dr. Güven SEVIN'e en içten hislerimle tesekkür ederken, sevgili kızımız Bahar'imiza da hos geldin demek istiyorum.

Ve siz sevgili ailem, minnettarlığın en büyüğünü hakeden sizlersiniz. Sevgili babam, annem ve kardesim; sabriniz, desteginiz ve sevginiz için sonsuz tesekkürler. İyi ki varsınız, sevgilerimle...

Temmuz 2004

Zeliha SEVIN

SEKILLER DIZINI

	Sayfa
Sekil 1.1 Nükleon basına bağlanma enerjisinin çekirdeklerin A kütle numaralarına göre değişimi.....	3
Sekil 1.2 Hidrojen ve izotopları olan deuteriyum ve trityum.....	5
Sekil 1.3 Kararlı ve kararsız çekirdeklerin nötron-proton diyagramı.....	6
Sekil 1.4 Radyoaktif bir çekirdeğin yarı ömürlerine bağlı olarak bozunumu.....	9
Sekil 1.5 Magnetik alanda alfa, beta ve gama ışınlarının sapmaları.....	10
Sekil 1.6 Radium (Ra^{226}) ve Iyot (I^{131}) çekirdeklerinin α - γ ve β - γ bozunmaları.....	14
Sekil 1.7 İzomer çekirdekler (metastabil hal) ve radyoaktif bozunmaları...	15
Sekil 1.8 Elektromagnetik ışınların spektrumunu gösteren sema.....	16
Sekil 1.9 Elektromagnetik spektrum.....	26
Sekil 1.10 Farklı jeomagnetik enlemlerdeki iyon yoğunluklarının yükseklik ve atmosfer derinliklerine göre değişimleri.....	29
Sekil 1.11 Farklı tipteki radyasyonların dünya yüzeyine nüfuz ediş biçimi..	31
Sekil 1.12 Kozmik ışınların farklı yükseklik ve enlemlerde havadaki absorblanmış doz oranları.....	39
Sekil 2.1 Fotoelektronların kinetik enerjisinin ışığın n frekansına göre değişimi.....	47
Sekil 2.2 Compton olayı.....	48
Sekil 2.3 Farklı voltaj bölgelerinin sematik gösterimi.....	50
Sekil 2.4 Çeşitli çevresel örnekler ve farklı geometrilere NaI(Tl) detektörü.....	54
Sekil 3.1 Eberline ASP/2e radyasyon sayacı.....	59
Sekil 3.2 HP380AB α/β probu	59
Sekil 3.3 Gölcük bölgesinde Kasım ayı için alınan değerler.....	61
Sekil 3.4 Gölcük bölgesinde Aralık ayı için alınan değerler.....	61
Sekil 3.5 Gölcük bölgesinde Ocak ayı için alınan değerler.....	62

Sekil 3.6	Gölcük bölgesinde Subat ayi için alınan degerler.....	62
Sekil 3.7	Gölcük bölgesinde Mart ayi için alınan degerler.....	63
Sekil 3.8	Davraz bölgesinde Kasim ayi için alınan degerler.....	64
Sekil 3.9	Davraz bölgesinde Aralık ayi için alınan degerler.....	64
Sekil 3.10	Davraz bölgesinde Ocak ayi için alınan degerler.....	64
Sekil 3.11	Davraz bölgesinde Subat ayi için alınan degerler.....	65
Sekil 3.12	Davraz bölgesinde Mart ayi için alınan degerler.....	65
Sekil 3.13	Davraz ve Gölcük için 1100 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	66
Sekil 3.14	Davraz ve Gölcük için 1200 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	66
Sekil 3.15	Davraz ve Gölcük için 1300 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	67
Sekil 3.16	Davraz ve Gölcük için 1400 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	67
Sekil 3.17	Davraz için 1300 metrede yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	68
Sekil 3.18	Gölcük için 1300 metrede yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	68
Sekil 3.19	Davraz ve Gölcük için Kasim ayindaki radyasyon dozunun yükseklikle degisimi.....	69
Sekil 3.20	Davraz ve Gölcük için Aralık ayindaki radyasyon dozunun yükseklikle degisimi.....	69
Sekil 3.21	Davraz ve Gölcük için Ocak ayindaki radyasyon dozunun yükseklikle degisimi.....	70
Sekil 3.22	Davraz ve Gölcük için Subat ayindaki radyasyon dozunun yükseklikle degisimi.....	70
Sekil 3.23	Davraz ve Gölcük için Mart ayindaki radyasyon dozunun yükseklikle degisimi.....	71
Sekil 3.24	Gölcük ve Davraz için 1100 metrede, yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre degisimi.....	72

TABLOLAR DIZINI

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1 Birimler ve çevirme faktörleri.....	3
Tablo 1.2 Bazı doğal radyoaktif elementlerin yarı ömürleri.....	9
Tablo 1.3 Tabii radyoaktif Toryum-232 serisinin Z, N diyagramları.....	20
Tablo 1.4 Tüm radyasyon birimleri ve dönüştürme tablosu.....	22
Tablo 1.5 Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörleri.....	23
Tablo 1.6 İnsan popülasyonunun maruz kaldığı radyasyon kaynakları..	24
Tablo 1.7 1994 yılı içinde ÇNAM’de havada ölçülen radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları.....	32
Tablo 1.8 Vücuda uygulanan terapilerle alınan yaklaşık dozlar.....	33
Tablo 2.1 Radyasyon deteksiyonunda kullanılan bazı sintilatörlerin özellikleri.....	53
Tablo 3.1 α/β detektörünün temel özellikleri.....	60
Tablo 4.1 Radyasyon çalışanları ve toplum üyesi kişiler için doz sınırları.....	73

1. GIRIS

1.1 Atomun Yapisi

Atom, maddenin aynı karakteri taşıyan ikinci bir parçaya bölünemeyen en küçük birimi olarak tanımlanır. Atomun merkezinde, yoğun bir kütle yer alır ve buna atomun çekirdeği denir. Bu çekirdek pozitif elektrik yüküne sahiptir ve çevresinde, çeşitli yörüngelerde dolan negatif yüklü elektronlar bulunmaktadır. Atom bütünü ile güneş sistemine benzetilebilen fakat çok küçük boyutlarda bir sistemdir.

Atomun kütlesi, çekirdekteki proton ve nötronların kütleleri toplamına eşit kabul edilir. Elektronlar çekirdeğin çevresinde, K, L, M, N,... gibi isimlerle adlandırılan değişik uzaklıklardaki yörüngelerde dolanırlar. Atomun çekirdeğinin etrafındaki yörüngelerde dolan elektronların sayısı, merkezden dış doğru sıralanmak üzere 2,8,18,32,... sayıları ile verilmektedir. Bir atomu oluşturan temel parçacıklar ile ilgili temel büyüklükler Tablo 1’de verilmistir.

1.2 Atom Çekirdeği ve Özellikleri

Atomun merkezinde yer alan yoğun kütleyle ‘atomun çekirdeği’ denir. Atom çekirdeğinde bulunan protonlar, elektronun yüküne eşit fakat zıt işaretli, yani pozitif elektrik yüklü parçacıklardır. Kütleleri ise 1,00728 akb (atomik kütle birimi)’dir. $1\text{akb}=1,67\times 10^{-24}\text{gr}$ değerindedir (Tablo 1).

Çekirdekte bulunan diğer parçacıklar ise nötronlardır. Bu parçacıklar yüksüz, yani elektrik yükü olmayan parçacıklardır. Kütleleri protonun kütesinden biraz büyük olup, 1,00867 akb’ye eşittir (Tablo 1).

Atom çekirdeğinin temelini oluşturan proton ve nötronlar ki bunların her birine nükleon denilir, her elementte farklı sayılarda bulunurlar. En basit element olan Hidrojenin çekirdeğinde sadece bir proton vardır. Genel olarak ifade edilecek olursa atom çekirdeğinde Z sayıda proton ve N sayıda da nötron bulunduğu kabul edildiğinde, Z’ye atom numarası, N’ye de nötron sayısı denir. Çekirdekdeki toplam

proton ve nötron sayısı ise A ile gösterilir ve $A=Z+N$ olarak verilir. A 'ya 'atomik kütle numarası' veya sadece 'kütle numarası' denir. Eğer herhangi bir çekirdeği X ile gösterecek olursak tam bir sembolik ifadesi ${}_Z X^A$ şeklindedir.

Çekirdeğin Yüğü

Çekirdek, içinde bulunan proton sayısı kadar pozitif 'e' elektron yüküne sahiptir, diğer bir deyişle çekirdeğin yükü 'Ze' dir ve pozitif işaretlidir. Nötronlar 'nötr' parçacıklar olduğundan çekirdeğe herhangi bir elektrik yükü getirmemektedir. Böylece pozitif Ze yüklü bir çekirdek ve elektron tabakalarının verdiği negatif Ze yükleri ile atom, tümü ile nötral (iyonlaşmamış) bir sistemdir.

Çekirdeğin Yarıçapı

Atom çekirdeğini yaklaşık olarak R yarıçaplı bir küre gibi düşünebiliriz. Bu yarıçap;

$$R=R_0 A^{1/3}$$

formülü ile verilmektedir. Burada A , atomik kütle numarası ve R_0 değeri 1,2-1,4 Fermi olan bir sabittir.

Çekirdeğin Kütlesi

Çekirdeğin kütlesinin kendisini oluşturan proton ve nötronların kütleleri toplamına eşit olması gerekir gibi düşünülürse de, çekirdeğin kütlesi, onu meydana getiren parçacıkların serbest haldeki kütleleri toplamından küçüktür. Eğer A kütle numaralı çekirdeğin atomik kütlesi M ise, yani Z numaralı atomun kütlesi A ise (elektron ile birlikte) ve proton kütlesi yerine de nötral Hidrojen atomunun kütlesi alınır, ΔM kütle farkı;

$$\Delta M= ZM_H + NM_n - M$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada ağırlıklara dahil olan elektronların kütlesi birbirini götüreceğinden sonucu etkilemez. Yukarıdaki formül ile verilen kütle farkı, çekirdeği

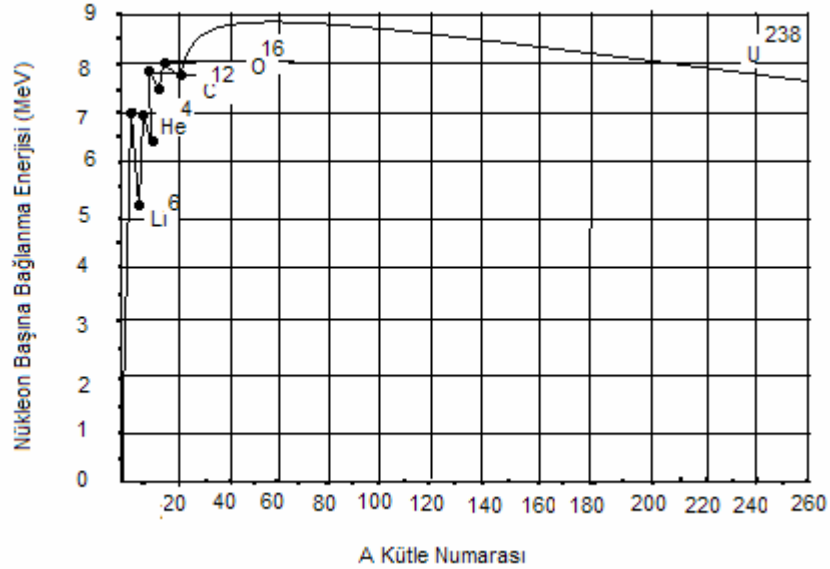
meydana getiren nükleonların, bir arada durmasını sağlayan bağlanma enerjisine dönüşmüştür ve

$$E_B = \Delta Mc^2$$

şeklinde yazılabilir. Kütle farkları çekirdeği tanımlayan önemli karakteristiklerdir. Bağlanma enerjisi çekirdeklerin türüne göre farklılıklar gösterir. Çekirdekte her bir nükleon başına düşen bağlanma enerjisi miktarı ise E_B/A 'dir ve bağlanma enerjisi diyagramı Şekil 1.1'de görülmektedir. Burada görüldüğü gibi, hafif çekirdekler için 1.2 MeV'den başlayarak 20 kütle numaralı çekirdeklere doğru 8 MeV'e yaklaşır ve 40-80 numaralı çekirdeklere doğru azalarak 7.5 MeV'e düşer.

Tablo 1.1 Birimler ve çevirme faktörleri

	Yük	Kütle
Proton	$1,6021 \times 10^{-19}$ Coulomb	1.00728 akb
Nötron	-	1.00867 akb
Elektron	$1,6021 \times 10^{-19}$ Coulomb	9.1091×10^{-28} gr



Şekil 1.1 Nükleon başına bağlanma enerjisinin çekirdeklerin A kütle numaralarına göre değişimi

Çekirdegin Yogunlugu

Çekirdegin yogunlugu atomun A kütle numarasından bagimsiz olup, yaklasik $2 \times 10^8 \text{ ton/cm}^3$ civarındadır. Bu çok büyük bir yogunluktur. Tabiatta gözlenebilen madde yogunluklari bu degerden milyarlarca defa daha küçüktür. Bunun açıklaması, atom çekirdeginin, madde uzayında çok küçük yer kaplamasıdır. Atom, elektron tabakalari ile bir bütün olarak göz önüne alındığında, elektronlar ile çekirdek arasında kendi büyüklükleri ile kıyaslanırsa büyük uzakliklar bulunduğu anlamına gelir. Maddenin diger atomlarının da birbirlerine göre durumları düşünülürse en yogun maddenin bile atom çekirdekleri arasında büyük bosluklar olduğu sonucu ortaya çıkar. Böylece maddelerin yogunluklarının bilinen degerler boyutunda nasıl olduğu anlaşılmis olur.

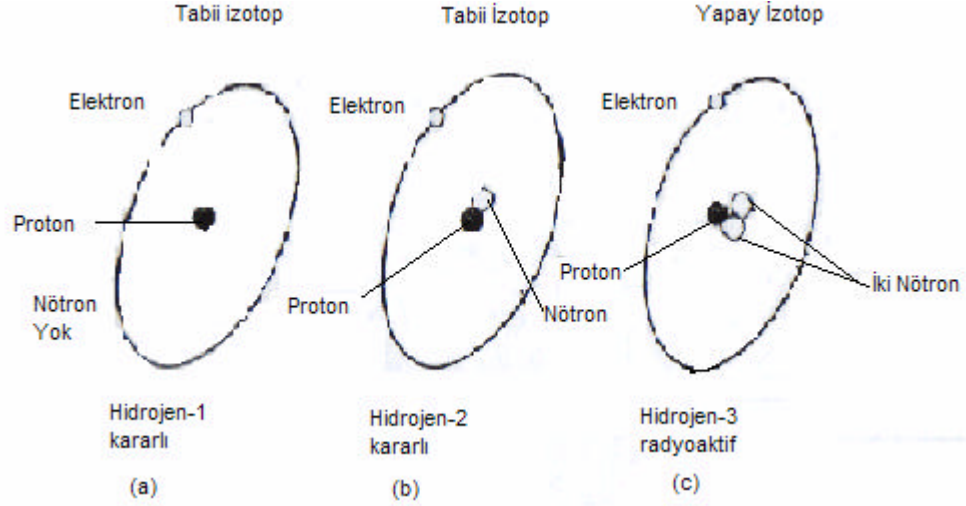
1.3 Izotoplar

Atom çekirdekleri, elektron sayilari kadar protona sahip olmalarına rağmen aynı cins atomlar için nötron sayilari farklı olabilir. Böyle proton sayilari aynı nötron sayilari farklı çekirdeklere ‘izotoplar’ denir. Izotoplara örnek olarak en basit element olan Hidrojen çekirdeğini verebiliriz. Bu atomun çekirdeğinde bir proton vardır (Sekil 1.2 (a)). Hidrojenin bir izotopu olan ağır Hidrojen dediğimiz Döteryumun (2_1H) çekirdeğinde bir proton ve bir nötron bulunmaktadır (Sekil 1.2 (b)).

Diger bir Hidrojen izotopu olan Trityum (3_1H) çekirdeğinde ise bir proton ve iki nötron bulunur (Sekil 1.2(c)).

Trityum tabii olarak bulunmaz. Ancak izotop yapma yöntemi ile suni olarak olusturulur. Genel halde verilen bir elementin bir izotopunun diger izotoplarından ayirt edilebilmesi için aynı sembolde kütle numarası da belirtilir. Örneğin 238 numaralı Uranyum izotopu, Uranyum-238, U-238 veya ${}^{238}U$ şeklindeki gösterimlerden herhangi biri ile ifade edilebilir.

Elementleri izotopik karisim oranlari birinden ötekine farklılık gösterir. Örneğin bakir elementi için izotopik karisim yüzdesi Cu-63 %69,1 ve Cu-65 %30,9 seklinde olusmustur. Tabiatta 346 kadar farklı izotop bulunduğu tespit edilmiştir.



Sekil 1.2 Hidrojen ve izotoplari olan doteryum ve trityum

Flor ve altin elementlerinin sadece birer tane izotopu bulunmaktadır, fakat kalay elementinin on izotopu vardır. Böylece elementlere ait izotop sayıları birden ona kadar değişebilmektedir. Yüz bes civarında element olduğu düşünülürse her elemente ortalama üç izotop düşüyor demektir. Tabiatta bulunan elementlerin izotopik yüzdesi her bir element için sabittir.

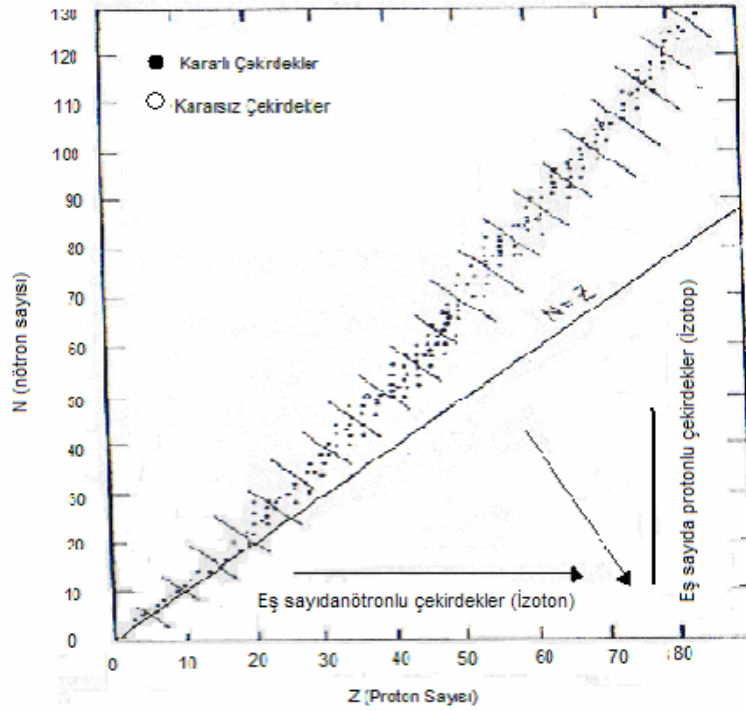
1.3.1 Kararlı İzotoplar

Kararlı izotoplar üzerlerinde herhangi bir fazla enerji bulunmayan ve zaman içinde kendiliklerinden değişmeye uğramayan çekirdeklerdir. Tabiatta bulunan elementlerin çoğu iki veya daha fazla kararlı izotop içerir. Bunlar kimyasal olarak gerçekte ayırt edilemezler fakat kütle numaraları ve atom ağırlıkları farklıdır. Hafif çekirdeklerde nötron sayısının proton sayısına oranı yaklaşık biridir. Periyodik cetvelde hafif elementten ağır elemente doğru gidildikçe bu oran büyür (Sekil 1.3). Bu oranın belli bir değerinden sonra çekirdek artık kararlılığını kaybeder. Periyodik cetvelde

kararlı en ağır çekirdek Bizmut-83'tür. Doğada bulunan izotopların 280 kadarı kararlıdır.

1.3.2 Kararsız İzotoplar

Kararsız izotoplar üzerlerinde taşıyabileceklerinden fazla enerji bulunan çekirdeklerdir. Bu çekirdekler radyasyon yayınlamaya kararlı hale geçerler. Doğada bulunan radyoaktif elementlerin en küçük atom numarası ise 81'dir. Çekirdekteki nötron sayısının proton sayısına oranı (Z/N) büyüdükçe çekirdeğin kararlılığı bozulur. Tabiiatta küçük atom numaralı radyoaktif atomlar da bulunmuştur. Bu izotopların çoğunun yarı ömürleri çok uzundur ve bulunma miktarları çok azdır. Bu nedenle belirli bir elementin herhangi bir numunesinden gelen radyoaktivite son derece küçüktür. Birkaç tanesinin yarı ömrü daha kısadır. Bu izotoplar tükendikçe tabiiatta halen süre gelmekte olan olaylar yardımı ile bir taraftan yeniden oluşacaklardır. Örneğin ^{14}C 'un kozmik isin nötronları tarafından atmosferdeki ^{14}N 'in bombardımanı ile oluştuğu kesin olarak tespit edilmiştir.

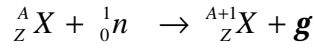


Şekil 1.3 Kararlı ve kararsız çekirdeklerin nötron-proton diyagramı

1.3.3 Yapma (Suni) İzotoplar

Yapma izotoplar atom çekirdeklerinin çeşitli parçacıklarla (α , β , γ , n) bombardiman edilmesi sonucunda oluşur. Böylece kararlı çekirdeklerin çeşitli parçacıklar ile bombardimani sonucunda elde edilebilen yapma izotopların sayısı bu gün için 1200'e ulaşmıştır.

1934'te Frederic Joliot ve Irene Joliot Curie, yüksek enerjili parçacıklarla çekirdekleri bombardiman ederek suni şekilde çekirdek dönüşümü yapılması yolunu açmışlardır. Böylece yeni radyoaktif çekirdeklerin elde edilmesi ile de nükleer fizikte yeni gelişmeler sağlanmıştır. Daha sonraları parçacık hızlandırıcılarının geliştirilmesi ise çok sayıda radyoaktif izotop üretimini mümkün kılmıştır. Laboratuvarlarda suni radyoaktif izotop üretilebilmesi için kararlı izotoplar nötronlarla bombardiman edilir. Bu metodun uygulanabilmesi için nötron kaynaklarına veya nötron üreten sistemlere ihtiyaç vardır (Nötron jeneratörleri veya reaktörler gibi). Nötron bombardimani ile radyoizotop üretimine 'nötron aktivasyonu' veya sadece aktivasyon denir. Aktivasyon olayında oluşan mekanizma aşağıdaki gibidir;



böylece meydana gelen radyoaktif izotop, kendi özelliklerine göre belirli radyoaktif bozunma ve yarı ömür ile uygun bir başka kararlı çekirdeğe dönüşür.

1.4 Radyoaktivite

1.4.1 Radyoaktif Parçalanma Kanunu

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi tabiatta bulunan atom çekirdeklerinin bir kısmı kararlı, diğer bir kısmı da kararsız olarak oluşmuşlardır. Kararsız çekirdekler tasdikları fazla enerjiyi parçacık çıkarmak veya isima yaparak atarlar. Kendi kendine yapılan bu dönüşüm olayına ya da yapılan bu isima olayına 'Radyoaktivite' ya da 'Radyoaktiflik' denir. Çekirdeğin bu şekilde kendi kendine parçacık çıkararak parçalanma olayına 'Radyoaktif Parçalanma' ya da 'Radyoaktif Bozunma' denir ve tek bir temel kanunla ifade edilir.

Parçalanma sayısı, sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama parçalanma sayısından bahsedilir.

Bir radyoaktif madde göz önüne alındığında bunun radyoaktif parçalanması şu şekilde devam edecektir; bu radyoaktif maddede bir t anında henüz parçalanmamış $N(t)$ atom mevcut bulunsun. Bir $t + dt$ zaman aralığında radyoaktif maddede ortalama parçalanma sayısı $\lambda N(t)dt$ olacaktır. λ , radyoaktif maddenin parçalanma sabitidir. Her radyoaktif madde için belli bir karakteristik değere sahiptir. Radyoaktif maddede küçük dt zaman aralığında parçalanmış çekirdeklerin sayısı;

$$-dN(t) = \lambda N(t)dt$$

diferansiyel denklemi ile ifade edilir. Denklemin sol tarafında bulunan eksi işareti radyoaktif atomların azalmakta olduğunu anlamına gelir. İşte radyoaktif çekirdek sayısının bu diferansiyel denkleme göre veya bu denkleminin integrali alındığında elde edilen;

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

denkleme göre değişim gösterdiği bu kanuna ‘Radyoaktif Parçalanma Kanunu’ denir. N_0 ; $t=0$ anında mevcut radyoaktif atomların veya çekirdeklerin sayısıdır. $N(t)$ ise, t anında mevcut radyoaktif atom veya çekirdek sayısını göstermektedir. Bir radyoaktif maddenin aktivitesi ise;

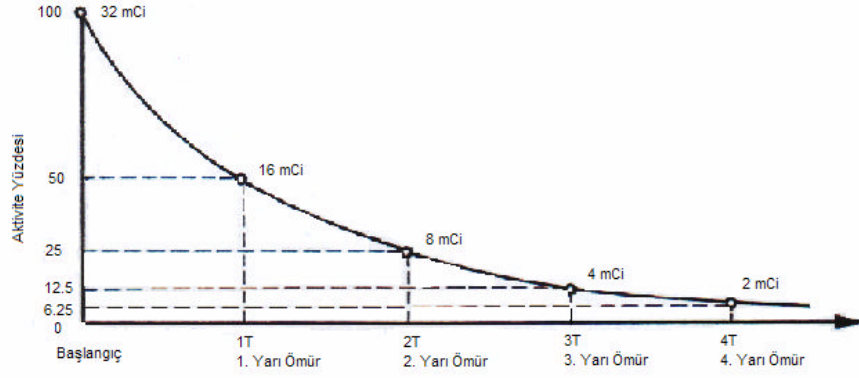
$$A = N\lambda$$

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli bir diğer karakteristik değer ‘yari ömür’ tanimidir. Başlangıçta N_0 tane atoma sahip olan bir radyoaktif madde, atom sayısı yarıya ininceye kadar parçalanması esnasında geçen zamana o radyoaktif elementin yari ömrü denir. Yari ömür $T_{1/2}$ ile gösterilir. Bu yari ömrü tayin edebilmek için

yukarıdaki $N(t)$ denkleminde $N = \frac{N_0}{2}$ yazılırsa ;

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

esitliği elde edilir. Yari ömür ifadesini Şekil 1.4’teki gösterimi ile daha iyi anlamak mümkündür. $T_{1/2}$ yari ömrü, her bir radyoaktif element için farklıdır ve uzunluğu saniyenin kesirleri mertebesinde binlerce yıla kadar değişir.



Sekil 1.4 Radyoaktif bir çekirdeğin yarı ömürlerine bağlı olarak bozunumu

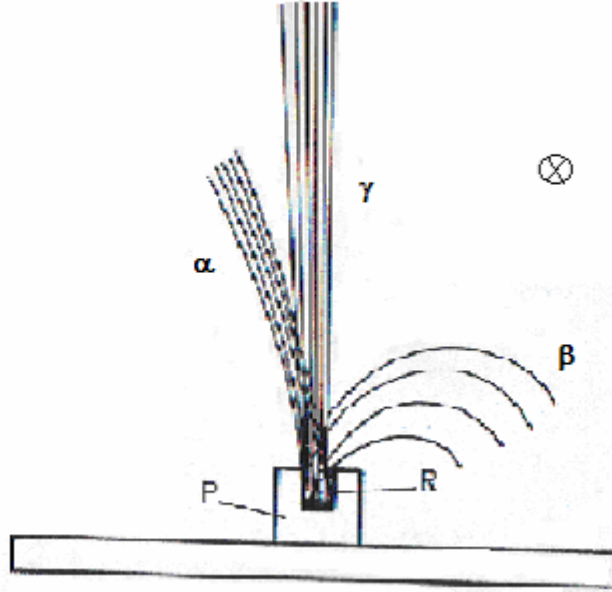
Tablo 1.2 Bazı doğal radyoaktif elementlerin yarı ömürleri

Element	Atom Numarası	Kütle Numarası	Yarı Ömür
Hidrojen	1	3	12.26 yıl
Karbon	6	14	5568 yıl
Stronsiyum	38	90	27.7 yıl
Indiyum	49	115	6×10^{14} yıl
Samaryum	62	147	1.3×10^{11} yıl
Kursun	82	214	26.8 dakika
Sodyum	11	22	2.6 yıl
Toryum	90	232	1.41×10^{10} yıl
Uranyum	92	235	7.13×10^{18} yıl
Radyum	88	226	4.78 yıl
Radon	86	22	3.82 gün
Brom	35	80	18 dakika
Sezyum	35	127	6.2 saat
Bizmut	83	137	30.1 yıl
		214	19.7 dakika

1.4.2 Radyoaktif Isinlar

Bütün isi, isik ve radyoaktif yayilmalar parlayan enerji sekilleridir ve uzay boyunca bir noktadan digerine aktarilir. Bunlara kisaca 'radyasyon' denilir.

Radyoaktivitenin kesfinden sonra bilim adamlari bu isinlarin yapisini tanimak, bunlarin yüklü parçaciklar mi yoksa elektromagnetik isinimlar mi olduklarini anlamak için çeşitli incelemeler yapmislardir. Radyoaktif maddelerden çıkan isinlar fotograf levhasinda iz birakirlar, içinden geçtikleri gazi iyonlastirirlar ve fluoresan etki yaparlar. Radyoaktif isinlarin yapisi hakkında en iyi sonucu magnetik saptirmalar yöntemi vermistir.



Sekil 1.5 Magnetik alanda alfa, beta ve gama isinlarinin sapmalari. (a) alfa, (b) beta, (g) gama isinlari, P zirh, R radyoaktif madde

Yapilan incelemeler sonucunda radyoaktif isinlarin uygulanan magnetik alan içindeki davranislarina göre üç çeşit olduklari sonucuna varilmistir.

Bu isinlar;

1. Pozitif yüklü (α) alfa isinlari; bunlar magnetik alan içinde pozitif yüklü taneciklerden meydana gelmis isinlar gibi saparlar,
2. Beta (β) isinlari; bu isinlar negatif yüklü tanecikler gibi saparlar,

3. Gama (γ) isinlari; bu isinlar ise hiçbir sapmaya ugramayan ve dolayisi ile bir elektromagnetik dalga isinimi olduklari açıkça belli olan isinlardir. Sekil 1.5’de bu isinlariin magnetik alan içindeki sapmalari görülmektedir.

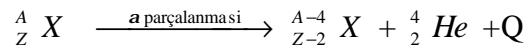
1.4.2.1 Alfa (α) Isinlari

Alfa (α) isinlariinin elektrik ve magnetik alan içindeki sapmasindan faydalanarak, alfa parçaciklari için yükün kütleye oranı $e/m=4823 \text{ emb/gr}$ seklindedir. Hidrojen iyonlari için $e/m=9660 \text{ emb/gr}$ dir. Bu da alfa parçaciginiin kütle sinin hidrojenin iki kati oldugunu veya alfa parçaciginiin yükünü hidrojenin iki kati, kütle sinin ise hidrojen iyonunun dört kati oldugunu gösterir. Böylece alfa parçaciklariinin gerçekten hizli hareket eden ve iki kere iyonlasmis helyum atomlarindan (He^{++}) olugu ortaya çikar.

Alfa parçaciklari siddetli iyonlayici parçaciklardir ve havadaki yollari en fazla 6-7 cm. kadardir. Alfa parçaciklari içinden geçtiği gazlari iyonlastirir ve bu iyonlasma sirasinda enerji ve hizlarini kaybederler. Termal hizlara ulastiklarinda,yani daha fazla iyonlasmaya sebep olmadiklari anda elektron yakalayarak nötr hale gelirler. Radyoaktif elementlerden salinan alfa parçaciklariinin hizlari $1,4 \times 10^4 \text{ cm/s}$ ile $2,2 \times 10^9 \text{ cm/s}$ arasindadir.

Bir element bir alfa parçacigi çıkardigi zaman atom numarasi iki, kütle numarasi da dört degerinde azalir. Yani bir elementi ${}^A_Z X$ seklinde gösterdigimizde alfa

parçalanmasindan sonra;



denklemine göre yeni bir elemente dönüşür. Q parçalanma sonucu açığa çıkan enerjidir. Bu alfa parçaciginiin ve yeni olusan çekirdeğin kinetik enerjisi seklinde kendini gösterir.

Alfa parçacıkları tabii olarak oluşmuş radyoaktif maddelerden salınabildikleri gibi, yapay radyoaktif maddelerden de salınabilirler. Bu isinlerin en enerjik olanları 9 MeV civarında bir enerjiye sahiptirler. Bu parçacıklar ince kâğıt tabakalar ile durdurulabilirler, fakat ağır iyonlayıcı olma özelliklerinden dolayı bu isinler tehlikelidirler. Vücut dışından alındıklarında deri tarafından tutulurlar. Solunum ve sindirim sistemlerine herhangi bir yolla girdiklerinde ise zararlı etkileri çok daha büyüktür.

1.4.2.2 Beta (b) Isinlari

Radyoaktif maddeler tarafından salınan diğer bir çeşit isinler beta (β) isinleridir. Bu isinler da parçacık karakteri gösterirler. Yük ve kütleleri elektronun yük ve kütlesine eşittir. Daha net bir ifade ile beta parçacıkları elektronlardır. Ancak, doğal ve yapay radyoaktif maddeler tarafından yayılan bu parçacıklar pozitif yüklü de olabilirler. Bu parçacıkların yayılması, çekirdekdeki protonların veya nötronların kararlılığına göre fazlalığından meydana gelir. Çekirdekten nötron fazlalığı nedeniyle fazla nötronlar protona dönüşür ve bu dönüşümde elektron açığa çıkar (${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$). Açığa çıkan bu elektron çekirdekte duramayacağından çekirdek dışına b^- olarak yayılır. Bunlar b veya b^- şeklinde gösterilirler. Bu parçacıklara 'Negatron' da denir. Eğer çekirdekdeki proton fazlalığından ileri gelen bir beta yayılması var ise parçacık pozitif yüklüdür ve 'Pozitron' adını alır. Sembolik gösterimi b^+ şeklindedir. Radyoaktif parçalanma sonucunda pozitif işaretli betalardan ziyade, negatif işaretli beta isinleri yani elektronlar yayılır.

Beta isinlerinin enerjisi 0,01 MeV'den 5 MeV'e kadar olabilir. En büyük enerjili betaların havadaki yol uzunluğu 70-80 cm.'yi bulur. Bu isinlerin en enerjili olanları bile birkaç milimetre kalınlığındaki metal levhalar tarafından durdurulabilirler.

1.4.2.3 Gama (γ) Isinlari

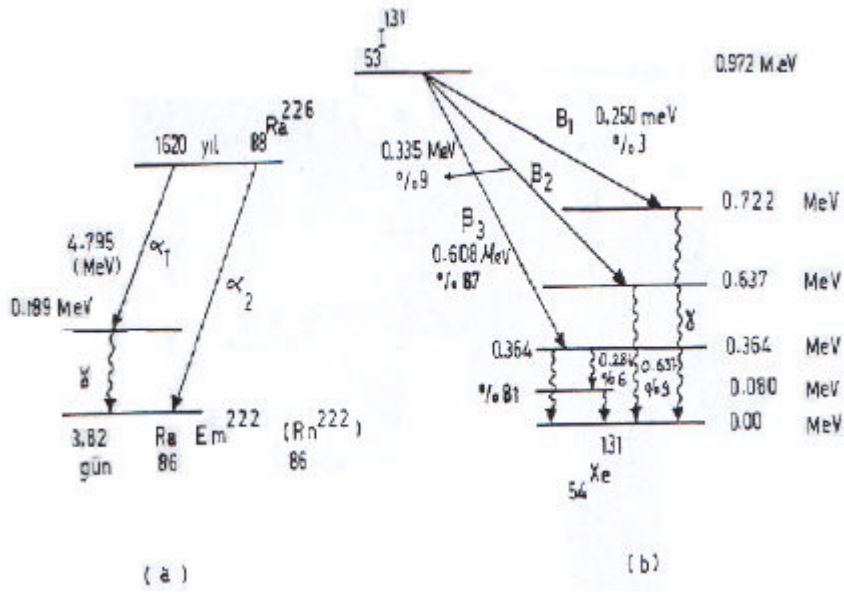
Radyoaktif elementler alfa ve beta isinlarından baska gama (γ) isinlari da yayimlarlar. Gama isinlari elektromagnetik özellige sahiptir ve elektrik ve magnetik alanlarda sapmazlar. Gama isinlari X-isinlarina benzerler fakat onlardan daha giricidirler.

Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayimlanmasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Baska bir deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, olustugundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama isini yayimlayarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış halde kalmışsa, çıkacak gama isinlari o kadar yüksek enerjili olacaktır. Böylece radyoaktif çekirdekler binlerce ve hatta milyonlarca elektron-volt (eV) enerjili gama isinlari yayimlayabilirler.

Çekirdeğin bir α - γ parçalanma semasını Şekil 1.6(a)'daki gibi gösterebiliriz. Yatay düz çizgiler, çekirdeğin enerji seviyelerini göstermektedir. Semada görüldüğü gibi Ra-226 farklı enerjide a_1 , a_2 gibi iki alfa isini çıkarmaktadır ve a_1 'i takiben bir gama isini da çıkarmaktadır. β ve γ parçalanması ise (b)'deki sema ile temsil edilebilir. Burada I-131 üç tane farklı enerjide β isini çıkarmaktadır. Bunları takiben de γ isinlari çıkmaktadır.

Radyoaktif çekirdeklerin gama yayimlamasının özel bir hali de vardır. Buna 'gama aktifliği hali' de denir. Radyoaktif bir parçalanmadan sonra geride kalan ya da yeni oluşan çekirdek, her zaman olduğu gibi kısa yarı ömürlü olmayabilir. Yüksek enerji seviyesinde uzun yarı ömürlü olarak kalabilir. Buna 'metastabil' hal denir. Bu duruma göre A ve Z ile belirtilen çekirdek, birbirinden farklı, yani biri temel halde kararlı veya diğeri daha yüksek enerji seviyesinde kararsız olmak üzere iki halden birinde bulunabilir. Bu çekirdekler aynı kütle ve atom numaralarına sahip oldukları halde çekirdek yapılarında köklü farklılıklar vardır. Böyle aynı sayılarla temsil edilen fakat farklı radyoaktif özellik gösteren çekirdeklere 'izomer çekirdekler' denir.

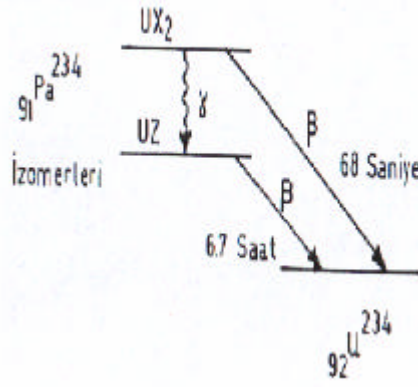
Metastabil haldeki çekirdek ya bir beta parçalanması yaparak bir başka çekirdeğe dönüşür veya bir gama isini yayımlayarak daha düşük enerji seviyesine geçer. Daha sonra beta isini yayımlayarak diğer çekirdeğe dönüşür.



Sekil 1.6 Radyum (Ra^{226}) ve Iyot (I^{131}) çekirdeklerinin **a-g** ve **b-g** bozunmaları.
a. Radyumun radyoaktif bozunmasına ait çekirdek enerji düzeyleri diyagramı,
b. $I-131$ 'in radyoaktif bozunma seması. Burada $I-131$ üç tane farklı enerjide **b** isini çıkarmaktadır. Bunları takiben de **g** isinleri çıkmaktadır.

Çekirdeğin metastabil halden kararlı hale geçerken gama isini yayımlaması gerçek bir radyoaktif dönüşüm özelliği taşımaktadır.

Bu iki radyoaktif parçalanmanın yarı ömürleri birbirinden farklıdır. Bu çeşit çekirdeklere radyoaktif Uranyum serisindeki UX_1 elementinin radyoaktif parçalanması sonucunda oluşan Protaktinyum elementinin UX_2 ve UZ gibi iki izomerinin oluşması iyi bir örnektir.

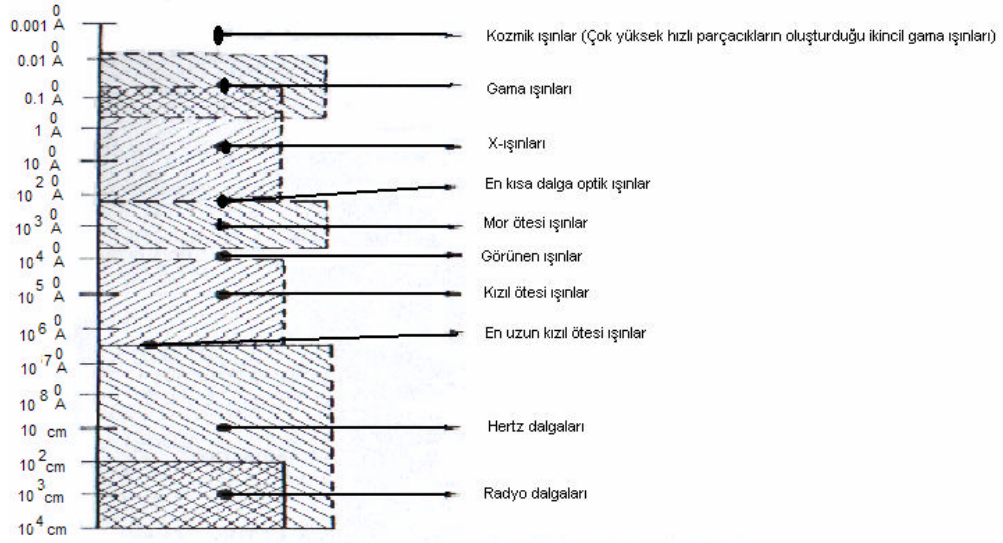


Sekil 1.7 İzomer çekirdekler (metastabil hal) ve radyoaktif bozunmaları

Doğal radyoaktivitede izomerik oluşumlara rastlandığı gibi yapay radyoaktif elementlerin bölünmesinden meydana gelen ürünler arasında çok sayıda izomer çekirdeklere rastlanır. Özellikle gama kaynakları bu tür çekirdeklerden yapılır.

Gama ışınları çok girici ışınlardır. Madde içinde uzun yollar katedebilirler. Bu ışınları durdurmak için 28-30 cm kalınlığında kurşun tabakaların gerektiği durumlar olabilir. Gama ışınlarının en enerjik olanları Uranyum-232'nin 2.8 MeV enerjide gamaları ile Sodyum-24'ün 2.754 MeV'lik gamalarıdır.

Genel olarak gama ışınlarının dalga boyları 10^{-8} - 10^{-11} cm'dir ve elektromagnetik spektrumda X-ışınlarının kısa dalga boylarının ötesinde, bu ışınlarla kozmik ışınlar arasındaki bölgede yer alırlar (Sekil 1.8).



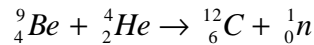
Şekil 1.8 Elektromagnetik isinlerin spektrumunu gösteren sema

1.4.2.4 Nötronlar

Tabii radyoaktif maddelerden bazılarının α , β , γ isinlerinden başka az da olsa kendi kendilerine parçalanmaları sonucu nötron çıkardıkları gözlenmiştir. Çekirdeklerin böyle parçalanmalarına 'Spontane (Kendiliginden) Filyon' denir.

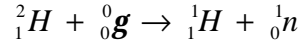
Nötronlar daha önce de belirtildiği gibi elektrik yükü olmayan ve kütleleri protonun kütlesine yakın (1.00867) parçacıklardır. Çekirdeğin yapı taşlarından biri olan nötron, 1932'de James Chadwick tarafından keşfedilmiştir.

Radyoaktif maddelerin yayınladığı alfa isinleri ile hafif elementler bombardıman edildiğinde meydana gelen reaksiyon sonucu meydana gelen reaksiyon sonucu nötronların oluştuğu gözlenmiştir. Böyle bir reaksiyon Berilyum ile gerçekleştirildiğinde;



denkleminde de görüldüğü gibi nötron çıkmaktadır. Nötronun kütlesi yaklaşık olarak bir olduğundan ve yüksüz bir parçacık olduğundan ${}^1_0\text{n}$ sembolü ile gösterilir.

Nötronlar, ya yukarıda bir örneği verildiği gibi nükleer reaksiyonlar sonucu elde edilir, ya da çekirdek bölünmeleri sonucunda (filyon) çok miktarda yayımlanırlar. Nötron meydana getiren reaksiyonların en önemlileri alfa-nötron (α - n) ve gama-nötron (γ - n) reaksiyonlarıdır. Bu son tip reaksiyona 'Fotonükleer Reaksiyon' denir. Bu reaksiyonda uygun maddeler yeterli enerjideki gama isinleri ile bombardıman edildiğinde nötronlar oluşur. Böyle bir reaksiyona örnek olarak aşağıdaki denklemi yazabiliriz.



Burada gama ${}^0_0\text{g}$ isinini göstermektedir. Bu reaksiyonlarda yayımlanan nötronların enerjisi 0.03 MeV ile 12 MeV arasında değişir.

Bilim ve teknolojinin ilerlemesi ile hızlandırılmış çeşitli nükleer parçacıklar kullanılarak atom çekirdeklerinin bombardıman edilmesi sonucunda çok sayıda nötron elde edilebilmektedir. Çok çeşitli tipte olan bu reaksiyonlar sonucu yüksek enerjili nötronlar ortaya çıkmaktadır.

Nötronlar yüksüz parçacıklar olduklarından çok giricidirler. Kalın kurşun, demir, beton gibi maddelerin arasından geçerler. Ağır atom numaralı elementler nötronlar için geçirgendir. Ancak hidrojen ve hidrojenli maddeler aracılığı ile yavaşlatılabilirler. Nötronlar bu maddelerin atom çekirdekleri ile çarpışmaları sonucu enerjilerini onlara aktarmak sureti ile yavaşlarlar. Nötronları yavaşlatmak için kullanılan maddelere 'yavaşlatıcı' veya 'moderatör' denir.

Nötronlar çarpışma yoluyla çok küçük enerjilere sahip olacak kadar yavaşlatılabilirler.

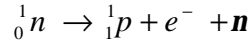
Nötronlar enerjilerine göre su gruplarına ayrılabilirler;

1. Yavaş nötronlar; 0-1000 eV enerjili,
 - a) Soğuk nötronlar; 0-0.01 eV enerjili
 - b) Isıl nötronlar; 0.01-0.3 eV enerjili,
 - c) Termik nötronlar; 0.025eV enerjili,

- d)Rezonans nötronlar; 1-100 eV enerjili.
 2.Epitermik nötronlar; 0.3eV-10 keV enerjili,
 3.Hizli nötronlar; 10 keV-10MeV enerjili,
 4.Çok hızlı veya relativistik nötronlar; 10MeV'den büyük enerjili olan nötronlardır.

Nötronlar, atom çekirdeğinin yapı tasları olarak çekirdekte buldukları zaman ömürleri için bir sınırlama yoktur. Ancak serbest olarak buldukları zaman parçalanmaya uğurlar ve yarı ömürleri yaklaşık 11.7 dakikadır.

Bir nötron parçalandığı zaman, bir proton ve bir de elektrona ayrılır. Parçalanma esnasında bir de anti-nötrino çıkar nötronun parçalanma seması aşağıdaki gibidir;



' $\bar{\nu}$ ' anti-nötrinoyu temsil eder. Nötrino, beta parçalanması esnasında çıkan nötral bir parçacıktır. Durgun halde kütlesi sıfırdır. Nötrinolar da fotonlar gibi ışık hızı ile hareket eden küçük parçacıklardır. Beta bozunmasında enerji ve momentumun korunumu gereği nötrino yayımladıkları anlaşılmıştır ve beta bozunmasında enerji dağılımının sürekliliğini temsil ederler. Fotonlar ile nötrinolar arasındaki önemli fark, fotonun açısal momentumunun $h/2$, nötrininin ise bunun yarısı kadar yani $\frac{1}{2} \frac{h}{2}$

olmasıdır. Küçük parçacıklar kendi eksenleri etrafında sürekli dönmektedirler. Bu dönüş eksenlerine spin eksenleri denir. Fizikte tarif edilen sol el kuralına göre uygun yönde dönen nötrinoya sadece nötrino, sağ el kuralına göre dönen nötrinoya ise anti-nötrino denir. Nötronun parçalanmasında çıkan anti-nötrino bu şekilde tarif edilebilir. Anti-nötrininin dönüş vektörü (spin vektörü) hareket doğrultusuna anti paraleldir yani, doğrultuları aynı fakat yönleri terstir.

1.4.2.5 Radyoaktif Seriler

Tabiatta oluşmuş radyoaktif elementlerin hemen hemen hepsi $Z=81$ ile $Z=92$ atom numaraları arasındaki bölgede durmaktadır. Bu elementler radyoaktif parçalanmaları (bozunmaları) ile doğal olarak birbirlerini takip eden elementler oluşturarak seriler

meydana getirirler. Büyük atom numaralari üç esas radyoaktif elementin parçalanma zinciri ile meydana gelen bu seriler sunlardır;

Uranyum (U) serisi. ${}_{92}^{238}U$ ile baslar, ${}_{82}^{206}Pb$ ile biter.

Actinyum-Uranyum (AcU) serisi: ${}_{92}^{235}U$ ile baslar, ${}_{82}^{207}Pb$ ile biter.

Toryum (Th) serisi: ${}_{90}^{232}U$ ile baslar, ${}_{82}^{208}Pb$ ile biter.

Her serinin basında uzun yari ömürlü bir radyoaktif izotop bulunmaktadır. Bu serilerin sonları da kararlı kursun izotopları ile biter. Serilerdeki radyoaktif elementler, alfa parçalanması veya alfa aktivitesi göstererek, nötron ve proton sayıları değişikliklere uğrar. Bu değişiklik, alfa bozunması nötron sayısında iki azalmaya, proton sayısında da iki azalmaya neden olduğundan nötron sayısı ve atom numarası ikiser değerde azalır. Eğer bozunma beta parçalanması ise, o zaman yine çizelgede nötron sayısının bir azalmasına rağmen proton sayısı bir artar ve böylece atom numarası bir birim artan yönde ilerler. Atom numarası 92'den büyük olan elementlerin keşfi ile Uranyum ötesi elementlerin (transuranyum elementler) mevcut olduğu ve bunların bir çok izotoplarının çekirdek reaksiyonları ile elde edilebildiği görülmüştür. Bu yeni elde edilen radyoaktif elementlerin bir kısmı başlangıçta tarif edilen üç seride yerlerini almışlardır. Diğerlerinin ise, yeni bir aile yani yeni bir seri oluşturduğu gözlenmiştir. Bu yapay izotopların oluşturduğu seriye, içlerinde bulunan en uzun yari ömürlü element olan Neptünyum'dan dolayı 'Neptünyum Serisi' adı verilmiştir. Bu serinin başlangıcı, daha büyük atom numaralı element ile başlayabilir. Neptünyum serisi diğer seriler gibi kursunun kararlı bir izotopunda değil, fakat Bizmut'un 209 numaralı izotopunda son bulmaktadır.

Radyoaktif serilerde gösterilen bildiğimiz isimlerinden başka, UI, RaA, RaE gibi isimler de verilmiştir. Tablo 1.3'te parantez içinde gösterilen bu simgeler, elementlerin bulunus sırasına göre verilen isimlerdir.

Tablo 1.3 Tabii radyoaktif Toryum-232 serisi.

Izotop	T_{1/2}	E(kV)
²³² Th	1.4x10 ¹⁰ yıl	59
		126
²²⁸ Ac	5.8 yıl	129,1
		209,4
		270,3
		338,4
		463,0
		794,8
		911,1
		964,6
		968,9
²²⁸ Th	1,91 yıl	84,4
		215,9
²²⁸ Ra	47 yıl	-
²²⁴ Ra	3,66 dak	241,0
²²⁰ Rn	55,6 s	549,7
²¹⁶ Po	1,6x10 ⁻⁵ s	-
²¹² Pb	10,64 saat	238,63
		300,1
²¹² Bi	60,5 dak	727,3
		785,42
		1620,7
²⁰⁸ Tl	3,05 dak	277,3
		510,8
		583,19
		860,4
		2614,6
²⁰⁸ Pb	kararlı	-

1.4.3 Radyasyon Doz Birimleri

Radyasyonun canlılar üzerinde meydana getirdiği zararlı etkiler göz önünde bulundurulacak olursa, radyasyonun ölçülmesinin ve birimlendirilmesinin önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Radyasyon miktarı, direkt olarak ölçülemezle birlikte, radyasyonun bir ortam boyunca meydana getirdiği iyonizasyonlardan faydalanılarak dolaylı bir şekilde belirlenebilir. Radyasyon birimlerini aktivite birimleri ve doz birimleri olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.4.3.1 Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel olup, saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilir. Ancak genelde kullanılan aktivite birimi Curie'dir ve saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanır. Orijinal olarak Curie birimi 1 gr. Radium ile dengede bulunan Radon (^{222}Rn) gazında saniyede meydana gelen bozunma sayısı olarak tarif edilir (Purdum, 1971). Aynı zamanda 1 Curie $3,7 \times 10^{10}$ Becquerel'e esittir. Curie(Ci) çok büyük bir birim olduğundan genelde Ci'nin askatları olan μCi veya pCi kullanılır. Curie, genelde aktivitesi büyük olan, Becquerel ise aktivitesi küçük olan radyasyon kaynakları için kullanılır.

1.4.3.2 Doz Birimleri

Doz birimlerini isinlama doz birimi, absorblanmış doz birimi ve biyolojik doz birimi olarak üç gruba ayırmak mümkündür.

Isinlama Doz Birimi; Röntgen, X ya da gama isinlarının niceliklerini belirlemek için kullanılır ve 1 cm^3 hava içerisinde 1 elektrostatik birimlik elektrik yükü taşıyan pozitif veya negatif yüklü iyonlar meydana getiren X veya gama isinleri olarak tanımlanır (Göksel, 1973).

Absorblanmış Doz Birimi; Absorblanmış doz, iyonlaştırıcı parçacık tarafından ilgilenilen noktada birim kütledeki maddeye verilen enerji miktarıdır. Absorblanmış doz birimi Rad olup gram başına 100 erg'lik bir enerji absorpsiyonu meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Son zamanlarda kullanılan absorblanmış doz birimi Gray ise 100 Rad'a esittir.

Rem'in SI sistemdeki yeni birimi Sievert (Sv) olup Gray (Gy)'in KF ile çarpımından elde edilmektedir. Yani $\text{Sv} = 1\text{RBE} \times \text{Gy}$ ya da $\text{rem} = 1\text{RBE} \times \text{rad}$ 'tir.

Tüm radyasyon birimleri ve bunlar arasındaki dönüşüm Tablo1.4'te bir arada verilmiştir.

Tablo 1.4 Tüm radyasyon birimleri ve dönüştürme tablosu

Fiziki Büyüklük	Eski Birim	Sembol	Degeri	Yeni Birim(SI)	Sembol	Degeri	Dönüşüm Degerleri
Aktivite	Curie	Ci	1Ci=3,7x10 ¹⁰ parçalanma/sn	Becquerel	Bq	1Bq=1parç/sn	1Ci=3,7x10 ¹⁰ Bq 1Bq=2,7x10 ⁻¹¹ Ci
Isinlama	Roentgen	R	1R=88erg	Coulomb/kg	C/kg	1C/kg=0,034 Joule/kg	1R=2,58x10 ⁻⁴ C/kg 1C/kg=3876 R
Sogurulmus Doz	Rad	rad	100erg/gr	Gray	Gy	1Gy=1Joule/kg	1 rad=0,01Gy 1Gy=100 rad
Etkin Doz Esdegeri	Rem	rem	radxRBE	Sievert	Sv	1Sv=1Joule/kg	1rem=0,01Sv 1Sv=100 rem

Biyolojik Doz Birimi; Iyonize edebilme özelliği olan radyasyonların biyolojik etkileri, radyasyona maruz kalan vücut kısmı, radyasyonun türü, yayılma derinliği gibi bir çok faktöre bağlıdır. Bu nedenle farklı radyasyon türleri için Relatif Biyolojik Etki (RBE) olarak tanımlanan bir faktör kullanılmaktadır. RBE değerleri çeşitli radyasyon türleri için biyolojik deneylerden elde edilmiştir. Bu RBE değerleri tam sayı olmadıklarından pratik olarak kullanılmaları çok güçtür. Bu nedenle absorblanmış doz birimi Rad'i biyolojik doz birimi olan Rem'e dönüştürürken RBE değerleri yerine tam sayıya çevrilmiş 'Kalite Faktörleri' kullanılır (Baarli, 1977). Biyolojik doz birimi Rem, radyasyonun cinsine bağlı olmak kaydı ile canlılar tarafından absorblanan radyasyon miktarıdır ve 'Roentgen Equivalent of Man' sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuş. Rem = Rad x RBE şeklinde ifade edilir. Burada 'K.F.', kalite faktörüdür ve canlı üzerine etki eden radyasyonun cinsine bağlı olan bir tam sayıdır. Çeşitli radyasyon türleri için Kalite Faktörleri Tablo 1.5'te verilmiştir.

Tablo 1.5 *Çesitli radyasyon türleri için kalite faktörleri*

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X veya Gama Isinlari	1
Beta Parçaciklari	1
Alfa Parçaciklari	10
Hizli Nötronlar	10
Agir Çekirdekler	20

1.5 Radyasyon Kaynaklari

1.5.1 Yapay Radyasyon Kaynaklari

Kararlı ya da kararsız elementlerin alfa, nötron, proton gibi tanecikler ile bombardımanında oluşan yeni elementler de radyoaktiftir. Bombardıman yolu ile elde edilen radyoaktif elementlerin bu özelliğine yapay radyoaktivite denir.

1934 yılında Madam Curie'nin kızı I. Curie ve damadı F. Joliot'un çalışmaları ile hızlanan yapay radyoaktivite yolu ile birçok yeni element bulunurken teknoloji ve tıbbin gereksinimi olan radyoaktif atomlar yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde 400'den fazla radyoaktif izotop yapay olarak elde edilebilmektedir.

1.5.2 Doğal Radyasyon Kaynaklari

Doğal yollarla oluşan radyoaktivitenin canlı ve cansız bütün varlıklardaki etkisinin gözlenmesi mümkündür (Eisenbud, M. 1963). Maruz kalınan radyasyon çok çeşitli kaynaklardan gelir. Bu kaynaklardan bazıları çevrenin doğal özellikleridir. Diğerleri ise insan aktiviteleri sonucudur. Doğal radyasyon kaynakları kozmik, karasal ve içsel radyasyondur. Maruz kalınan bu doğal radyasyonların büyüklüğü coğrafik yere ve bazı insan aktivitelerine bağlıdır. Kozmik radyasyondan gelen doz, deniz seviyesinden yüksekliğe göre değişir. Karasal radyasyon yerel jeolojiye bağlıdır. İç ortamlarda Radondan gelen doz ise yerel jeolojiye, yapı maddelerine ve ortamların havalandırılmalarına bağlıdır (UNSCEAR, 1993).

Tüm dünya için, doğal kaynaklardan gelen radyasyonun ortalama efektif doz miktarının 2.4 mSv olduğu tahmin edilmektedir. Bu degerin 1.3 mSv'si Radondan, 1.1 mSv'si ise kozmik isinlardan, karasal gama isinlarından ve vücut içindeki radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır.

Tablo 1.6 İnsan nüfusunun maruz kaldığı radyasyon kaynakları (Amerika Federal Meclisi Kayıtları, 1963)

Tabii Kaynaklar	Milirem(10^{-3} rem)
a.Vücut Disında	
Kozmik Isinlardan	50.00
Yeryüzünden	47.00
Yapı Malzemelerinden	3.00
b. Vücut İçinde	
Hava Teneffüsü İle	5.00
İnsan Dokusunda Bulunan Elementlerden	21.00
Sun'ı Radyasyon Kaynakları	
A. Tibbi Muamele	
Teshiste X-İsinleri	50.00
Radyoterapide Radyoizotoplar	10.00
Dahili Teshis ve Tedavi	1.00
B. Atom Enerjisi Endüstrisi Laboratuvarları	0.20
C. Fosforlu Saat Kadranları, TV Tüpleri, Radyoizotop Artıkları	2.00
D. Radyoaktif Yağış	4.00

1.5.2.1 Karasal Radyasyon

Önemli yoğunluktaki güneş radyasyonu 0,2- 4,0 μm dalga boyları arasında meydana gelmektedir. Yoğunluk elektromagnetik spektrumun görünür kısmında yaklaşık 0,5 μm de en üst seviyeye ulaşmaktadır. Daha az, fakat yine de önemli miktarda güneş radyasyonu, ultraviyole ve yakın IR bölgelerde bulunmaktadır. Karasal radyasyon 3-100 μm dalga boyu aralığında yayılır ki bu da büyük ölçüde IR bölgeye düşer. Radyasyon maksimum yoğunluğu ise yaklaşık 11 μm civarındadır.

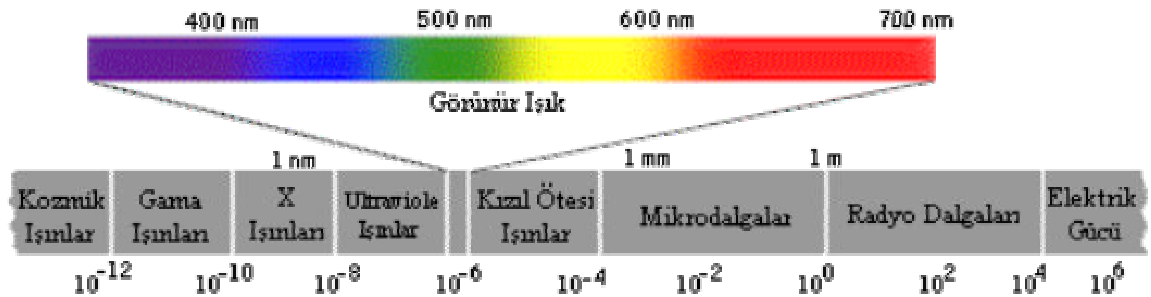
Karasal kaynakli radyasyonun, toprak ve kayalar içindeki pirimordial radyonüklitler olusturur. Karasal dis radyasyon kaynaklarinin basinda ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ve bunlarin bozunma ürünleri olan radyonüklitler gelmektedir. ^{235}U ve bozunma ürünlerinin dogal background'a (dogal seviyeye) katilari ihmal edilecek düzeyde oldugu için dikkate alınmamistir. ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi radyonüklitler uzun yari ömre sahip olup dünyanın varolusundan beri mevcuttur ve background'a katilari oldukça fazladir. Karasal radyasyon kaynaklari olan bu radyonüklitler özellikle volkanik kayalarda, degisim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmis çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Her dag olusumu ve sonradan olusan açilmalar sonucu magmadan yer kabuguna taze Uranyum ve Toryum getirimi olur. Kabuk içinde önceden var olan Uranyum ve Toryum, isi ve basinc ile yeni alanlara göç etmistir. Toryum sicakligin azalmasi sonucu, yüksek sicaklik alanlarina çökeler. Uranyum ise Oksijen ile çok çeşitli bilesikler olusturarak hemen hemen her kayaçta bulunur. Kayalarda Th/U oranı 3 veya 4'tür. Uranyum ve Toryum yer kabugunda bir çok elementten daha fazla bulunmasina karsin, jeokimyasal yapıları geregi daha az sayıda maden yatağı olustururlar. Yer kabugundaki yayilimleri oldukça degisiktir. Eger radyonüklit konsantrasyonu biliniyorsa, bunun dis isinlanmalara ne oranda katkıda bulunduğı hesaplanabilir.

Bu radyonüklitlerin konsantrasyonu ile dis isinlanmalar arasında dogrudan bağlantı vardır. Bunun yanında tarımda topraktaki verimi yükseltebilmek için kullanılan yapay tohumlama ve gübreleme (yapay gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de lokal olarak topraktaki yüzeysel radyoaktiviteyi artırmaktadır. (NCRP, 1975).

Bu radyasyondan dolayı insanlar hem dis ortamda hem de iç ortamda çeşitli enerjilerdeki alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama isinlari tarafından içsel ve dissal isinlamaya maruz kalırlar.

1.5.2.2 Kozmik Isinlar

Kozmik isinlar yaklasik 90 yil önce Victor Hess tarafından keşfedilmiştir. Dünya yüzeyi varolusundan beri kozmik radyasyonlarla bombardiman edilmektedir. Bir kısım bilim adamları kozmik isinların süpernovaların kalıntılarında üretildiği konusunda güçlü kanıtlara ulaşmıştır. Bu arada başka bir grupta 10-20 eV civarındaki kozmik isinların, çok eski galaksilerin kara deliklerinden meydana geldiğini ileri sürmektedir. Kozmik radyasyonlar, değişik yüklerde ve farklı enerjilerde yayınlanan partikül veya elektromanyetik isinlardan ibarettir. Başka bir deyişle kozmik isinlar, atmosferde düşük yoğunluklu, yüksek enerjili radyasyon düzeyini meydana getiren ve karasal orijinli olmayan yüksek enerjili kuantal ve partiküllerdir. Yoğunlukları atmosferin üst tabakalarından deniz seviyesine doğru inildikçe azalmaktadır. Kozmik isin radyasyonunun belli başlı sorularından bazıları bunların nereden geldiği ve böyle yüksek enerjilere nasıl yükseldiğidir. Bu soruya verilecek cevap kozmik isinların orijininin henüz tam olarak bilinmemesidir. Su çok açıktır ki, bunların tamamına yakını solar sistemin dışından fakat galaksilerin içinden gelmektedir. Bilim adamları öken yıldızlardaki büyük patlamalardaki süpernovaların sorumlu olabileceğini speküle etmektedirler. Bu konuda birleşmelerinin nedeni de galaksimizdeki kozmik isinların enerjisinin, galaktik süpernovalardan kaynaklanan toplam enerjinin önemli bir bölümü olmasıdır. Süpernovaların oluşturduğu sok dalgalarıyla bu enerjinin transfer mekanizması, kozmik isinların gözlemlenmiş enerji dağılımı için tanımlanabilir.



Sekil 1.9 Elektromagnetik spektrum

Uzay kaynakli radyasyonlar kaynaklarına göre trapped (hapsolmus) partikül radyasyonlari ve solar veya galaktik ortamlardan gelen radyasyonlar olarak siniflandirilirlar. Hapsolmus partikül radyasyonlari elektronlar ve protonlardan ibaret olup, dünyanın etrafında magnetik alan etkisiyle tutulurlar. Bu magnetik alanlar Van Allen Baglari olarak adlandırilir. Dünyanın koruyucu atmosferine iliskin bu gün bilinen Van Allen Baglari gibi bir takim tanimlamalar stratosferik ve iyonosferik bir takim deneyler sonucunda elde edilir.

Dünyanın koruyucu atmosferi, deniz seviyesinin 3200 km üstünde yer alan ve evren ya da galaktik rüzgarlar tarafından püskürtülen yüklü parçaciklari yakalayan Van Allen Baglari denilen magnetik alanlardan olusur. Bu baglar 1958'de Amerika'nin ilk uydusu Explorer 1'in ilk haftalarında keşfedilmistir. Bu baglar dünyanın yer çekimi ve magnetik alanında hapsedilmiş yüklü parçaciklar içermekteler. Protonlardan olusan ve enerjileri 100 MeV'den baslayip astronomik degerlere kadar ulasabilen temel galaktik kozmik isinlar Günes sistemine yildizlar arasi bosluktan girerler. Bunlar yüksek enerjili isinların yaklasik %100'ünü olustururlar. Günes isinlari genelde 20 MeV'in altında (ki bu hala dünya için yüksek bir enerjidir) bunlardan daha düşük enerji seviyelerinde bulunurlar. Bu yüksek enerjili parçaciklar, dünyanın magnetik alanı ve jeo-magnetik enlem (jeo-magnetik ekvatorun altındaki ya da üstündeki uzaklık) tarafından etkilenirler. Atmosferin üzerindeki düşük enerjili protonların aki yogunlugu kutuplarda ekvatordakinden daha yüksektir. Bu yogunluk ayrıca günesin hareketinden de etkilenir. Patlamalar minimum olduğunda yogunluk da en azdır.

Van Allen Baglari, yüklü parçaciklari (protonlar, elektronlar ve alfa parçaciklari) ve kuvvet çizgilerinin birbirine yaklastigi kutupsal alanlara yönelen magnetik kuvvet çizgilerinin yanında uzanan bu sarmali kapsar. Parçaciklar kutupların yanındaki magnetik kuvvet çizgilerinin arasında ileri geri yansitilirlar. Van Allen Baglari'ndan en alçak olanı deniz seviyesinin 7700 km üzerindeyken en yüksek olanı yaklasik 51 500 km üstündedir. Galaktik veya solar radyasyonlar, büyük oranlarda protonları ve az miktarlarda helyum ve ağır iyonları içermektedirler. Trapped proton ve elektronları dünyanın etrafında bulunan ve az önce de bahsettigimiz radyasyon

kusaklarında bulunurlar. Kusaklar dünya atmosferini üst üste sarmış görünümündedir. Bu kusaklardaki elektron ve protonların enerjileri birkaç yüz MeV mertebesinde.

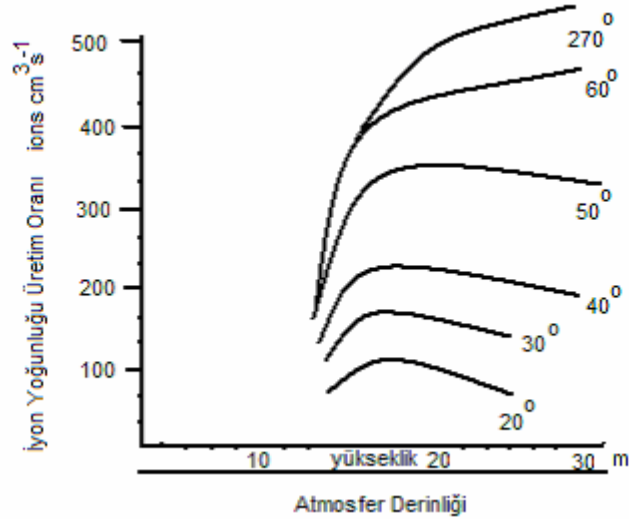
Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine girdiklerinde atmosferde bulunan bazı elementlerin çekirdekleri ile nükleer reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucu başka ışınlar üretilir. Uzaydan gelen bu ışınlar birincil ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen partiküllere de ikincil ışınlar denir. Galaktik radyasyonların %87'sini fotonlar, %11'ini alfa partikülleri, %1'ini bazı ağır çekirdekler ve %1'ini de yaklaşık 10^{20} eV'luk enerjiye sahip elektronlar oluşturmaktadır. Kozmik ışın partikül enerjileri çoğunlukla 10^2 ile 10^5 MeV arasında değişmektedirler. Daha yüksek enerjilere sahip olanları da vardır. Bu enerji aralığı solar sistem içindeki magnetik alanların değişiminden etkilenir. Ağır iyonlar yüksek relatif verime ve yüksek atom numaralarına sahip oldukları için ışınlamalarda önemli yer tutarlar. Solar sistem içindeki kozmik radyasyonların şiddeti zamanla değişmektedir. Bunun sebebi gezegenler arası ortam ve güneşte meydana gelen patlamaların sebep olduğu magnetik alanlardaki karışıklıklardır. Güneşteki büyük patlamalar 11 yıllık periyodik aralarla olmaktadır. Dünya etrafında bulunan jeo-magnetik alan, uzaydaki farklı kaynaklardan gelen 0-16 GeV arasında enerjilere sahip partiküllerin atmosfere girmelerini engellemektedir.

Güneşten dünyaya sürekli olarak 1 keV'lik enerjilerde partiküller gelmektedir. Bu partiküllerden dünyaya ulaşanlar, dünya etrafındaki magnetik alanın etkisine girdiklerinde bazıları yönlerinden saptırılıp tekrar uzaya gönderilir, bazıları ise dünya yüzeyine kadar ulaşır. 1-1000 keV arasındaki enerjilerde üretilen partiküller atmosfere girdiklerinde atmosferde bulunan atomların çekirdekleri ile reaksiyona girerler ve sekonder radyasyonları üretirler. Sekonder ışınlar, primer nötronlardan üretilirler. Yarı ömürleri çok kısa olup yaklaşık 1000 saniye civarındadır. Uzaydan gelen primer ışınların bir kısmı atmosferin alt tabakalarına, bir kısmı ise yüksek dağların tepelerine kadar ulaşmaktadır. Mezonlar deniz seviyelerine kadar inerler. İnsanlar bu çok karmaşık yapıya sahip çevresel radyasyonlara sürekli maruz kalmaktadır Radyasyon doz değerlendirmelerinde önemli yer tutan kozmik ışınları

primer (birincil) ve sekonder (ikincil) radyasyonlar olarak sınıflandırmak mümkündür.

Primer Kozmik Isınlar

Primer kozmik radyasyonların büyük bir kısmı güneş sistemi dışındaki galaktik sistemlerden gelmektedir. Az bir kısmı ise güneş patlamaları sonucu dünyamıza kadar ulaşan ısınlardır. Galaktik ve yıldızlar arası ortamlardan gelen kozmik ısınların büyük çoğunluğu yüksek enerjili protonlardır. Ayrıca yaklaşık %10 oranında ^4He iyonları ve çok düşük oranlarda da ağır partiküller, elektronlar, nötronlar ve fotonlar içermektedirler. Uzaydan gelen düşük enerjili yüklü partiküller, dünyanın magnetik alanı etkisiyle geri saçılarak tekrar uzaya gönderilirler. Geri saçılma olayı magnetik alanın büyüklüğü ile orantılıdır. Atmosferin en üst tabakalarındaki düşük enerjili fotonların aki yoğunluğu, kutuplarda ekvator bölgelerinden daha büyüktür. Sekil 1.10'da atmosferin farklı yüksekliklerinde üretilen iyonların yoğunluk oranları verilmektedir. Atmosferin üst tabakalarında uzaydan gelen düşük enerjili protonların etkileri güneşte meydana gelen patlamalara bağlı olarak zamanla değişmektedir. Bu etki, güneş aktivitesinin maksimum olduğu zamanlarda minimuma düşer. Minimum olduğu zamanlarda ise maksimuma çıkar.



Sekil 1.10 Farkli jeomagnetik enlemlerdeki iyon yoğunluklarınınin yükseklik ve atmosfer derinliklerine göre değişimleri

Primer radyasyonlar, atmosferde bulunan atomların çekirdekleriyle nükleer reaksiyonlara girdiklerinde, gama isinleri, elektronlar, nötronlar ve mezonlar üretilirler. Kozmik radyasyon dozu yükseklikten önemli oranda etkilenir. Şekil 1.10'da kozmik radyasyon dozunun deniz seviyesinden yükseldikçe değiştiği de görülmektedir. Ayrıca, atmosferin verilen her hangi bir yükseklikteki (yükseklik atmosfer derinliğinin veya o yükseklikteki birim alanın üstündeki hava kütlesinin bir fonksiyonudur) iyon yoğunluğu üretim oranının enleme bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Güneşteki patlamalarla ortaya çıkan ve dünyaya kadar ulaşan büyük atom numaralı yüklü partiküller düşük enerjilere sahip olduklarından bunların yüzeye yakın atmosferde meydana getirdikleri absorblanmış doz oranları da azdır.

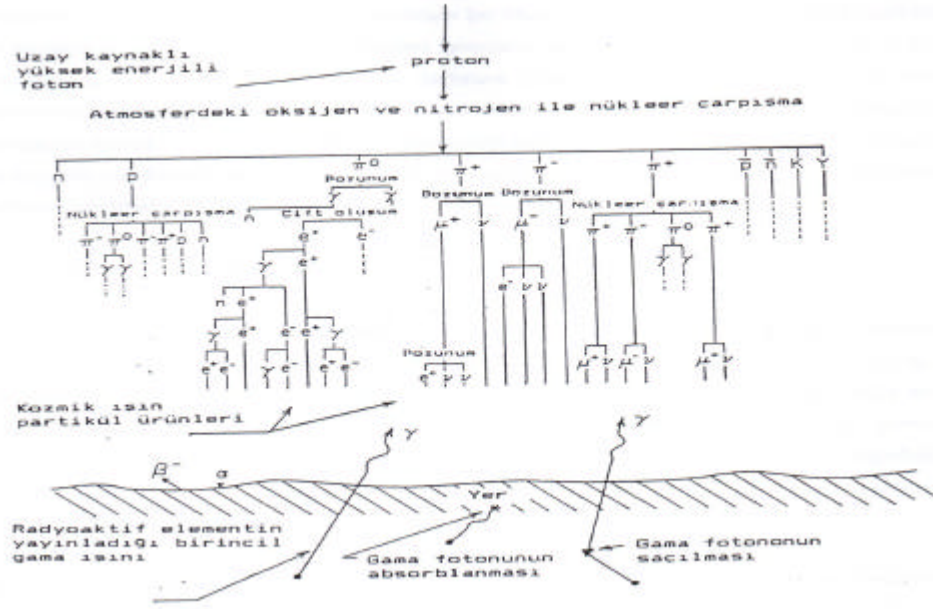
Sekonder Kozmik Isınlar

Uzay kaynaklı yüksek enerjili Primer kozmik ısınlar veya yüklü partiküller, dünya atmosferine girdiklerinde ortamda bulunan nitrojen, oksijen, argon gibi elementlerin çekirdekleri ile reaksiyona girerek nötronları, protonları, muonları ve kaonları üretirler. Bu arada dozimetrik açıdan çok önemli olan ^{14}C , ^3He , ^3H , ^{10}Be , ^7Be ve ^{22}Na gibi kozmogenik radyonüklitler de üretilirler. Bunlara ikincil kozmik radyasyonlar (sekonder kozmik ısınlar) ya da kozmogenik radyonüklitler denir. Nükleer deneylerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler atmosferde bulunan bu kozmogenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. (Thomas, C.W., Young, J.A., Wogman, N.A. and Perrinks, R. W., 1970). Şekil 1.11'de tek enerjili kozmik ısınların çarpışmalarla ürettiği ürün partiküller gösterilmektedir.

Nükleer deneylerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler atmosferde bulunan bu kozmogenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Kozmik ısınların dünya atmosferindeki atom çekirdekleri ile reaksiyona girmeleri sonucu üretilen nötronlar elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederek yavaşlar ve ^{14}C ve ^{14}N atomları tarafından yakalanırlar. Proton ve kaonlar yer seviyesine ulaşmadan bozunuma uğurlar. Bunların yarı ömürleri çok kısadır. Elektromagnetik kaskat, nötr pionların bozunumu sonucu üretilen protonlarla başlar. Bu fotonlar, elektron-proton çift oluşumuna ve kompton elektronlarının meydana gelmesine

sebepler olurlar. Bunlar yüzeye yakın atmosferdeki en önemli iyonizan kaynaklarını oluşturmaktadırlar.



Sekil 1.11 Farklı tipteki radyasyonların dünya yüzeyine nüfuz ediş biçimi

Bu proses kaskat olarak adlandırılır. Muonlar veya fotonlar içinde bozulan diğer pionlar da diğer kaskatları başlatırlar. Protonlar ve nötronlar üst atmosferde absorblanmış doz oranlarına önemli miktarda katkıda bulunur. Nötronlar elastik çarpışmalarla enerji kaybederek yavaşlar ve atmosferde bulunan ^{14}N ve ^{14}C atomları tarafından yakalanırlar. Nükleonik etki oranı, atmosferin alt tabakalarında daha azdır. Deniz seviyesinde kozmik ışınların absorblanmış doz indeksi içindeki oranları sadece %2 - %3 civarındadır. Bu oran içinde en büyük katkı çok yükseklerde yüklü pionların bozunumu ile üretilmiş muonlar ve iyonizasyon sonucu ortaya çıkan elektronlardan gelmektedir.

1.5.2.3 Yüzeğe Yakın Atmosferde Bulunan Kozmogenik Radyonüklidler ve Bunların Yıllık Etkin Doz Esdeğerine Katkıları

Doğal radyasyonların kara ve uzay kökenli oldukları ve bunların da primer ve sekonder isinlar olmak üzere iki gruba ayrıldığından bahsedilmisti. Primer kozmik isinlar dünya atmosferine girdiklerinde havada bulunan atomların çekirdekleri ile nükleer reaksiyona girerek ^{14}C , ^{24}Na , ^3H , ^{10}Be , ^7Be ve ^{22}Na gibi farklı reaksiyon ürünlerini ve nötronları, protonları, pionları ve kaonları üretirler. Protonlar ve nötronlar atmosferin üst tabakalarında absorblanırlar. Bunların üst tabakalardaki absorblanmış dozlara katkıları oldukça fazladır. Çarpışmalarla yavaşlayan nötronlar atmosferde bulunan ^{14}N atom çekirdekleri ile reaksiyona girerek ^{14}C 'ye dönüşür. Bu dönüşüm üst tabakalarda fazla olmakla birlikte yüzeğe yakın alt tabakalara inildikçe azalmaktadır. Öyle ki, deniz seviyesinde ölçümleri imkansız olur. Kozmogenik radyonüklitlerin bazıları uzun, bazıları ise çok kısa ömürlüdürler. Bunlar beta, gama ve x-isini yayınlırlar. ^3H ve ^{14}C beta isini yayınladıklarından havadaki konsantrasyonlarını belirlemek için sivi sintilatör detektörleri kullanmak gerekmektedir. ^7Be , ^{22}Na ve ^{24}Na izotopları beta isinleri ile birlikte gama isinleri da yayınlırlar. ^7Be ve ^{22}Na radyonüklidlerini, alınan hava örneklerinin gama spektrometresi cihazında uzun süre sayılması durumunda tespit edilebilir. 1994 yılında ÇNAM'de havada ölçülen radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (Bq/m^3)cinsinden ölçülmüştür. Bu iki kozmogenik radyonüklid ve havada bulunan diğer radyonüklidlerin konsantrasyonları Tablo 1.7'de verilmektedir.

Tablo 1.7 1994 yılı içinde ÇNAM'de havada ölçülen radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (Bq/m^3) (ÇNAM, 1994)

AYLAR	^{226}Ra	^{238}U	^{232}Th	^{137}Cs	^7Be	^{22}Na
Ocak-Şubat	$1,02 \times 10^{-3}$	$13,0 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$0,56 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$0,93 \times 10^{-4}$
Mart-Nisan	$0,42 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$0,14 \times 10^{-3}$	$2,86 \times 10^{-4}$	$5,7 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$
Mayıs-Haziran	$0,52 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$0,21 \times 10^{-3}$	$2,61 \times 10^{-4}$	$0,78 \times 10^{-3}$	$0,78 \times 10^{-4}$
Temmuz-Ağustos	$0,38 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$3,52 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-4}$
Eylül-Ekim	$1,52 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-3}$	$0,63 \times 10^{-3}$	$0,38 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$0,38 \times 10^{-4}$
Kasım-Aralık	$0,15 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$2,30 \times 10^{-3}$	$0,12 \times 10^{-4}$	$0,89 \times 10^{-3}$	$0,34 \times 10^{-4}$
Ortalama	$0,67 \times 10^{-3}$	$4,65 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-3}$	$0,13 \times 10^{-3}$	$2,53 \times 10^{-3}$	$0,08 \times 10^{-4}$

1.5.2.4 Kozmik Isinlar Nedeniyle Alinan Dozun Diger Kaynaklarla Karsilastirilmesi

Dünyada elektrik üretimi içinde %17 gibi önemli bir pay, nükleer reaktörler tarafından sağlanmaktadır. Bu oran gelişmiş ülkelerde çok daha yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Bütün mühendislik sistemleri gibi nükleer reaktörler de kaza riski tasimakta ancak, alınan önlemlerle bu risk çok düşük bir olasılığa indirilmektedir. Normal günlük yasantimizda karsilastigimiz radyoaktivitenin ancak çok küçük bir kısmı nükleer reaktörlerden kaynaklanmaktadır. Dünyada dogal olarak bulunan radyoaktif izotoplar nedeni ile kisi basina düşen ortalama doz yaklaşık 26 milirem'dir. Kozmik isinlar nedeni ile alınan doz ise 28 milirem düzeyindedir. Almanya'da bir insanın kozmik isinlar ve yer yüzündeki dogal radyoaktif maddeler nedeniyle aldığı doz 125 miliremdir. Bu rakam ülkenin coğrafi ve jeolojik yapısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Örneğin aynı değer Hindistan'ın güneybatı sahillerinde ve Brezilya'nın Atlantik sahillerinde birkaç bin milirem olarak ölçülmüştür. Bunlardan korunmanın hiçbir yolu yoktur ve herkes yaşadığı yöreye bağlı olarak az ya da çok bu dozu alır. Dogal radyasyon dışında insanların maruz kaldığı en büyük radyoaktivite kaynağı ise tıbbi amaçlı röntgen ya da radyoterapidir. Göğüs ya da dis için uygulanan X-isinlari yıllık 4-5 milirem düzeyindedir. Röntgen çektiğimizde ya da vücudumuza terapi uygulandığında aldığımız yaklaşık dozlar Tablo 1.8'deki gibidir.

Tablo 1.8 Vücuda Uygulanan Terapilerle Alinan Yaklaşık Dozlar

Röntgen Çekimlerinde	Ciger	100 milirem
	Mide, Barsak, Böbrek	1500-3000 milirem
	Bas, Dis, Omur	1000-4000 milirem
Terapi Uygulamasında	Kanser Tedavisi	3.000.000-5.000.000 milirem
	Cilt Hastalıkları	10.000.000 milirem

Nükleer enerjiden kaynaklanan doz ise yılda 1 milirem civarındadır. Yapı malzemelerinden yılda yaklaşık 7 milirem düzeyinde doz almaktayız. Uçak ile yerden yaklaşık 12 km. yükseklikte yolculuk yapmak, kozmik isinlar nedeni ile

saatte yaklaşık 0.5 milirem doz alınmasına neden olur. Günde 1.5 paket sigara içen birinin alacağı yıllık doz yaklaşık 8000 miliremdir. Çernobil kazasından sonra Türkiye’de bir yıl boyunca alınan en yüksek doz 59 milirem ve ortalama doz ise 15 miliremdir. Kaza sonucu alınan radyasyonun dozu yere bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin reaktör çevresinde 3 km. yarıçapında bir alan içerisinde alınan ortalama doz 3300 miliremdir. Alınan bu yüksek doz insanların kansere yakalanma toplam riskini %4 oranında artırıp, %20’den %24’e çıkarmıştır. Uluslararası Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICRP) standartlarına göre, nükleer reaktör çalışanlarının yılda en çok 5000 milirem doz alınmasına izin verilebilir. Daha sonra yapılan değişikliklerle bu sınır son beş yılın ortalaması için 2000 milirem olarak önerilmiştir. (ICRP, 1981)

1.5.2.5 Kozmik Isınların İçerdiği UV Radyasyonunun Etkileri

Güneş ışınları, Ultraviyole (UV) radyasyon, güneşten gelen radyant enerjinin bir şeklidir. Güneş elektromagnetik spektrum diye bilinen bir dizi enerji yayar..

Ultraviyole (UV) radyasyon, dünya yüzeyine erisen güneş enerjisinin ve kozmik ışınların doğal bir parçasıdır, fakat daima zararlıdır. UV radyasyonu ne görebiliriz ne de hissedebiliriz, fakat o vücudumuzdaki etkilerini hissederiz. UV ışınları dalga boylarına göre sınıflandırılırlar.

UV-A, UV radyasyonun en az zararlı şeklidir ve dünyaya büyük miktarlarda erişir. Çoğu UV-A ışınları ozon tabakasının içersinden doğrudan geçer. UV-B radyasyon potansiyel olarak çok zararlıdır. UV-B radyasyonunun çoğu stratosferde ozon tarafından yutulur. UV-C radyasyon çok enerjik olduğundan potansiyel olarak en fazla zararlıdır. Stratosferde oksijen ve ozon tarafından yutulur ve asla dünya yüzeyine erismez. Özetle, UV radyasyondan zararın esas olarak spektrumun UV-B sınıfından gelmesine rağmen eğer yeterli miktarlarda maruz kalırsa UV-A da bazı riskler ortaya çıkarır. Işınların vücudumuzda etkiledikleri alanların sınıflandırılmasında: Güneş ışınları uzun (infrared) ve kısa dalgalardan (UV-A, UV-B ve UV-C) oluşmaktadır. UV-A ışınının dalga boyu 320-380 nm' dir ve derinin derin tabakalarına (dermis) ulaşır ve yayılır. UV-A isini yıl boyunca ve gün içinde

degisik saatlerde, mevsimlerde veya hava kosullarında degismeksizin etkili olmaktadır. UV-B isinin dalga boyu 290-320 nm 'dir ve derinin üst tabakasini (epidermis) etkiler. UV-B isini yaz aylarında ve yüksek rakimli yerlerde daha yogundur. Kozmik isinların içerdigi çok küçük miktarlarda bile olan UV-B radyasyonu, insan vücudunun D vitamini üretmesinde katalizör olması nedeniyle gereklidir. Bununla birlikte büyük miktarlardaki UV-B sadece insanlar için degil çok genis biyolojik sistem için son derece zararlidir.

Insan Sagligi Üzerindeki Etkileri;

En önemli etkisi insanların bagisiklik sistemini zayıflatmasıdır. Diğer bir önemli etkisi, insanlarda geçici körlük, korneanın zedelenmesi ve ileri yaşlarda katarakta sebep olmasıdır. UV-B isinlerinin insanlar üzerine bir başka zararlı etkisi de deri kanseridir. Uzun süreli UV-B isinleri altında kalındığı takdirde önce deri hücrelerinde bozulma, 40 yaşlarında tümör oluşumu ve 50 yaşlarında da ileri safhada kanser görülebilmektedir.

Bagisiklik Sistemine Etkileri;

UV Radyasyonunun bagisiklik sistemine olan etkileri hayvanlar ve insanlar üzerinde ispatlanmıştır. Bu tamamen deri pigmentasyonundan bagimsizdir ve dünyanın her tarafında tüm insanlar daha sık hasta olma, siddetli enfeksiyon gibi UV 'nin bagisiklik sistemine olan olumsuz etkileri için risk altındadır.

Dermatolojik Etkileri;

Akut olarak UV-B maruz kalma sun-burn (Günes yanıkları), kronik olarak UV-B ye maruz kalma ise cildin elastikliğinin kaybolması ve derinin yaşlanmasının hızlanmasına neden olur. Bazı durumlarda ise isiga karşı siddetli alerji olayları kaydedilmiştir.

Göz İçin Zararları;

UV Radyasyonu katarakt, ve muhtemel noktasal dejenerasyon riskini arttırmaktadır. Bir çok faktör katarakt riskinin oluşmasına katkıda bulunur. Atmosferik ozonun %

10 azalması halinde katarakt riskinin her yıl için % 5 (Dünya genelinde 1.6 - 1.75 milyon vaka demek) artacağı hesaplanmaktadır.

Bitkiler Üzerine Etkisi;

Bitkiler UV-B isinlerinin zararlı etkilerinden korunabilmek için yaprak alanlarını küçültürler ki, bu da fotosentezde azalma demektir. Bunun sonucunda farklı bitkilerin birçoğunda ürün miktarında azalma görülmekte ve kalite de düşmektedir. Ayrıca UV-B isinleri topraktaki mikroorganizmaları öldürerek toprağı verimsizleştirmektedir. UV-B dari fideleri, çavdar ve ay çekirdeği gibi belirli bitkilerin büyümesini ve fotosentez mekanizmalarını bozmaktadır.

Kısaca yüzey UV-B miktarındaki artış ne kadar tam olarak ortaya konulmamış olsa da oldukça geniş zararlara yol açmaktadır. UV-B 'nin Ormanlar, deniz ve temiz su ekosistemleri ve ürün üretimi üzerindeki etkilerini belirlemek için daha geniş araştırmalar gerekmektedir.

İklim Üzerine Etkisi;

Canlıların, dünyada iklim üzerine etkisi bilinmektedir. Atmosferdeki karbondioksit, oksijen ve ozon dengesi de canlılar tarafından sağlanmaktadır. İklim üzerine bu gazların etkileri ise farklıdır. UV-B radyasyonuna maruz kalarak küçük organizmaların ve planktonların azalması, yine UV-B radyasyonuna maruz kalarak bitkilerin fotosentez mekanizmalarının zarar görmesi CO₂ miktarının artmasına ve sera etkisinin fazlalmasına yol açacaktır. Bu durumda dünya iklim dengesinin değişimine yol açmaktadır.

Kanser;

UV-B'nin en ciddi etkileri cilt kanser riskini arttırmasıdır. Dudak kanseri, tükürük bezleri, göz içi kanserleri gibi diğer kanserlerdeki artış riski ise bilinmemektedir. Kanser ile UV radyasyonu arasındaki ilişki detayları ile bir biçimde Uluslar arası Kanser Araştırmaları Ajansinin yayınlarında tartışılmış ve cilt kanserlerinin oluşumu ile ilişkili olduğu kesin olarak belirlenmiştir. Bir çok kanser vakası UV ye maruz kalmaktan daha çok, güneş banyosu yapma nedeniyle ortaya çıkmaktadır ve UV

radasyonu altında bu hastalığa rastlanma oranları beklenenden çok daha fazla ve muhtemelen çok daha hızlı olacaktır.

Günesten gelen kozmik isinlerin, bağışıklık sistemimizi güçlendirirken, kemiklerimiz için de gerekli olan D vitaminini sağlar. Ancak güneşin, hayatımızı zehir edebilen yönleri de var. Bunların arasında güneş çarpması, deri lekeleri, güneş alerjisi, cilt kanserlerini sayılabilir.

Gelen UV radyasyon dünya üzerinde yüzeylerden yansır. Yansıyan UV, eğer maruz kalınma süresi uzunsa, direkt UV gibi insanlara, bitkilere ve hayvanlara zarar verebilir. Çoğu yüzeyler UV radyasyonu farklı derecelerde yansıtır. Kar, UV radyasyonun %85'in üstünde bir miktarla en yüksek bölümünü yansıtır ve UV radyasyon yükseklikle artar, bu nedenlerle de kayakçılar ve dağa tırmananlar dikkat etmelidirler. Kuru kum ve beton %12'nin üzerinde yansıtabilir. Su ise sadece %5'ini yansıtabilir. Kumlu sahillerde güneş banyosu yapanlar, bir parkta yeşil çimenler üzerinde güneşe maruz kalanlardan %10'un üzerinde daha fazla UV-B alırlar. Güneşli bir günde hafif bir rüzgar serinlemeye neden olabilir, fakat bu cilde etki eden UV miktarını değiştirmez. Sıcaklığı UV radyasyonla karıştırmamak gerekir. Kanser riski yanında güneş ciltte erken yaşlanmaya neden olmaktadır. Uzun süren güneş banyoları, deride zaman içerisinde incelme, elastikiyetin bozulması (kirisiklik), kuruluk, pigmentasyon değişikliği, kilcal damarların belirginleşmesi, foto-yaşlanma ve deri kanserinin oluşma riskinin artmasındaki mekanizmadır.

Deri kanserine yakalanan hastaların geçmişlerinde, özellikle çocukluk dönemlerinde iki veya üç kez ciddi güneş yanıklarına maruz kaldıkları görülmektedir. Körpe ciltlerin yüksek koruma faktörlü kremlerle, sapka ve giysilerle korunmaları gerekmektedir. Dermatologlar cilt kanserine yakalanma riski açısından cilt tiplerini 6 veya 7 kategoride ele almaktadırlar;

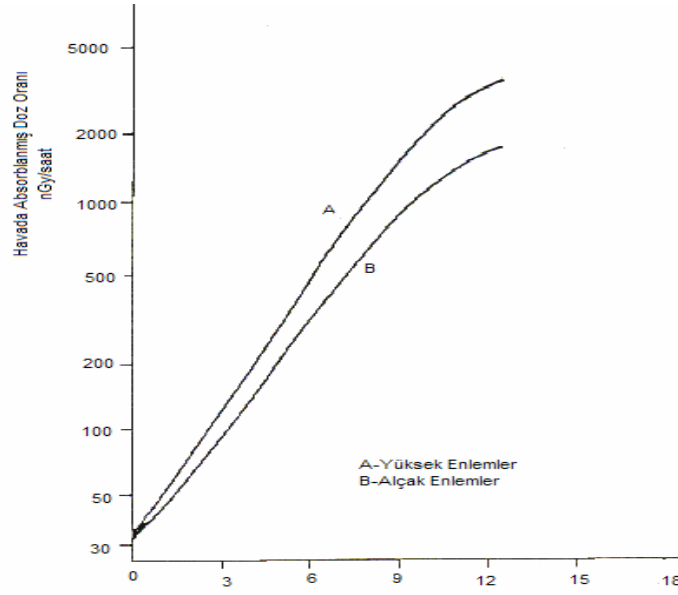
1. Kellere özgü solgun, çilli cilt; bunlar, mavi veya yeşil gözlü, sarı veya kızıl saçlı olmaktadır. Bu kişiler bronzlaşamaz, yalnızca kızarırlar. Bu tür özelliklere sahip kişilerde cilt kanseri riski yüksektir.
2. Sarı saçlılara özgü açık ten; çil görülebilir; bunlar açık renk saçlara ve açık renk gözlere sahiptirler. Cilt hafifçe bronzlaşabilmekle birlikte çok çabuk kızarmaktadır. Bu tür özelliklere sahip kişilerde cilt kanseri riski yüksektir.

3. Üçüncü kategoriye Avrupa'nin çoğunluğu girmektedir. Bunların tenleri Keltlerden bir ton koyu olmaktadır. Gözler herhangi bir renkte olabilmektedir. Saçlar kumraldan koyu kahverengiye uzanan bir renk skalası izlemektedir. Bu gruptakiler bronzlaşmadan önce çoğunlukla kızarmaktadırlar. Ancak bronzlaşmalarında ciltleri kahverengiye dönmektedir. Bu tür özelliklere sahip kişilerde cilt kanseri riski ortadır.
4. Dördüncü grubu Akdenizli tipi oluşturmaktadır. Bazı Asyalılar ve Hintliler de bu gruba girmektedirler. Bunların gözleri ve saçları koyu kahverengidir. Bu tür özelliklere sahip kişilerde cilt kanseri riski düşüktür.
5. Bu gruba Hintliler, Uzak Dogulular ve Pasifik Adalarında yaşayanlar girmektedirler. Bu tür özelliklere sahip kişilerde cilt kanseri riski çok düşüktür.
6. ve 7. kategoridekileri Afrikalılar, Afro-Karaipliler ve Avustralya yerlileri oluşturmaktadır.

UV-A isini derinin derin tabakalarına kadar ulaşip yayılarak deri kanserine neden olabilir. Güneş yanığını oluşturan UV-B isini ise daha az etkilidir. Bu nedenle güneş isinlerinden koruyan ürünler UV-A ve UV-B filtreleri içermelidir.

1.5.2.6 Kozmik Radyasyonların Havadaki Absorblanmış Doz Oranları

Yüzeğe yakın atmosferde iyonizasyon yapan bileşenlerin havadaki doz oranları, enleme ve yüksekliğe göre değişir. Havada birim hacimde üretilen iyonların oranı kozmik isin bileşenlerinin toplam yüklü partiküllere oranının bir ölçümüdür. Genellikle normal sıcaklık ve basınçta santimetre küp basına üretilen iyonların sayısı ile açıklanır. Şekil 1.12'de havada meydana gelen absorblanmış dozların değişimi gösterilmektedir. Havadaki doz oranları deniz seviyesinde 30 nGy/saat iken 12 km. yükseklikte 4000 nGy/saat'e kadar çıkmaktadır. Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu deniz seviyesine yakın enlemlerde yaşamaktadır. Deniz seviyesinde kozmik isin bileşenlerinin havada meydana getirdikleri doz, yaklaşık 32 nGy/saat olarak tahmin edilmektedir. Bu değer dünya ortalamasıdır. (NCRP,1976)



Sekil 1.12 Kozmik isinlerin farklı yükseklik ve enlemlerde havadaki absorblanmış doz oranları

1.6 Isparta'nın Doğal Yapısı

Isparta ili, Akdeniz Bölgesinin batı bölümünde iç kesiminde yer almaktadır. Göller bölgesinin merkezi konumundadır. İl, 30 derece ile 20 dakika ve 31 derece 33 dakika doğu boylamları ile 37 derece ve 18 dakika kuzey enlemleri arasındadır. Yüzölçümü 8933 km²'dir. Isparta, doğudan Konya'nın Beyşehir, Doganhisar ve Akşehir ilçeleri ile, kuzeyden Afyon'un Çay, Suhut, Dinar ve Dazkiri ilçeleri ile, batıdan Burdur'un Merkez, Aglasun ve Bucak ilçeleri ve güneyden ise Antalya'nın Serik ve Manavgat ilçeleri ile komşudur.

1.6.1 Yeryüzü Şekilleri

Isparta ili arazisi, III. jeolojik zamanda tesekkül etmiş, beyaz tebesir ve kalkerden meydana gelmiştir. Daha sonra tektonik volkanik hareketlerde yeni şekillenmeler kazanmıştır. Çoğunlukla sıkıma tektoniğinin hüküm sürdüğü paleotektonik dönemde bir takım kıvrımlı yapılar ve bindirmeler meydana gelmiştir. Bindirmeler, Ofiyolitik karmaşık ve Akdag kireç taşının, Vurdigaliyen yaşlı birimlere bindirmesi şeklinde olmuştur. Özellikle Kadiköy formasyonunda gözlenen kıvrımlar Alp

orojenezinin Preniyen faziyla ilgilidir. Çekme tektoniginin hüküm sürdüğü Neotektonik dönemde ise bir takım normal faylar horst-graben yapıları ve volkanizma etkinliğinin izlerini Isparta ve yakın civarında görmek mümkündür. Isparta yüksek ve engebeli bir toprak yapısına sahiptir. Isparta'nın yeryüzü şekillerinin %68.4'ü dağlar, %16.8'i ovalar ve %14.8'i platolardan oluşmaktadır. Toprakların %74'ü tarıma elverişlidir. İlin yüzölçümünün %7.5'i göllerle kaplıdır.

1.6.2 Dağlar

İldeki dağlar Toros'ların uzantisi durumundadır. Antalya körfezinin kara içine sokulan girintisine paralel olarak, körfezin doğusundan ve batısından başlayarak bu dağlar, kuzeye doğru giderek birbirine yaklaşıyor ve Göller Bölgesi'nin kuzeyinde birleşir.

Isparta'nın sınırları içerisindeki dağlar, Sultan, Karakus, Kuyucak, Dedegül, Davraz, Barla, Kapıdağı ve Akdağ'dır. Tektonik hareketler sonucu, çukur alanlarla, dağlar arasında çeşitli yükselti basamaklarında sıralanmış, düz plato alanları ortaya çıkmıştır. Isparta topraklarının %14.8'ini kaplayan platoların başlıcaları, Keçiözü, Atabey, Barla, Senirkent ve Afsar'dır.

Volkanik ve tektonik hareketlerle oluşan çukurların zaman içerisinde suyla dolmasıyla göller oluşmuştur. Bu yolla oluşan su birikintilerinin çok sayıda olmasından dolayı bu bölgeye 'Göller Bölgesi' adı verilmiştir. Isparta'da bulunan en büyük ve en önemli göller, Egirdir Gölü ve bir krater gölü olan Gölcük'tür.

1.6.3 Toprak Yapısı

Isparta ilinde topraklar, genellikle kalkerli ana yapı üzerinde gelişmiştir. Tektonik çöküntü olukları ise, IV. zaman alüvyonlarıyla dolmuş ve ilde tarımın temel kaynağını oluşturan topraklar ortaya çıkmıştır. Meyil %40 a kadar değişmektedir. Üst toprak, 8-40 santimetre arasında derinliğe sahip olup, genellikle killi-tinli kalkerli granüler ve dağılıbilir durumdadır. Alt toprak üst toprakla aynı yapıda

olmasına rağmen daha kaba bünyeli ve killidir. Toprak seviyesi bazı yerlerde taban suyu ile sınırlanmıştır.

Türkiye'nin ilk en zengin kükürt yatakları Keçiöborlu ilçesinde bulunmaktadır. Isparta ilinin Egirdir ve Yalvaç ilçelerinde kömür yatakları bulunmaktadır. Yalvaç ilçesinde Yarıkkaya, Yukarıkasıkara kasabası civarında kömür yatakları zaman zaman işletilmektedir.

Gölcük kraterinin volkan bacasından çıkan küllerin sulu bir yüzeye düşerek ani soğumaya uğramasıyla içinde gaz boşlukları olan taşlar oluşmuştur. Bu taşlara pomza taşı veya süngersi yapılarından dolayı sünger taşı adı verilir. Pomza taşlarının içinde bulunan gaz boşlukları birbirine bağlı olmadığından yalıtkanlık özelliği taşımaktadır. Bu sebeple biriktir yapısında kullanılmaktadır. Isparta'da Gölcük krater gölü çevresine yayılan pomza yatakları bulunmaktadır. Sarkikaraağaç ilçesinde bulunan Barit yatakları Sistler ve kireç taşlarında yer alan barit yataklarının rezervi 17 milyon ton olarak tahmin edilmekte olup, tenörü %30'lardan %90'lara ulaşır.

Isparta-Antalya yolu üzerinde Sav kasabası yakınlarında , halk arasında köfke denilen, temelde tüflerden meydana gelmiş Tras dağları vardır. Tras yataklarının rezervinin 30 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir.

Isparta'da Gökbag çevresinde bej renkli kireç taşları mermer olarak değerlendirilmektedir. Gökçebag çevresinde bej renkli kireç taşları mermer olarak değerlendirilmektedir.

Egirdir'e bağlı-Ayvalıpınar dolayında harzburjit ve dunitler içerisinde mercerler şeklinde bulunduğu belirlenen krom cevherleşmesi %20-45 arasında Cr_3O_3 tenoruna sahiptir. Bölgede 30 ayrı noktada bulunan kormitlerden 150 bin ton jeolojik rezervi olduğu belirlenmiştir.

Isparta Egirdir Göltas köyü dolayında bulunan bu cevherleşme, flis düzeyinde damarlar şeklinde bulunduğu tespit edilmiştir. % 35 dolayında As_2S_3 ihtiva eden yatağın hesaplanmış rezervi 34 bin tondur.

1.6.4 İklim

Isparta ili, Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu iklimi arasındaki geçiş bölgesinde yer almaktadır. Bu sebeple il sınırları içinde her iki iklim özellikleri de görülür. Ancak, Akdeniz kıyılarında görülen sıcaklık ve yağış ili, karasal iklimin özelliği olan düşük yağış bölgede tam olarak görülmez. Meteorolojik metotlarla yapılan araştırmalarda Isparta'nın iklim yapısı; soğuk -yari kara iklim tipi olarak belirlenmiştir. İlin Akdeniz'e yakın olan güney bölgelerinde Akdeniz ikliminin özelliği gözlenir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar, ilin kuzey bölümlerine göre ilik ve yağışlı geçer. Kuzeydoguya gidildikçe karasal iklim özelliklerini gösterir; kışlar daha soğuk geçer. Kuzey bölgeler daha az yağış almaktadır.

Isparta'da ölçülmüş aktüel (mahalli) basınç ortalamasına 898.0 milibardır. Aylara göre basınç değeri incelendiğinde ise en yüksek basıncın Kasım ayında, en düşük basıncın ise Temmuz ayında olduğu görülür. Yaz aylarında basınç düşük seyrederek. Isparta'da uzun yıllar içerisinde tespit edilen en yüksek basınç 919.9 mb en düşük basınç ise 869.6 olmuştur.

Isparta'da ortalama rüzgar hızı saniyede 1.9 metredir. Aylara göre hız ortalaması içinde 2.4 m/sn ile Eylül ve Ekim ayları en düşüktür. Uzun yıllar ölçümlerine göre, en hızlı rüzgar 30,7 m/sn ile güney yönünden kaydedilmiştir. Rüzgar hızının 10.8 ile 17.1 m/sn arasında olduğu, kuvvetli rüzgarlı gün sayısı ortalama 33 gündür. Fırtınalı günler ortalaması ise yılda 6 gündür. Isparta'da birinci derecede hakim rüzgar yönü 3369 esme sayısı ile batı, ikinci derecede 3162 esme sayısı ile güneydogu, üçüncü derecede hakim rüzgar yönü ise 2520 esme sayısı ile kuzeydogu olarak belirlenmiştir.

Isparta da yıllık ortalama nem %62 dir. Nisbi nem degerleri, kis aylarında daha yüksek, yaz aylarında da daha düşük olmaktadır.

Klimatolojik bulutluluk gözlemlerinde, gökyüzünün tamamı 10 esit parçaya bölünmüş olarak kabul edilir. Isparta'da yıllık ortalama bulutluluk 4.3 dür. Yil içinde bulutlulugun en az olduğu aylar Temmuz ve Agustos, en fazla olduğu aylarda kis aylaridir. Ortalama bulutluluk ile ortalama nisbi nem arasında bir paralellik olduğu açıkça görülür. Ortalama bulutlulugun 2.0 ila 8.0 arasında olduğu günlere bulutlu günler denir. Buna göre yıllık ortalama bulutlu günler sayısı 180'dir. Bulutlulugun 8.1 ile 10.0 olduğu günlere kapali günler denir. Yillik kapali günler sayısı 67.3 dür. Yillik açık günler ortalamasi ise 117 gündür.

Isparta'da yıllık sisli günler sayısı 13 dür. Isparta'da dolu olayi özellikle mart, mayis ve haziran aylarında görülür. Dolu yagisin da yıllık ortalama 4 gündür. Simsek ile birlikte gök gürültüsünün duyulmasına oraj denir. Orajli günler daha çok mayis ve haziran aylarında yasanir. Isparta'da yilda ortalama 26 gün orajli geçmektedir.

Yillik ortalama sicaklik 12.1 C'dir ortalama sicaklik aylara göre incelendiginde en yüksek ortalama sicakligin Temmuz ayında, en düşük ortalama sicakliga da Ocak ayında ulasildigi görülmektedir. Isparta'da en yüksek sicaklik 37.5 C, en düşük sicaklik -21 C olarak ölçülmüştür. Yillik toplam yagis miktarı ortalama 600.4 mm'dir. Aylara göre yagis miktarı incelendiginde en az yagisin Agustos ayında olduğu görülür. En fazla yagis ise kis-ilkbahar aylarında meydana gelir. Il genelinde kar yagislari Kasim ayında baslayip Nisan ayında sona ermektedir. Yilda ortalama karla örtülü gün sayısı 14.9 olup, yen yüksek kar örtüsü 59 santimetre olarak ölçülmüştür.

Isparta da aylık ortalama güneşlenme süresi en çok Temmuz ayında 12 saat 2 dakika, en az ise Aralık ayında 3 saat 36 dakikadır. Güneş isinlerinin siddeti santimetre-kareye kalori olarak ölçülür. Isparta'da yıllık ortalama güneş isinlerinin siddeti 311.61 cal/cm³ maksimuma ulastigi Temmuz ayında da 480.73 cal/cm² dir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Radyasyonun Madde Ile Etkilesimi

Radyasyon madde ile ya saçılma yada sogrulma seklinde etkilemektedir. Radyasyonun vücut dokulari tarafından sogurulmasi biyolojik hasarlara neden olabilir. Sogurma, radyasyonun deteksiyonunun temelini olusturur. Sogurulmanın derecesi uygun zirhlama yapilmasının temel bir faktörüdür.

Yayilan radyasyondan maddeye enerji transferi iki esas yolla olmaktadır. Bunlar, iyonizasyon ve eksidasyondur. İyonizasyon, atomdan bir elektron kopararak atomu pozitif yüklü hale getirmektedir. Eksidasyon ise, atomik sisteme enerji yüklemesi sonucu atomu en alt enerji seviyesinden daha yukarılardaki enerji seviyelerine yükseltmektedir.

Radyoaktif parçacıklar, yüksüz parçacıklar (nötron, nötrinolar, ...) ve elektromagnetik etkilemeye girenler (X isinlari ve gama isinlari) olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Nötronların madde ile etkilemesi basli basina bir konu olmakla beraber, nötrinoların madde ile etkilemesi ise çok zayıftır. Bunların ortalama etki kesitleri 10^{-48} cm^2 mertebesindedir. Elektromagnetik olarak etkilesen radyasyonlar ise üç ana gruba ayrilabilir. Bunlar; yüklü ağır parçacıklar, elektronlar, elektromagnetik isinlardır. Her üç grup isimada da 100 MeV'e kadar olan enerjilerde enerji kaybi genellikle elektromagnetik etkileme ile meydana gelmektedir.

Yüklü Parçacıkların Madde Ile Etkilesimi

Bütün atomlar normalde elektriksel olarak nötrdür. Bir parçacık yörüngedeki elektrona çarptığında elektronu iterek iyon çifti olusturmaktadır. Ayrilan elektron atomun toplam negatif elektriksel yükünü bir azalttigi için atom pozitif yüklü olmaktadır. İyon çifti pozitif yüklü atom ve negatif yüklü elektrondan oluşmaktadır. Bu tür iyon çifti olusturma kapasitesine sahip parçacıklara iyonlastirici radyasyon adı verilmektedir. Farkli tipteki parçacıkların iyonlastirma güçlerini karsilastirmak için "spesifik iyonizasyon" tanimi kullanılmaktadır. Spesifik iyonizasyon= oluşan iyon

sayisi/yol(cm). Spesifik iyonizasyon, yüklü parçacığın hizina ve sogurucu materyalin yogunluguna baglidir.

Ayrica, yukarida adi geçen üçlü gruptan sadece yüklü agir parçaciklarin belirli bir erisme uzakligi vardir. Bunun anlami, mono enerjili yüklü agir parçaciklar demeti belli kalinliktaki bir maddeyi geçerse demetteki parçaciklarin sayisi degismeden enerjilerini kaybetmektedirler. Bu parçaciklar madde içinde pratik olarak ayni yolu katettikten sonra durmaktadirlar. Parçacigi durduran en az sogurucu madde kalinligina, o parçacigin sözü edilen madde içindeki erisme uzakligi denmektedir.

Radyasyonun Madde Ile Etkilesmesi

Elektromagnetik isinlar madde içeresinden geçerken siddetleri azalmaktadır. Radyasyon korunmasi açısından X ve gama isinlari orijinleri disinda birbiri ile denk özellikteki radyasyonlardir. Gama isinlari çekirdekten yayilirken X –isnleri dis yörüngedeki elektronun daha iç yörüngeye dönüşü sirasinda yayilir. X-isininin enerjisi elektron enerji seviyelerinin fırkına hemen hemen esittir. X ve ? isinlari yüksüzdür dolayisi ile elektrostatik güçlerle etkilesmezler. Ancak, enerjilerini yüklü parçaciklara (elektron) aktarirlar. Bu aktarma islemi üç temel etkilesimle olmaktadır. Bunlar, fotoelektrik olay, Compton olayi ve çift olusumu olayidir. Digerleri en azindan çok yüksek olmayan enerjilerde ihmal edilebilir.

2.1.1 Fotoelektrik Olay

Ilk defa 1887’de Hertz tarafından gözlenmis olan fotoelektrik olayin daha sonra yapilan hassas deneylerle de saptanan önemli özellikleri asagidaki gibi siralanabilmektedir;

-Metal yüzeyler isik ile aydinlatildiklari zaman elektron yayabilirler fakat pozitif iyonlar yayamazlar. Metal yüzeylerin bu sekilde elektron yayip yayamayacaklari gönderilen isigin frekansina baglidir.

-Metalden metale degisen bir frekans esigi vardir ve ancak frekansi bu esik degerden büyük olan isik bir fotoelektrik akim olusturmaktadır.

-Fotoakim olustuktan kısa süre sonra kararlı degerine ulasarak büyüklüğü isigin siddeti ile dogru orantili olarak artmaktadır.

-Fotoelektronların kinetik enerjisi isik kaynagının siddetinden bagimsiz olup, gelen isigin frekansi ile dogru orantili olarak artmaktadır.

Fotoelektrik olayın varlığı klasik elektromagnetik teori ile anlasilabilir. Çünkü metallerin elektron içerdikleri eski zamanlarda da bilinmekte idi ve bunlar isik sogurumu ile ivmelendirilerek metalden koparilabilmekteydiler. Isik bir elektromagnetik dalgadır ve isigin elektrik alanı elektrona $e \frac{e}{m}$ ivmesini kazandırmaktadır. Fakat yukarıda deginilen siddet ve frekans bagimlilikleri klasik teori çerçevesinde kalınarak açıklanamaz. Isigin siddeti e^2 'nin zaman ortalaması ile orantilidir. Siddetin artması e 'nin ve dolayısı ile elektronların ivmesinin artması demektir. Bu ise sökülen fotoelektronların kinetik enerjisini artırır. Üstelik bunun frekans ile ilişkisi yoktur. Bu klasik sonuçlar ise gözlemlerle çelismektedir.

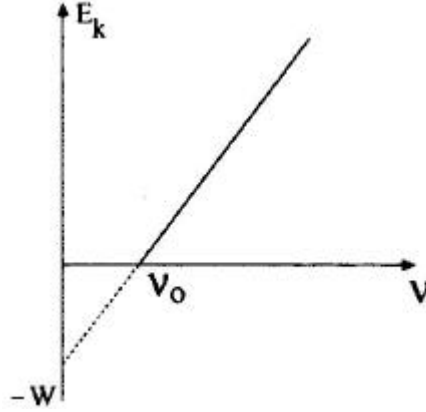
Olayın dogru açıklaması, Planck varsayimini, isik $h\nu$ enerjili fotonlardan (elektromagnetik enerji kuantumlarından) oluşur şeklinde ele alan A.Einstein tarafından 1905'te yapılmıştır. Bir fotonun sogurulması, bir elektronun enerjisini $h\nu$ kadar arttırmaktadır. Bunun W kadarlık kısmı elektronu metalden ayırmaya harcanmalıdır. W 'ye metalin iş fonksiyonu denmektedir ve bu metalden metale degismektedir. $h\nu < W$ ise elektron sökümlü olmayacak, fakat $h\nu > W$ ise sökümlü olacak ve geriye kalan $h\nu - W$ enerjisi ise elektronun kinetik enerjisi halinde kendini gösterecektir. Enerji korunumunun uygulanması,

$$\frac{1}{2} m \mathbf{J}^2 = h\nu - W$$

şeklinde elektronun kinetik enerjisi ile ışığın ν frekansı arasındaki çizgisel bağımlılığı çok basit bir şekilde açıklamaktadır. Bu bağıntı;

$$n_0 = \frac{W}{h}$$

şeklinde n_0 eşik frekansı ile W iş fonksiyonu arasındaki bağımlılığı da vermektedir.



Sekil 2.1 Fotoelektronların kinetik enerjisinin ışığın ν frekansına göre değişimi. Doğrunun uzantısının kinetik enerji eksenini kestiği nokta W iş fonksiyonunu vermektedir. Doğrunun eğimi de h sabitini verir.

Fotoelektrik akımın ışık şiddetine bağımlılığı da foton düşüncesi kullanılarak basitçe açıklanabilir. Daha büyük ışık şiddeti, daha fazla sayıda foton ve bu da daha fazla elektron yani daha büyük bir fotoakım demektir.

2.1.2 Compton Olayı

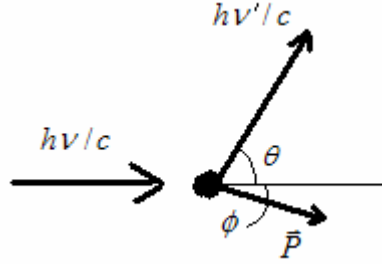
Foton enerjilerinin bağ enerjisinden yüksek olduğu durumlarda gama fotonu elektron ile esnek çarpışma yaparak saçılmaktadır. Elektron, gama fotonuna göre serbest bir elektron olarak gözükmektedir. Durgun bir elektron üzerine E_g enerjili ve E_g/c momentumlu bir foton demeti düşmektedir. Fotonlar θ açısı altında saçılmakta ve elektron ise ϕ açısı altında itilmektedir. Enerji ve momentumun korunumundan saçılan fotonun λ' dalga boyu için,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2p\hbar}{mc}(1 - \cos\theta) = \lambda_c(1 - \cos\theta)$$

elde edilir. Bu bagintiya Compton kaymasi denir. λ_c elektronun Compton dalga boyu olup,

$$\lambda_c = 2p\hbar/mc = 24.26 \times 10^{-13} \text{ m} = 0,024 \text{ \AA}$$

degerindedir.



Sekil 2.2 Compton olayi

2.1.3 Çift Olusumu

Yüksek enerjili gama fotonlari enerjilerini çift olusumu ile transfer ederler. Bir gama isininin çekirdege yakin geçerken aniden kaybolarak bir elektron-pozitron çiftine dönüşmesine çift olusumu ya da materilizasyon adi verilmektedir. Bu olayda elektromagnetik enerji maddesel cisimlerin olusumu için harcanir. Çift üretiminin meydana gelebilmesi için elektron-pozitron çiftinin durgun enerjilerinin toplami olan 1.022 MeV'den daha büyük olması gerekmektedir. Bu etkilesim çekirdegin çok yakininda gerçekleşir ve momentum korunur.

Fazla enerji elektron ve pozitronun kinetik enerjilerini oluşturmaktadır.

2.2 Radyasyon Ölçme Cihazlari

Vücut tarafından absorbe edilen radyasyon, duyu organlari tarafından hissedilmez. Ancak canlı dokulara ciddi şekilde zarar verebileceginden, radyasyonlu ortamda maruz kalinan radyasyonunun dozunu belirleyebilmek için ölçülebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu tür ölçümleri yapabilecek aletler geliştirilmiştir. Bu

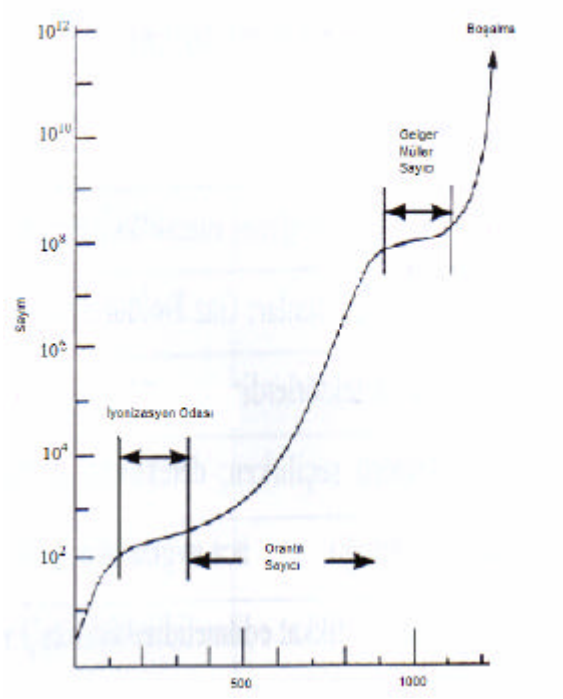
aletler, kullanılacak amaca göre, alan ölçüm cihazları ve kişisel ölçüm cihazları olmak üzere iki şekilde incelenebilir.

2.2.1 Alan Ölçüm Cihazları

Bu tür cihazlar, radyasyonla çalışılan bölgenin doz seviyelerinin ölçülmesinde faydalı olmaktadır. Gazlı alan ölçüm cihazları, sintilasyon detektörleri ve katı-hal detektörleri olmak üzere üç farklı yapıdadırlar.

2.2.1.1 Gazlı Alan Ölçüm Cihazları

Gazlı alan ölçüm cihazları, radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğinden yola çıkarak geliştirilmiştir. Hassas bölge gaz ile doludur ve bu gaz, halojen, organik madde buhari ya da tüm bunların karışımından meydana gelmiştir. Radyasyona hassas bölgenin tam ortasında bir elektrot bulunmaktadır ve bu odacığın duvarları da yine elektrot gibi davranmaktadır. Radyasyon, gaz ile dolu bulunan metal odayı boydan boya geçerken serbest elektronlar ve pozitif iyonlar meydana getirir. Elektronlar olusan elektrik alanın etkisiyle anot teline doğru çekilirler ve burada toplanarak bir elektrik pulsu oluşturlar. Anot voltajı zayıf ise elektronlar, iyonlar ile yeniden birleşebilirler. Bu tür birleşme olayı, yüksek iyon yoğunluğu durumunda meydana gelebilir. Uygun bir yüksek voltajda yakınlardaki bütün elektronlar bir araya gelir ve bu durumdaki bir detektör İyonizasyon Odası olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda, anoda doğru hareket eden elektronlar diğer gaz atomlarını iyonlaştırırlar ve böylece daha da fazla elektron ortaya çıkmış olur. Bu durumdaki bir dedektör Orantili Sayıcı olarak bilinir. Voltaj daha da yüksek ise, elektronların sayısında çok daha fazla artma olur ve anotta toplanan elektron miktarı artık başlangıçtan bağımsız hale gelir. Bu durumdaki bir detektör ise Geiger Müller sayıcısı olarak bilinir. Farklı voltaj bölgeleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Gerçek voltajlar bir detektörden diğerine geniş bir şekilde değişebilmektedir. Bu voltaj değişimi, detektör geometrisine, gaz türüne ve gaz basıncına bağlıdır.



Sekil 2.3 Farklı voltaj bölgelerinin sematik gösterimi (Canberra, 1997)

iyonizasyon Odaları

Çok zayıf sinyal çıkışına sahip olmaları nedeniyle yalnızca gama ışınlarının ölçümü için kullanılmaları söz konusu olamamaktadır. İyonizasyon odaları, çok büyük akım oluşturan radyoaktif kaynakların deteksiyonunda kullanılırlar. İyonizasyon ölçümleri tam olarak, çıkışı kaydetmek için kullanılan bir elektrometre yardımı ile yapılabilir (Melissinos, 1966).

Orantili Sayıcılar

Bu tür sayıcılar genellikle X-ışınlarının ölçümleri için kullanılırlar ve farklı hacim ve şekillerde geliştirilebilirler. Silindirik bir görünüme sahiptirler ve pencereleri de düz silindirdir. Gaz akisi prensibine uygun olarak çalışırlar. İnce bir Berilyum pencereye sahip olabildikleri gibi penceresiz de olabilirler. Bir detektör tipik olarak, efektif pencere hacmi, gaz iyonlaşma uzunluğu, uygulanan voltaj hızı ve çözünürlük gibi fiziksel özelliklerine bakılarak belirlenir. Tipik olarak çözünürlükler % 16-20 FWHM (Full Width at Half Maximum) değerindedir.

Bu sayicilarda uygulama voltaji geometriye bagli oldugu kadar, içerdigi gazin türüne de baglidir. Yüksek enerjili X-isinin ölçümü için disariya karsi nötr olan soygazlardan Ksenon ve Kripton kullanilirken, düşük enerjili X isinlerinin ölçümü için ise Neon gazi kullanılmaktadır. Bazen de bu tip detektörler de P-10 gazi diye adlandırilan ve %90 Argon gazi ile %10 metan gazindan olusan gaz karisimleri da kullanilabilmektedir. Gaz basincilari tipik olarak 1 atmosferdir (Leo, 1987; Anderson, 1989; Canberra, 1997).

Geiger Müller Sayicilari

Bu tür sayicilarin çikisinda büyük bir voltaj pulsu olusmaktadır. Bu nedenle detektörde sinyal yükseltme islemine gerek kalmamaktadır. Geiger Müller sayicilarinda çikis puls yüksekliginin baslangıçtaki iyonizasyondan bagimsiz olması nedeni ile, bu sayicilar ile enerji ölçümü yapılamamaktadır. Farkli boyutlari bulunan bu detektörler, ince bir mika pencere ile kullanılmaktadır. Detektöre uygulanmasi gereken voltaj plato bölgesi sinirlari içindedir ve bu plato egrisinin egimi yaklaşık olarak 2-5 derece arasında degisebilmektedir. Plato bölgesi, anot voltajinin bir fonksiyonu olarak sayim hizinin tespiti ile bulunur.

Iyonizasyondan dolayi meydana gelen bosalma genellikle detektör tarafından yok bastirilabilir ve asalgazla dolu olan detektöre az miktarda halojen katilmasi ile de yok edilebilir. Ayrica anot ve beyaz kaynagi arasindaki büyük bir direnç üzerine düşen voltajin plato bölgesi sinirlari içerisinde kalan bir degere ayarlanmasi ile de bosalmanın meydana gelmesi engellenebilir (Anderson, 1989).

Geiger Müller sayicisi, her pulstan sonra bosalma tamamlanincaya kadar sayim yapmaz. Sayimin yapılmadigi süreye ölü zaman araligi denir ve süresi 100 mikrosaniye kadardir. Bu nedenle bu tip detektörler zayıf sayim hizi olan uygulamalarda yetersiz kalmaktadırlar.

2.2.1.2 Sintilasyon Detektörleri

Bu detektörler radyasyonun bir sintilatörle etkilesmesi sonucu fosforesans ya da flouresans yaparak bir isik pulsu meydana getirmesi ve bu isik pulsunun bir foto çoğaltıcı (yükseltici) tüp yardımı ile elektrik pulslarına dönüştürülmesi ve sayılması esasına dayanır. Deteksiyon ve sayma için gerekli düzenek bir sintilasyon sayacı olarak bilinmektedir. Foto çoğaltıcı tüp, bir fotokatot, bir elektron odaklayıcı ve 10 adet (veya daha çok) dinottan meydana gelmiştir. Bu tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde sayılarının artması mümkün olur. Anot ve dinotlar, tüp tabanında bulunan fislere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtasıyla biyazlanırlar. Bir sintilasyon detektörü genel olarak foto çoğaltıcı tüp ve sintilatör şeklinde baslıca iki kısma ayrılabilir (Canberra, 1997).

İyi bir detektör için kullanılan kristalin bazı özellikleri tasıması gerekmektedir. Örneğin, radyasyonun biraktığı enerjiyi iyi bir verimle isik enerjisine çevirmelidir. Alfalar ve protonlar gibi ağır tanecikler için kristal ince olabilirken, beta, gama ve nötronlar için kristal kalınlığı birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında olmalıdır. Ayrıca, kristal, kendi yayınladığı isigi için seffaf olmalıdır. Compton saçılması, fotoelektrik olay ya da çift oluşumu olayları ile gamalar, enerjilerini kristale aktardıklarından, kristalin atom numarası yüksek olmalıdır. Bunun yanında, isik emisyon süresi oldukça kısa olmalı, kristal kolayca hazırlanabilmeli ve zamanla bozulmamalıdır.

Sintilasyon sayacıları, gazlı sayacılara göre bazı üstünlüklere sahiptir. Sintilasyon sayacılarında hassas hacim genelde kati halde olduğundan X-isinleri veya gama isinlerinin deteksiyonunda verim Geiger sayacılarının %1'lik verimine kıyasla çok daha fazladır. Sayacın cevap (response) zamanı bazı inorganik kristaller için 10^{-6} saniye ile 10^{-9} saniye arasında değişir. Bu kadar kısa cevap süresi, yüksek hızlı sayımları kayıpsız olarak gerçekleştirmeyi sağlar. Radyasyon kaynağı, kati sintilatörün çok yakınında hatta bazen de içinde tutulabileceğinden ince pencerelerin kullanılmasına gerek kalmamaktadır (Arya, 1989).

NaI(Tl) Sintilatörleri

Talyum ile aktive edilerek oluşan sodyum iyodür NaI(Tl) kristali gama isinlarının sayımı için mükemmel bir sintilatördür (Yaramis, 1985). Iyotun atom numarasının yüksek olması, yüksek fotoelektrik absorpsiyonu ve yüksek verim sağlar. Ancak çok kırılgen olmaları, ısıya ve mekanik strese karşı hassas olmaları, nemli ortamlarda renk değiştirmeleri ve pahalı olmaları gibi dezavantajları vardır (Görpe ve Cantez, 1972).

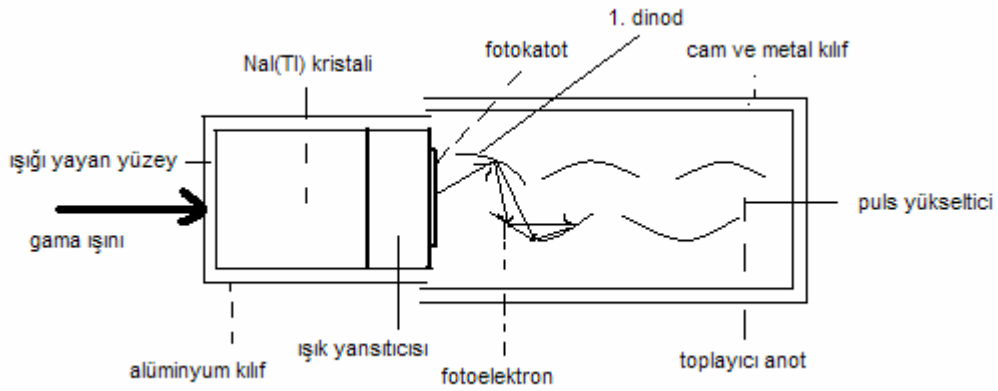
Tablo 2.1 Radyasyon deteksiyonunda kullanılan bazı sintilatörlerin özellikleri

Kristaller	Madde	λ max. (Å)	Yogunluk	Kırma Indisi	Azalma Sabiti (m μ s)	Ölçüm çeşidi
Inorganik	NaI(Tl)	4100	3.67	1.775	250	Gama
	CsI(Tl)	4200-5700	4.51	-	1100	Gama
	KI(Tl)	4100	3.13	-	1000	Gama
	CdW	5200	7.90	2.2	1000	Gama
	LiI(Eu)	4400	4.06	-	2000	Yavaş Nötronlar
	ZnS(Ag)	4500	4.09	2.356	200	Alfa, Beta
Organik	Antrasen	4400	1.25	1.59	32	α , β , γ , Hızlı Nötronlar
	Trans-stilben	4100	1.16	1.622	6	α , β , γ , Hızlı Nötronlar

Bu detektörlerin en iyi çözünürlüğü 3x3 boyutlarında bir kristal kullanılarak ¹³⁷Cs radyoaktif kaynağından alınan 662 keV enerjili gama isinleri için %7.5 ile %8.5 arasında değişir. Bu kristal daha küçük ve daha büyük boyutlarda kullanıldığında bu kadar iyi çözünürlük elde etmek mümkün değildir.

NaI kristalindeki isik azalma sabiti yaklasik olarak 0.25 μ s civarındadir. Bunun yaninda tipik bir yüke hassas ön yükselteçten 0.5 saniye civarında yükselme zamanına sahip çıkis pulslari elde edilir. Bu sebepten nedenle NaI detektörleri yüksek aktiviteli ölçümler için, plastik detektörler kadar iyi degildirler. Çünkü bu tür ölçümlerde kısa çözümleme zamanına ihtiyaç vardır (Leo, 1987; Anderson, 1989; Canberra, 1997).

NaI(Tl) kristali nem kapici oldugundan foto çoğalticiya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi alüminyum levha ile kaplidir.



Sekil 2.4 Çesitli çevresel örnekler ve farklı geometrilerde NaI(Tl) detektörü

Bu levhanın iç kısmi isik yansitici olarak magnezyum oksitle kaplidir. İyi bir sintilatör olan NaI(Tl) kristali, üzerine gelen radyasyon enerjisini sogurarak görünür bölgede isik yayimlar. Sintilatör kendi isiklari için geçirgen olduklarindan kristalden yayimlanan ve yüzeylerden yansiyan bu isinlar foto çoğaltici tüpün foto katodu üzerine düşerler. Foto katodun yüzeyi genellikle ince bir sezyum-antimon alasimi levhadan yapılmıştır. Foto katoda gelen isinlar buradan fotoelektrik olayla elektron yayimlanmasına neden olurlar. Bu elektronlar katli potansiyel farlari içinde hizlandırılarak BeCu alasimindan yapılmis ve sıra ile yerlestirilmis dinodlar üzerine çoğalarak düşerler. Bu alasimin özelligi, sicaklik etkisi ile az elektron yayimlamasi ve ikincil elektron yayimlama katsayisinin yüksek olmasidir. Foto çoğaltici tüplerde elektron çoğalma katsayisi yani kazanç 10^6 ile 10^7 civarındadir. Bu elektronlar anot tarafından toplanir ve puls kaydediciye verilir. Foto çoğalticidan çıkan pulslar gelen parçacigin enerjisi ile ilgili olarak çesitli yüksekliktedirler (Arya, 1989).

NaI(Tl) detektörlerinin enerji ayırım gücü katihal detektörlere göre yaklaşık 10 kez daha düşüktür. Bununla birlikte bir çok çalışmada özellikle aktivitenin düşük olduğu çevresel aktivite ölçümlerinde yeterli ayırma gücü ve yüksek verimliliği nedeni ile çok uygundur.

ZnS Sintilatörleri

Alfa parçacıklarının sintilasyonunda, eski inorganik sintilatörlerden birisi olan, gümüş ile aktive edilmiş çinko sülfat ZnS(Ag) saydam bir plastik üzerine ince (yaklaşık olarak 10 mg/cm^2) ve homojen bir tabaka halinde yayılarak kullanılır. Beta sintilasyonu için ise, antrasen veya az miktarda antrasen içeren büyük naftalin ve stilben kristalleri kullanılır.

Bu sintilatörler NaI(Tl) sintilatörleri ile karşılaştırıldığı zaman çok yüksek bir sintilasyon verimine sahiptir. Bunun yanında bu tip sintilatörler bir polikristal tozu gibi kullanılırlar. Bunun sonucu olarak bu sintilatörlerin kullanımı, alfa parçacıkları ve diğer ağır iyon deteksiyonlarında kullanılmış olan ince ekranlar için sınırlandırılmıştır. Kalınlık 25 mg/cm^2 'den büyük olduğu zaman kendi kendilerine parıldama meydana getirme ihtimalleri olduğundan kullanılmayabilirler (Knoll, 1979).

2.2.1.3 Kati-Hal Detektörleri

Bu tip detektörlerin işleyiş biçimleri tamamen farklı bir sisteme dayanmaktadır. Yarı iletken maddelerin bu tip detektörlerin yapımında kullanılmasının avantajları oldukça çoktur. Yapımda en çok kullanılan yarı iletken maddeler Silisyum ve Germanyum'dur. Bu yarı iletken maddelere safsızlık atomlarının katılanması ile P tipi ve N tipi yarı iletkenlerin elde edilmesi mümkündür. Bu teknik Si(Li) X isini detektörlerinin üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip detektörlerin çok yüksek algılama hassasiyetine sahip olmalarına rağmen, yüksek ücretlerde

olmaları ve çevre koşullarına karşı da asiri duyarlı olmaları gibi dezavantajları bulunmaktadır.

2.2.2 Kişisel Doz Ölçüm Cihazları

Radyasyon ile çalışan personelin etkisinde kaldığı radyasyon dozunun tespiti için, kişinin üzerinde taşımasına yönelik farklı farklı araçlar üretilmiş ve geliştirilmiştir. Bu araçlar yardımı ile hem şahsın aldığı anlık dozlar, hem de toplam doz miktarı belirlenebilmektedir. Bu tip cihazların da diğer sayıcılar gibi kendi aralarında çeşitleri vardır.

Film Dozimetreler

Bu dozimetreler, radyasyon çalışanlarının kontrolü amacıyla 1940'dan bu yana yaygın kullanılan dozimetrelerdir. Radyasyona maruz kalan şahısların, kıyafetlerinin yaka veya cep bölgesine takarak kolayca kullanabileceği pratik bir cihazdır. Bu dozimetrelerde plastik kilif içine yerleştirilmiş film (fotograf emülsiyonu) vardır. Filmin üzeri değişik absorpsiyon özelliği olan ve belirli kalınlıklarda alüminyum, kalay gibi maddelerle kapatılmıştır. Böylece filmin çok daha geniş bir doz algılama aralığında kullanılmasını sağlamaktadır. Küçük dozlardaki radyasyon, filmin hızlı tarafında kararır oluştururken, yüksek dozlardaki radyasyon ise filmin yavaş emülsiyonla kaplı olan tarafında ölçülebilir bir kararır oluşturur. Radyasyonun, bu maddelerden geçerek film üzerindeki kararmanın derecesi dansitometrik yöntemlerle ölçülür ve çalışanın aldığı doz belirlenmektedir. Alfa radyasyonunun plastik kaseti ve filmin kâğıt ambalajını geçmemesi nedeni ile, bu tip dozimetreler ile ölçülmesi mümkün değildir.

Bu dozimetrelerde genellikle aylık kontroller yapılmaktadır. Okuma işleminden sonra dozimetre içindeki film değiştirilmektedir. Ülkemizde bu dozimetrelerin dağıtımı ve okunması "Atom Enerjisi Kurumu" tarafından yapılmaktadır. Bu dozimetrelerle, 20 mrem'in altındaki dozlar ölçülemez. İsi ve nemden etkilendiği için oda sıcaklığında ve nemsiz ortamda saklanması gerekmektedir.

Termolüminesans Dozimetreler (TLD)

Bazı maddelerin ısıtıldığında görülebilir ışık salmasına termolüminesans denir. Radyasyonla ortaya çıkan termolüminesans olayı 1960'li yıllarda bulunmuştur. Termolüminesans fosfor, radyasyon verildikten sonra belirli dereceye kadar (yaklaşık 200°C) ısıtıldığında aldığı dozla orantili olarak görülebilir ışık salmaktadır. Salınan görülebilir ışık miktarı foto çoğaltıcı tüpleriyle ölçülmektedir. Termolüminesans madde olarak en sık lityum florid kullanılmaktadır. Bu maddenin atom numarası (8,2) yumuşak dokulara çok yakın olduğundan, doku esdeğeri dozimetre olarak bilinmektedir. Lityum florid, radyasyona maruz kaldığında, absorbe ettiği enerjiyi ısı uygulanana kadar depo etmektedir. Isı verilip doz ölçümü bittikten sonra tekrar kullanılabilir. Total dozu hesaplamada ve personel takibinde kullanılmaktadır. Lityum florid küçük bir parça ya da toz şeklinde bir muhafaza içine konulmaktadır. Kapladığı yer çok azdır. Bu dozimetreler, vücut boşluklarına yerleştirilebildiklerinden radyoterapide ya da araştırmalarda kullanılmaktadırlar. Film dozimetrelerinden daha uzun (3 ay) süreli kullanılabilirler ve daha düşük radyasyon dozlarını ölçebilirler. 5 mrem'e kadar düşük dozlar hesaplanabilmektedir. Bunun yanında film dozimetreleri gibi bulunduğu ortamın ısı ve nemi gibi hassas şartlarından da etkilenmezler. Ancak bunun yanında, daha pahalı olmaları, cimbiz gibi hassas aletlerle bile tutulamamaları, ısıtılarak tekrar kullanılmak istendiklerinde üzerindeki radyasyonu atmaları nedeni ile kalıcı kayıt sağlayamamaları gibi dezavantajları da vardır.

Kalem Dozimetreler

Bu tip dozimetrelerde küçük bir boşluğa hapsedilmiş havanın içine yerleştirilmiş elektrotlar yer almaktadır. Radyasyonun etkisiyle bu hava iyonize olmaktadır. İyonizasyona bağlı, elektrotlar arasındaki gerilim farklığı sonucunda elektrotlarda yer değiştirme olmaktadır. Aldığı radyasyonla orantili olarak yer değiştiren elektrot bir skala üzerinde hareket etmektedir. Dozimetrenin bir ucundaki ışık verilerek diğer tarafından bakıldığında, elektrotun skala üzerindeki seviyesi görülmektedir. Burada okunan değer, alınan toplam dozu vermektedir. Dozimetre içindeki havanın iyonizasyonu üst sınıra geldiğinde, dozimetre sarj aletiyle sarj edilerek

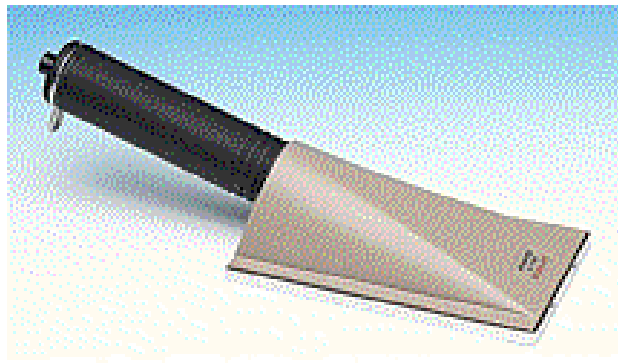
sifirlanabilmektedir. Bu dozimetreler ile, 0-200 mR arası dozlar hesaplanabilmektedir. Tanısal radyolojideki kullanımları, pahalı olmaları, günlük okumayı gerektirmeleri ve sarsıntı ve darbelerden kolay etkilenmeleri nedeni ile de sınırlıdır. Ayrıca üzerindeki göstergedeki daha yüksek bir doza maruz kalındığında, bu dozun belirlenememesi ve cihazın sağlığını sağlayabilmek için gerekli olan kalın dış kapları nedeni ile de alfa ve beta ışınlarının tespitinde yetersiz olması gibi dezavantajları da vardır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

Deneysel çalışmalar Kasım - Mart ayları periyodunda Davraz dağı ve Gölçük krater gölü civarında olmak üzere iki bölgede gerçekleştirildi. Eberline marka ASP/2e radyasyon sayım cihazına SPA3 model NaI(Tl) detektör probu ile foton (gama) ölçümü yapılırken, aynı sayaca eklenebilen HP380AB model plastik sintilatör probu ile α/β ölçümleri yapıldı. Şekil 3.1 ve 3.2’de sayaç ve α/β ölçümlerinin yapıldığı detektörün resimleri görülmektedir. Sonuçlar çeşitli parametrelere bağlı olarak cps (counts per second) ve mR/h (saat başına mikroröntgen) isinlama dozu cinsinden verildi.



Şekil 3.1 Eberline ASP/2e radyasyon sayacı



Şekil 3.2 HP380AB α/β probu

Tablo 3.1 a/b detektörünün temel özellikleri

Uygulamalar	Alpha/beta surveys; frisking
Detektor Tipi	Dual phosphor scintillator
Çalışma Voltajı	600 V nominal
Pencere alanı	100 cm ²
Pencere kalınlığı	0.87 mg/cm ² aluminized mylar
Background duyarlılığı	~ 12,000 cpm/mR/h (¹³⁷ Cs)
Beta verimliliği	~ 22% ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y, ~ 9% ⁹⁹ Tc
Alpha verimliliği	~ 18% ²³⁹ Pu
Boyutlar	29.2 x 7.0 x 8.3 cm
Ağırlık	0.59 kg

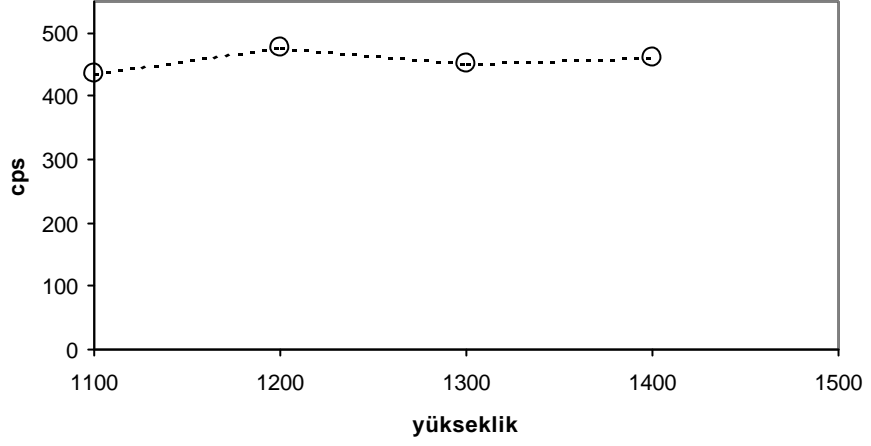
3.1 Gölcük

Gölcük bölgesi Isparta'nın 5 kilometre güney batısında ve deniz yüzeyinden yüksekliği 1380 metre olan krater çukurunun su ile dolmasından oluşmuş bir krater gölünün bulunduğu bölgedir. Krater gölü de bölge ile aynı adı taşımaktadır. Bu bölge, 150-300 metreye kadar yükselen ve volkanik küllerle kaplı tepelerle çevrilidir. Göl, 1,5 kilometre çapında bir daire biçiminde olup derinliği 32 metreyi bulmaktadır. Gölcük ve yöresinde yapılan araştırmalarda, yüzeyleme veren formasyonlar, tortul, ultramatik ve volkanik kayalar olmak üzere baslıca üç gruba ayrılırlar. Bunlardan tortullara ait en yaşlı formasyonu Akdag kireç taşları oluşturmaktadır. Diğerlerini konglomeralar ve flisler meydana getirmektedir. Gölcük ve çevresindeki volkanik kayalar, Traki Andezitler, siki tüfler, kül tüfler ve sünger taşlarından oluşmaktadır.

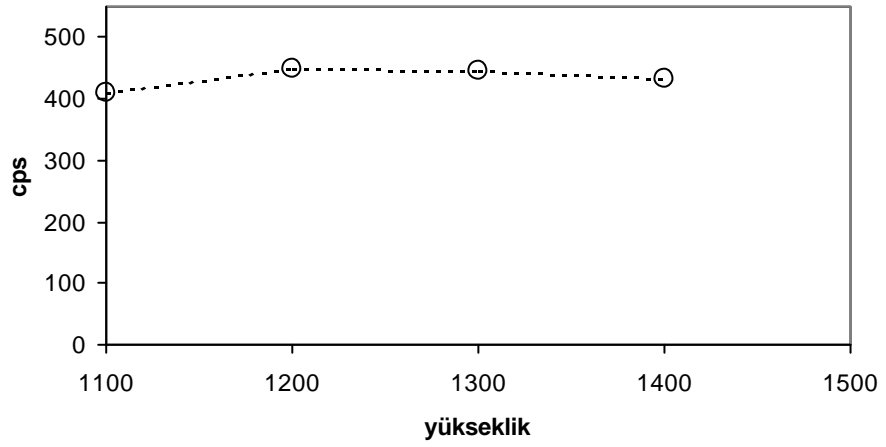
3.1.1 Gama Radyasyonu

Bu özelliklere sahip Gölcük bölgesindeki γ -radyasyonu ölçüm sonuçlarının yükseklikle değişimi, Kasım-Mart aylarına ait olarak sırasıyla aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Bu şekillerden de anlaşıldığı gibi belirgin bir değişimin olduğunu söylemek mümkün gözükmemektedir. Ancak daha fazla yüksekliklerde radyasyonun

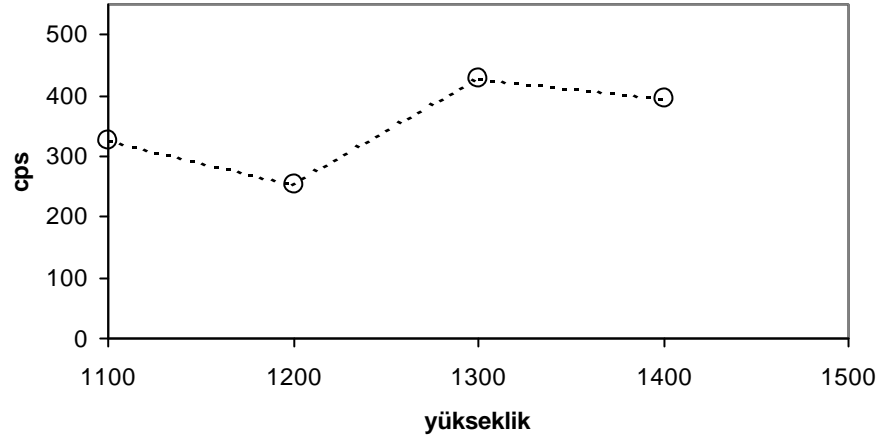
artis göstermesi beklenebilir. Asagida verilen sekiler, γ -radyasyon oraninin aylara göre degisimini göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi en yüksek radyasyon, 1200 metrede Kasim ayina ait olurken, en düşük deger 1300 metrede Ocak ayina aittir.



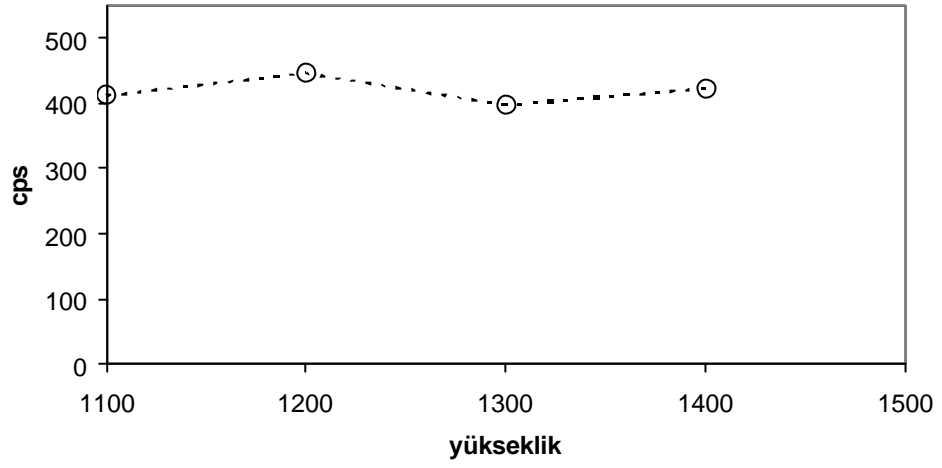
Sekil 3.3 Gölcük bölgesinde Kasim ayi için alınan degerler



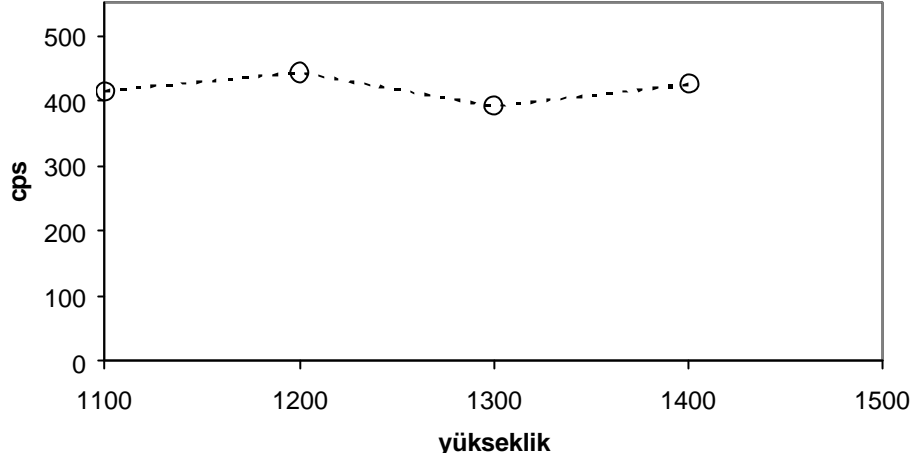
Sekil 3.4 Gölcük bölgesinde Aralik ayi için alınan degerler



Sekil 3.5 Gölcük bölgesinde Ocak ayi için alınan degerler



Sekil 3.6 Gölcük bölgesinde Subat ayi için alınan degerler



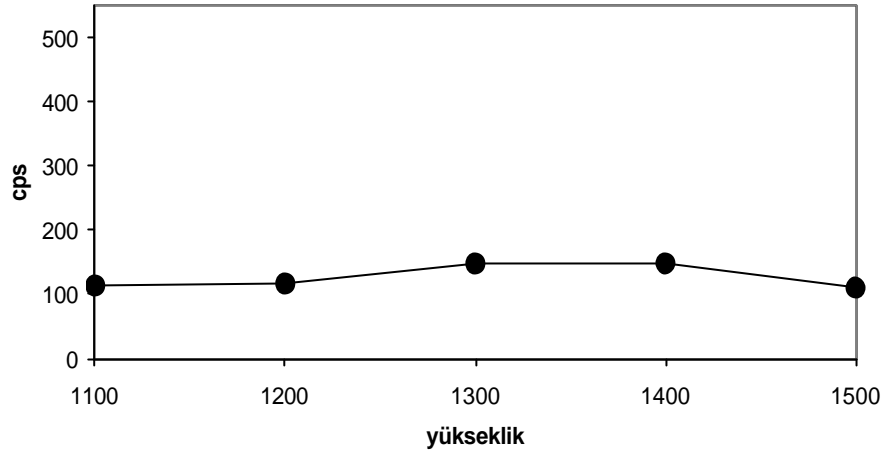
Sekil 3.7 Gölçük bölgesinde Mart ayi için alınan degerler

3.2 Davraz

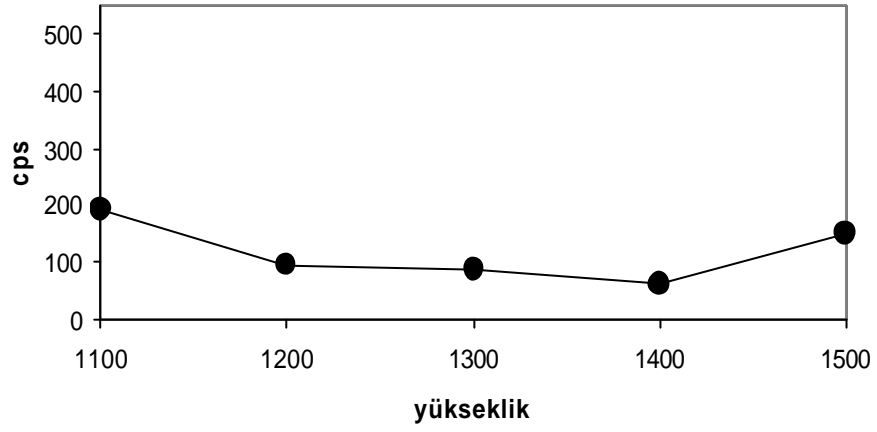
Davraz dagi Akdeniz Bölgesinin Göller yöresinde, Egirdir ve Kovada Gölleri arasında yükselen ve Isparta Ovasini kusatan dag kütlelerinden biri olup, 2637 m yüksekliğindedir ve sehir merkezine 26 km uzaklıktadır. Karasal iklimin hüküm sürdüğü dag, Aralık ve Nisan aylari arasında kar ile kaplidir. Kar kalinligi genellikle 50-200 m civarında olur.

3.2.1 Gama Radyasyonu

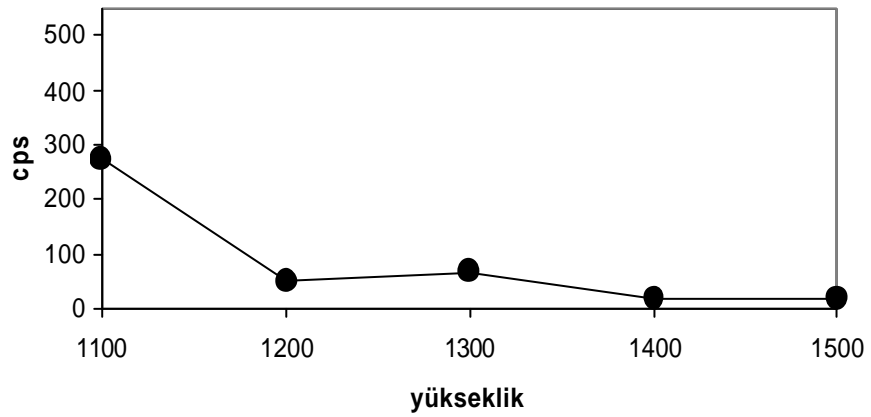
Davraz dagi için alınan γ -radyasyonu sonuçlari Sekil 3.8- 3.12'de gösterilmektedir. Buradaki degerler genel anlamda Gölçük'teki degerlerden daha düşük olmakla birlikte yüksekliğe göre degisimde fazla dalgalanma görülmemektedir.



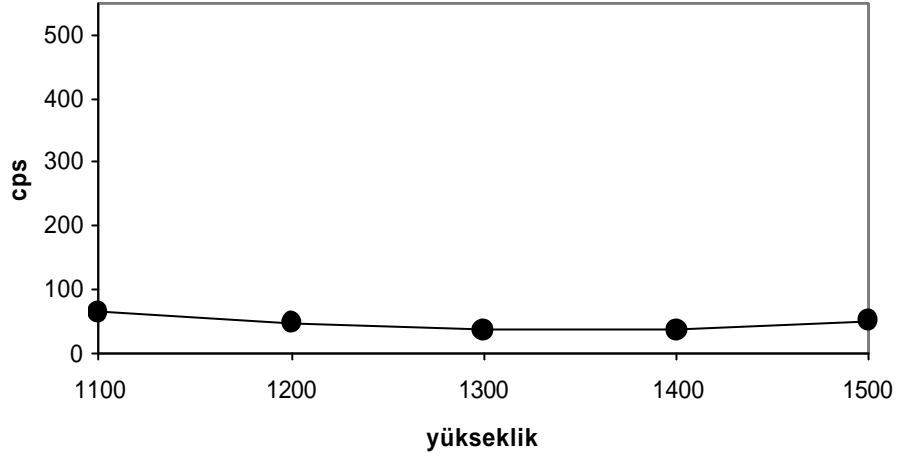
Sekil 3.8 Davraz bölgesinde Kasım ayı için alınan degerler



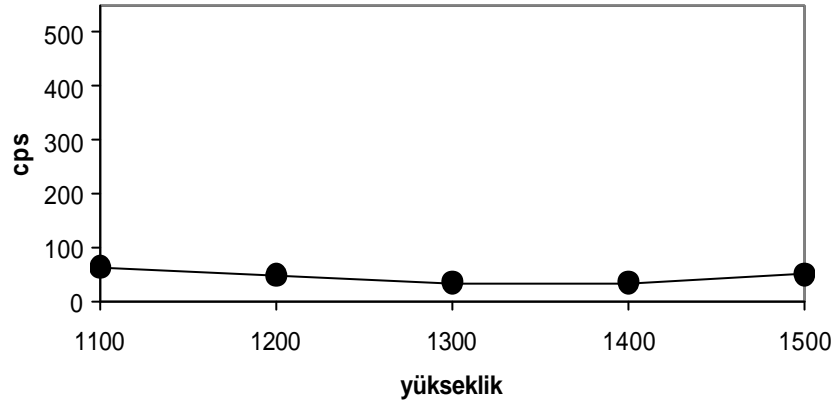
Sekil 3.9 Davraz bölgesinde Aralık ayı için alınan degerler



Sekil 3.10 Davraz bölgesinde Ocak ayı için alınan degerler

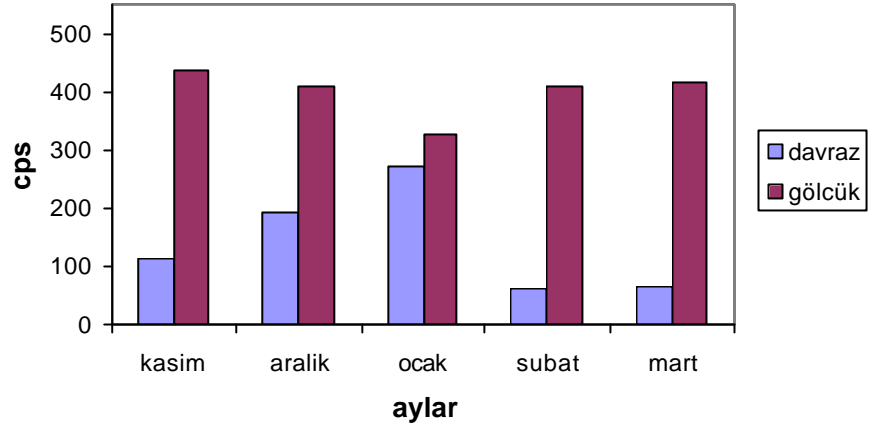


Sekil 3.11 Davraz bölgesinde Subat ayi için alınan degerler

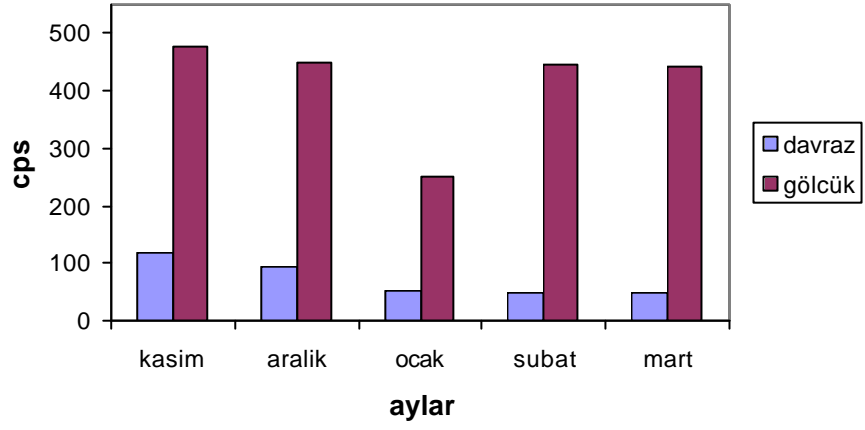


Sekil 3.12 Davraz bölgesinde Mart ayi için alınan degerler

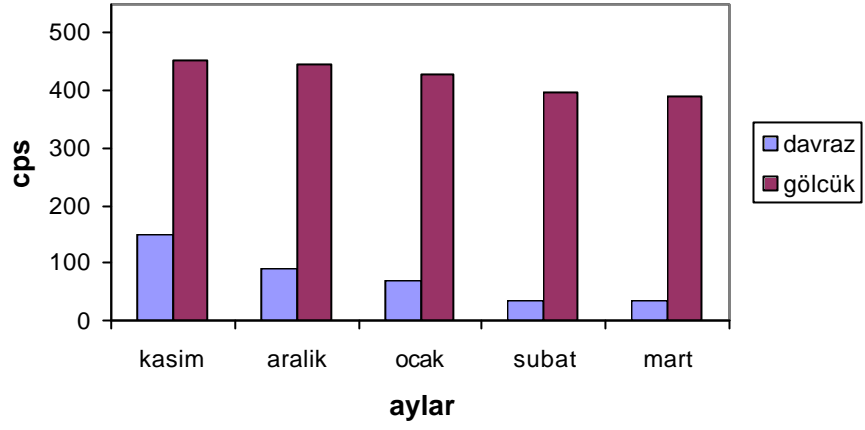
Radyasyonun iklim şartlarından etkilenip etkilenmediğinin tespiti için ölçümler Kasım-Mart döneminde her ay olmak üzere alınmıştır. Sekil 3.13-3.16'da, her iki bölgeye ait mevsimsel değişim sırasıyla 1100,1200, 1300,1400 m için gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi her iki bölge içinde çok belirgin olmamakla birlikte Kasım ayından Mart ayına gidildikçe ölçülen değerlerde bir azalma olduğu söylenebilir.



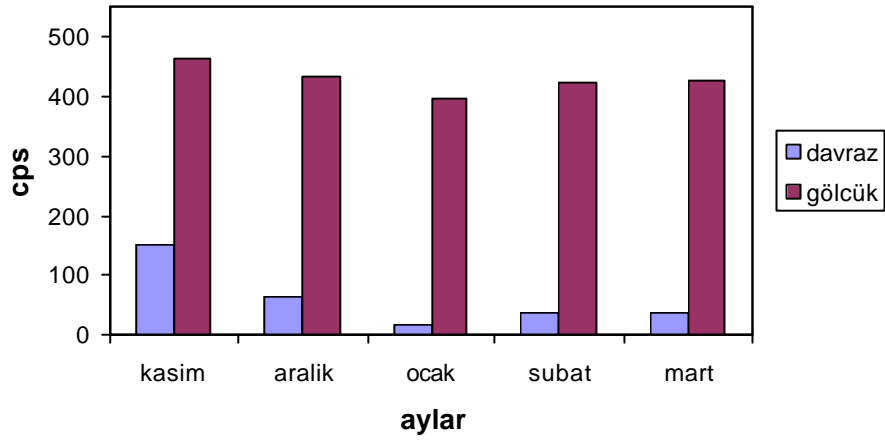
Sekil 3.13 Davraz ve Gölcük için 1100 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi



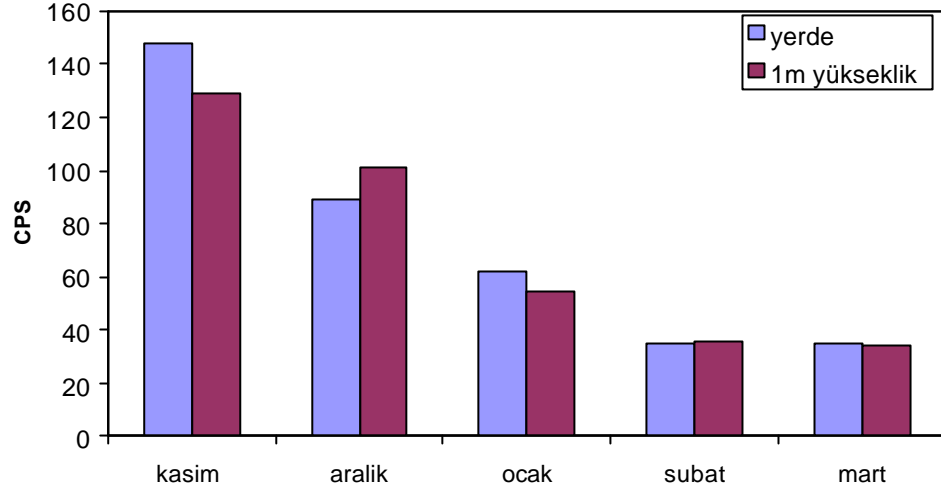
Sekil 3.14 Davraz ve Gölcük için 1200 metredeki ölçümlerin aylara göre degisimi



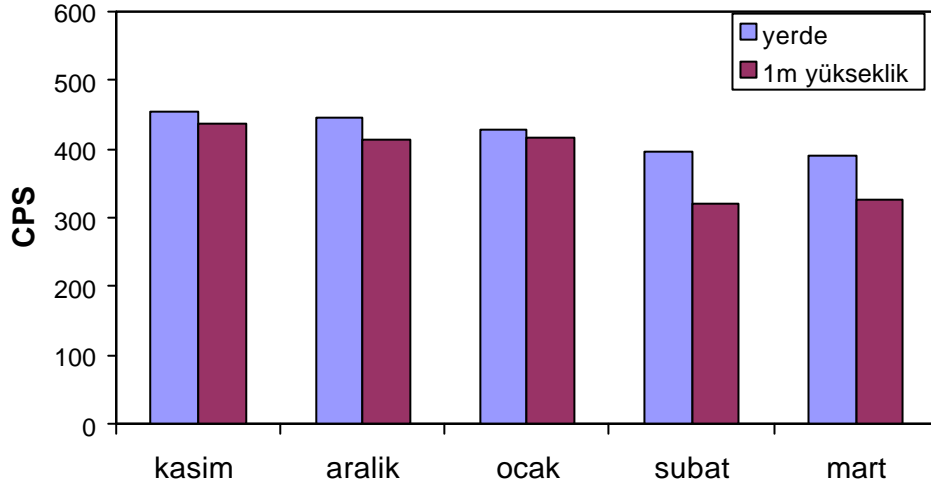
Sekil 3.15 Davraz ve Gölcük için 1300 metredeki ölçümlerin aylara göre değişimi



Sekil 3.16 Davraz ve Gölcük için 1400 metredeki ölçümlerin aylara göre değişimi

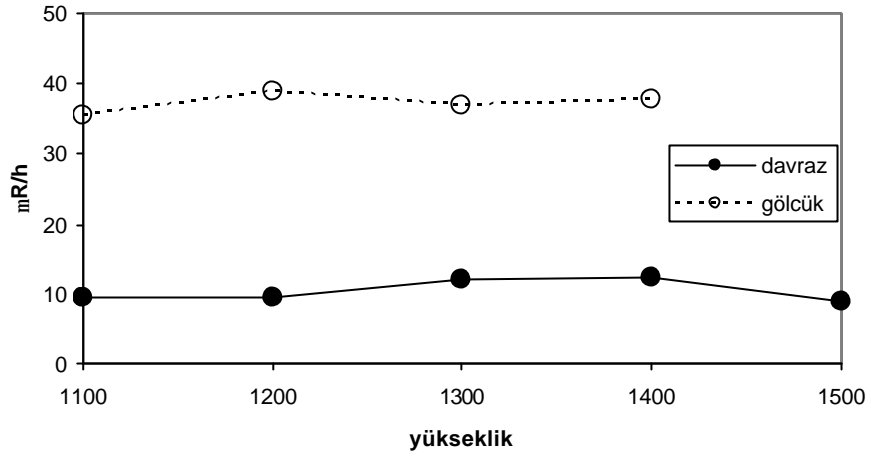


Sekil 3.17 Davraz için 1300 metrede yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre değişimi

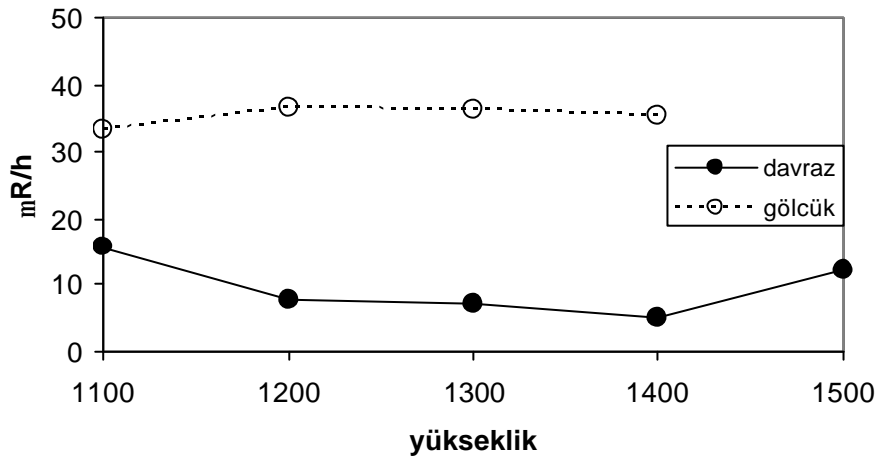


Sekil 3.18 Gölcük için 1300 metrede yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre değişimi

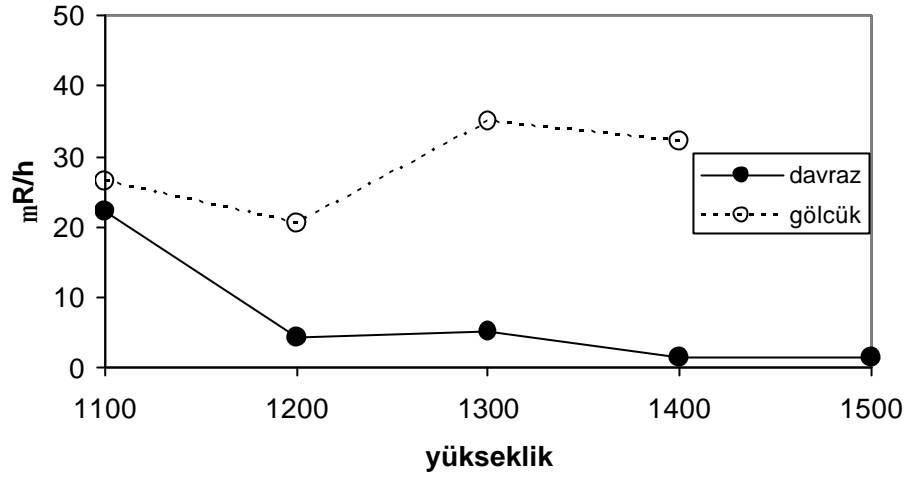
Bir bölgedeki radyasyon değeri için isinlama doz birimi olan Roentgen kullanılmaktadır. Sekil 3.19, her iki bölge için ölçülen $\mu\text{R/h}$ cinsinden radyasyonu göstermektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi radyasyon, genel anlamda Gölcük için 30-50 $\mu\text{R/h}$ civarında iken Davraz bölgesinde bu değer 5-15 $\mu\text{R/h}$ civarındadır.



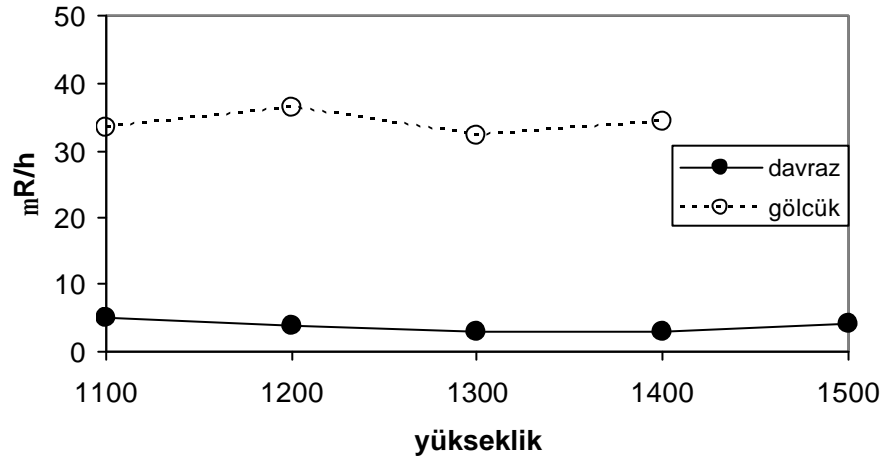
Sekil 3.19 Davraz ve Gölcük için Kasım ayındaki radyasyon dozunun yükseklikle değişimi



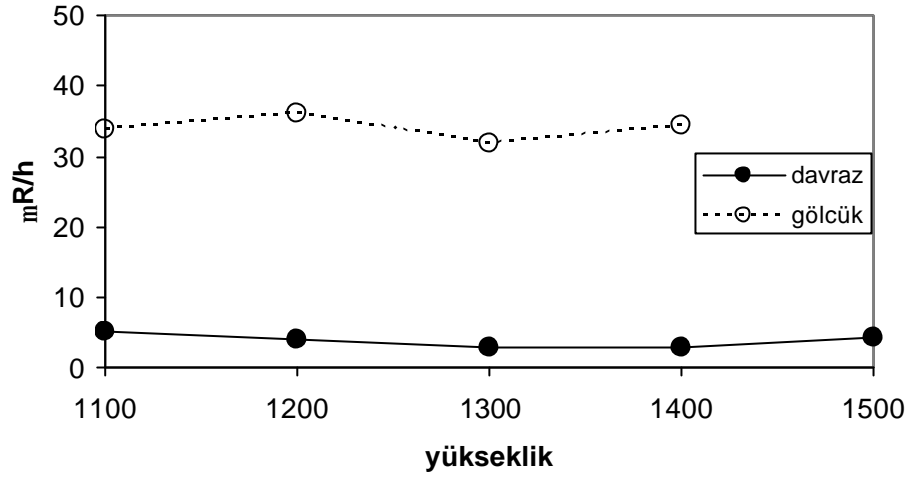
Sekil 3.20 Davraz ve Gölcük için Aralık ayındaki radyasyon dozunun yükseklikle değişimi



Sekil 3.21 Davraz ve Gölcük için Ocak ayındaki radyasyon dozunun yükseklikle değişimi



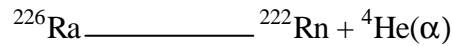
Sekil 3.22 Davraz ve Gölcük için Subat ayındaki radyasyon dozunun yükseklikle değişimi



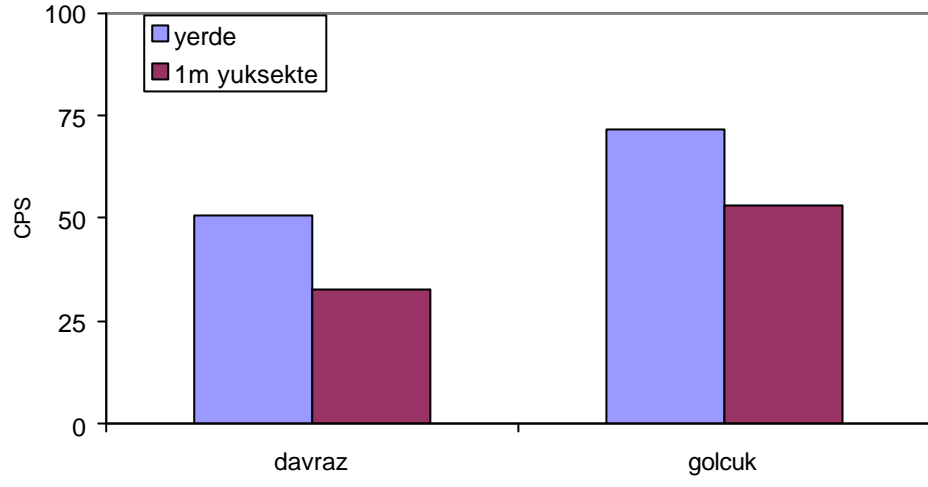
Sekil 3.23 Davraz ve Gölcük için Mart ayındaki radyasyon dozunun yükseklikle değişimi

3.2.2 α/β Radyasyonu Sonuçları

Bölüm 1.5.2.1’de de belirtildiği gibi doğal yapıda (toprak, kaya) var olan ve Radium (Ra-226)’nin bozunumu ile açığa çıkan α/β isinleri radyoaktif parçacıklar olup doğal radyasyona katkıları önemlidir. Aşağıdaki denklem Radiumun tipik olarak Radona dönüşmesini göstermektedir.



Doğal ortamdaki bu isinler HP380AB probu ile ölçülerek sonuçlar Davraz ve Gölcük bölgeleri için Sekil 3.24’te gösterilmektedir. Gamma radyasyonu sonuçlarında olduğu gibi yükseklikle anlamlı bir değişimin olmadığı gözlenmektedir. Sekil 3.24, α/β sonuçlarının yerde ve yerden yükseklikle olan ilişkisini göstermektedir. Buradan yerdeki değerlerin daha yüksek olduğu gözlenmekte bu da bu isinlerin toprak ve kayalardaki Radium bozunmasına bağlı olduğunu doğrulamaktadır.



Sekil 3.24 Gölçük ve Davraz için 1100 metrede, yerde ve 1m yükseklikteki ölçümlerin aylara göre değişimi

4. TARTISMA

Bu çalışmada, Isparta ilinin iki farklı bölgesindeki yüzeysel $\alpha/\beta/\gamma$ radyasyonları çeşitli parametrelere bağlı olarak ölçülmüştür.

Yapılan ölçümlerde radyasyon oranının yükseklikle ve aylara göre çok fazla değişim göstermediği görülmüş ancak iki bölge arasındaki fark belirgin bir şekilde kendini göstermiştir. Bu fark bölgeler arasındaki jeolojik yapıdan olabileceği gibi su, yer altı madenleri gibi doğal kaynaklardan da olabilir.

Isınlama dozu ($\mu\text{R/h}$) elde edilerek sonuçlar IAEA tarafından belirlenen mSv/yil cinsinden limitlerle (Tablo 4.1) $1\mu\text{R/h}=8.7\text{nGy/h}$ (Ramli, 2001) eşitliği ve 0.7Sv/Gy (UNSCEAR, 1988) çarpanı kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Bu şekilde elde edilen değerlerin 0.0767 mSv/yil ile 2.094 mSv/yil arasında olduğu görülmekte ve bu değerlerin Tablo 4.1'de verilen değerlerle karşılaştırıldığında limitlerin altında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1 Radyasyon çalışanları ve toplum üyesi kişiler için doz sınırları (IAEA,1998).

		Radyasyon Çalışanları	Halk
Etkin Doz Sınırı	Herhangi bir yilda	50 mSv	5 mSv
Yillik Organ	Göz merceği	150 mSv	15 mSv
	Deri (cm^2)	500 mSv	50 mSv
Esdeğer Doz Sınırı	Eller ve ayaklar	500 mSv	50 mSv

KAYNAKLAR

- Anderson, H.L., 1989. A Physicist's Desk Reference, American Institute of Physics, New York.
- Arya., Atam,P., 1989. Çekirdek Fiziginin Esaslari, Atatürk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Erzurum.
- Baarli, J., 1977. Health and Medical Physics, proceedings of International School of Physics, Enrico Fermi, Italy.
- Bayvas, F.,1989. Radyoaktivite, Radyasyon ve Nükleer Enerji, Ankara.
- Bilge, A. ve Tugrul, B., 1990. Endüstriyel Radyografinin Esaslari, I.T.Ü. N.E.E. Istanbul.
- Canbazoglu, C., 1998. Elazig ve Çevresindeki İçme ve Kullanma Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Fırat Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Elazig.
- Canberra Industries Inc., 1997. Product Catalog, Ed. Ten, Meriden, Connecticut 06450, USA.
- Eisenbud, M., 1963. Environmental Radioactivity in U.S., p.135.
- Göksel, A.S., 1973. Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması, I.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, Istanbul.
- Görpe, A., Cantez, S., 1972. Pratik Nükleer Tıp, Istanbul Tıp Fakültesi, 29.
- Gür, F., 1999. Doğal Dis Radyasyonun İzmir İlinde Yasayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- IAEA, 1998. International Atomic Energy Agency Report.
- ICRP Publication 30, 1981. The International Commission on Radiological protection Annual Limits on Intakes of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendation.
- Kahveci, M., 1993. İzmir Çevresinde Yetistirilen Patateslerde Radyoaktivite Tayini, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- Karahan, G., 1997. Istanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Esdegerleri, Istanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, Istanbul.
- Khan, F. M ., 1984. The Physics of Radiation Therapy. Williams & Wilkins, Baltimore.

- Knoll, G.F., 1979. Radiation Detection and Measurement, Chapter 10, New York, 306-355. Kösen, T., 1994. Çeşitli Çevresel Örnekler ve Farklı Üniversiteleri, Geometrilere NaI(Tl) Detektörünün Kalibrasyon Eğrilerinin Gelistirilmesi, Ege Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Bornova, İzmir.
- Leo, W.R., 1987. Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Mann, W.B., Rytz, A., Sporno, A., 1991. Radioactivity Measurement Principles and Practice, Washington, 98-99.
- Melissinos, A.C., 1966. Experiments in Modern Physics, Academic Press, New York, 178.
- NCRP Report 45, 1975. National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S., Soil Radioactivity, p.54.
- NCRP Report 50, 1976. National Council on Radiation Protection and Measurement. Environmental Radiation Measurement.
- Özbal, Ö., 1999. İzmir Balçova'da Termal Su Kullanılan Binalarda Radon Enstitüsü, Konsantrasyonu ve Sudaki Radonla Korelasyonu, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri İzmir.
- Purdum, P. W., 1971. Environmental Health, Academic Press, New York.
- Ramli, A.T., Hussein AWMA, Lee, M. H., 2001. Geological Influence on Terrestrial Gamma Radiation Dose Rate in the Malaysian State of Johore. Appl. Rad. And Isot. 54 (2001) 327-333.
- TAEK, 2004. http://www.taek.gov.tr/taek/tudnaem/isbirligi_faaliyetleri/isinlama_kursu_azerbaycan/temel%20radiasyon%20kaynaklar.doc
- Thomas, C.W., Young, J.A., Wogman, N.A. and Perrinks, R. W., 1970. Radionuclides in the Environment, The Measurement and Behavior of Airborn Radionuclides since 1962 Advances in Chemistry Series, No.93, p.158.
- Tugrul, B., 1990. İleri Nükleer Teknikler (Basılmış Ders Notu), I.T.Ü. N. E.E., İstanbul.
- UNSCEAR Report 1988, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation
- UNSCEAR Report 1993, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation.
- Yaramis, B., 1985. Nükleer Fizik, I.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi, Cilt 1, 154.

Yasar, S., 1988. Sanayide Radyasyon Korunmasi Kurs Notlari, Radyasyon Denetiminde ve Ölçümlerinde Kullanilan Birimler, Temel Radyasyon Korunmasi Standartlari ve Uygulamalari, s.69, ÇNAM, Istanbul.

ÖZGEÇMİS

Adi Soyadi : Zeliha SEVIN

Dogum Yeri : Bursa

Dogum Yili : 1975

Medeni Hali : Evli

Egitim ve Akademik Durumu:

Lise **1985-1992** : Bursa Kiz Lisesi, Bursa

Lisans **1996-2000** : Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat
Fakültesi Fizik Bölümü, Isparta

Yabancı Dil : İngilizce

Is Denevimi:

2001-...: Arastirma Görevlisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Isparta