

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

57729

FİZİK ANABİLİM DALI

ORDU YÖRESİNDEKİ BAZI LİKEN VE KARAYOSUNU ÖRNEKLERİNDE
Cs-134 VE Cs-137 DÜZEYLERİ

Fizikçi Ahmet Zeki Saka

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Yüksek Lisans (Fizik)"

Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.07.1995

Tezin Savunma Tarihi : 16.08.1995

Tezin Danışmanı : Prof. Dr. Ali İhsan Kopya

Ali İhsan Kopya

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Arif Baysal

Arif Baysal

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Belgin Küçükömeroğlu

Belgin Küçükömeroğlu

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel Savaşkan

Temel Savaşkan

Temmuz 1995

TRABZON

ÖNSÖZ

Ordu ilinden alınan liken ve karayosunu numunelerinin gama aktifliğinin araştırıldığı bu çalışma, K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Ali İhsan Kopya' ya, numunelerin toplanması sırasında araçlarından faydalandığım Ünye Orman İşletmesi Müdürü Ömer Coşkun'a, numunelerin tür tayininin yapılmasında bilgilerinden faydalandığım Arş. Gör. Turan Özdemir ve doktora öğrencisi Kenan Yazıcı'ya, numunelerin öğütülmesinde ilgisini esirgemeyen Yrd. Doç.Dr. İlhan Deniz'e, tezimin yazılmasında yardımcı olan Arş. Gör. Uğur Çevik'e ve katkıda bulunan mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Trabzon, Temmuz 1995

Ahmet Zeki Saka

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Çalışmanın Kapsamı	3
1.4 Literatür Özeti	4
1.5 Havadaki Radyoizotopların Özellikleri ve Bitkiler Tarafından Tutulması	9
1.6 Radyasyonun Şiddeti	12
1.7 Radyasyonun Ters Kare Kanunu	13
1.8 Uyarılma ve İyonlaşma	14
1.9 Radyoaktiflik	14
1.9.1 Radyoaktif Parçalanma Kanunu	15
1.9.2 Bozunma Sabiti, Yarılanma Süresi (Yarı Ömür)	16
1.9.3 Radyoaktiflik Birimleri	17
1.9.4 Radyoaktif Bozunma Modelleri	18
1.9.4.I Alfa Bozunması	19
1.9.4.II Negatif Beta Bozunması	19
1.9.4.III Pozitif Beta Bozunması	19
1.9.4.IV Elektron Yakalanması	20
1.9.4.V İç Dönüşüm	20

1.9.4.VI Gama Işını Yayınlanması	20
1.9.4.VII Nötron Yayınlanması	20
1.9.5 Bozunma Şemaları	21
1.10 Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi	21
1.11 Radyasyon Ölçme Araçları	24
1.11.1 Gazlı Dedektörler	25
1.11.2 Parıldama Dedektörleri	25
1.11.3 Yarıiletken Dedektörler	26
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	28
2.1 Örneklerin Toplanması	28
2.2 Örneklerin Ölçüme Hazırlanması	29
2.3 Örneklerin Aktiflik Ölçümü	30
2.4 Geometri ve Kalibrasyon	30
3.BULGULAR.....	34
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	39
5. ÖNERİLER	40
6. KAYNAKLAR.....	41
7. EKLER	45
8. ÖZGEÇMİŞ.....	46

ÖZET

Nükleer denemeler, kozmik etkileşmeler ve nükleer kazalar sonucu atmosfere karışan radyonüklidler yeryüzüne yağarak kirliliğe neden olurlar. Bu yağışların ölçülmesi gerek çevredeki radyoaktif kirliliğin izlenmesi ve gerekse canlıların radyasyon dozunu hesaplamak bakımından önemlidir.

Çernobil nükleer santralinde meydana gelen kaza yurdumuzu da etkilemiş, radyoaktif bulutlar meteorolojik şartlara göre Trakya ve Karadeniz kıyılarını etkileyerek yeryüzeyini ve bitki örtüsünü kirlletmiştir.

Bu çalışma, Ordu ilinin farklı yerlerinden alınan radyoaktif çekirdekleri bünyelerinde uzun süre barındırma özelliğine sahip karayosunları ve likenler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin gama aktifliği, HpGe dedektörüne bağlı 8192 kanallı çok kanallı analizör ve bilgisayar programıyla (Personal Computer Analyzer) incelendi.

Bu çalışmada, Çernobil kazasından kaynaklanan radyoaktif serpentinin içerdiği radyonüklidlerin, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Ordu ilinde liken ve karayosunu numunelerinde oluşturduğu toplam radyoaktivite değerleri esas alınarak, bölgedeki radyoaktif kirlenmenin coğrafik dağılımı ortaya konulmuştur.

Elde edilen bulgulara göre, en yüksek aktivite 4487 Bq/kg olarak Kurşunçal (Fatsa)' da, en düşük aktivite ise 136 Bq/kg olarak Karlıtepe (İkizce)' de tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Ordu ilinde en fazla aktivite Fatsa-Ünye arasındaki bölgede tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analizör, Dedektör, Gama Aktifliği, Radyoaktivite, Radyonüklid, Radyasyon Dozu, Bekerel, Liken, Karayosunu.

Levels of Cs-134 and Cs-137 in some Lichens and Moses Samples from the
Province of Ordu

SUMMARY

When radionuclides originating from cosmic interactions, nuclear test and accidents fall on earth radioactive contamination occur. Measurement of this fallout is important for the determination of environmental contamination and radioactive dose taken by people.

The accident which occurred in Chernobyl nuclear reactor caused contamination of the soil and plants in Thrace and Black Sea coast via radioactive clouds and rainfall.

This work, deals with moses and lichens collected from various parts of Ordu. These plants are known to accommodate radioactive nuclei for long periods. Gamma activities of samples are determined using a computer connected to a 8192 channel MCA and a HpGe dedector.

In this study, based on our data about Ordu, a geographical distribution of Chernobyl radioactivity for the region is obtained.

According to our findings, the highest activity (4487 Bq/kg) is observed in samples of Kurşunçal (Fatsa) and the lowest activity (136 Bq/kg) in samples of Karlitepe (İkizce). We conclude that, the part of Ordu lying between Fatsa and Ünye is mostly affected from the Chernobyl accident.

Key Words: Analyzer, Detector, Gamma Activity, Radioactivity, Radionuclide, Radiation Dose, Becquerel, Lichen, Moses.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 . Numunelerin alındığı yerleri gösteren yöresel harita	5
Şekil 2 . Radyasyon Akısı	13
Şekil 3 . Farklı bozunma sabitlerinin bozunma eğrisine etkisi	17
Şekil 4 . Sezyumun bozunma şeması	21
Şekil 5 . Fotoelektrik olayının şeması	23
Şekil 6 . Tipik bir Compton olayı	23
Şekil 7 . Çift oluşumu	24
Şekil 8 . Parıldama dedektörünün şeması	25
Şekil 9 . Bir yarıiletken dedektörünün şematik gösterimi	26
Şekil 10. Nokta kaynak geometrisi ve zırlama	31
Şekil 11. Homolothecium sp. karayosunu türünün gama spektrumu	32
Şekil 12. Doğudan batıya doğru istasyonlardaki liken numunelerine ait aktiflik değerleri	37
Şekil 13. Doğudan batıya doğru istasyonlardaki karayosunu numunelerine ait aktiflik değerleri	38
Ek Şekil 1. Ordu ilindeki 1986 yılına ait fındık ürününün aktiflik değerleri	45
Ek Şekil 2. Ordu ili 1987 yılına ait toprak aktiviteleri	46

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Çernobil kazası sonrası belirlenen radyoizotoplar ve yarı ömürleri	2
Tablo 2. Liken numunelerinin alındığı yerler ve türleri	28
Tablo 3. Karayosunu numunelerinin alındığı yerler ve türleri	29
Tablo 4. Kalibrasyonda kullanılan nokta kaynaklar	33
Tablo 5. Liken numunelerinin alındığı istasyonlardaki aktiflik değerleri	35
Tablo 6. Karayosunu numunelerinin alındığı istasyonlardaki aktiflik değerleri ...	36



SEMBOL LİSTESİ

- A : Alan, aktiflik
c : Işık hızı
d : Uzaklık
dt : Zaman aralığı
D : Doz hızı
 ϵ : Verim
E : Enerji
F : Akı
h : Planck sabiti
Q : Toplam radyasyon miktarı
m : Kütle
 n_0 : Başlangıçtaki atom sayısı
n : Foton sayısı
N : Radyoaktif atom sayısı
R : Yarıçap
S : Net alan
t : Zaman
 $T_{1/2}$: Yarı ömür
 ν : Frekans
 ω : Gram cinsinden kütle
 λ : Bozunma sabiti, dalga boyu

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Bağımsız Devletler Topluluğu'nda 26 Nisan 1986 tarihinde meydana gelen Çernobil nükleer santrali kazası sonucu bilim adamlarının tahminlerine göre reaktörün çekirdeğinde bulunan uçucu radyoaktif maddelerin tamamı (50 milyon Curie) atmosfere karışmıştır. Reaktörden salınan radyoaktif gazlar ve radyoaktif maddelerin karışımı, 1200 m'yi aşan yüksekliklere çıkmıştır. Havaya salınan radyoaktif maddelerden, çapları 10 mikron veya daha büyük olanları hemen reaktör çevresine, bir mikrona kadar olanların ise 30 km çapında bir alan içinde dağıldıkları belirlenmiştir. Radyoaktif madde salınması yaklaşık 10 günlük bir süre boyunca devam etmiş ve bu arada 5 Mayıs'ta ikinci büyük radyoaktif madde salınması meydana gelmiştir.

Reaktörden ilk salınan radyoaktif maddelerin oluşturduğu bulut güneyden esen rüzgârlarla Çernobil'den kuzeye doğru hareketle İskandinav ülkelerinin güney ve orta bölgelerine 28 Nisan'da ulaşmıştır. Meteorolojik olaylarla yön değiştiren radyoaktif bulut daha sonraki günlerde Avrupa'nın çeşitli ülkelerine ve 30 Nisan /5 Mayıs-1986 tarihlerinde de yurdumuza ulaşmıştır. Bulgaristan ve Yunanistan üzerinden Trakya bölgesine giren radyoaktif bulut özellikle Edirne civarında sınıra yakın sahalarda 30 Nisan/1 Mayıs tarihlerinde değişik miktarlarda yağmur ile bu bölgenin radyoaktif kirlenmesine sebep olmuştur (1). Ayrıca Çernobil'den önceleri doğuya doğru hareket eden hava kütlesi daha sonra kuzeyden esen rüzgârlarla Karadeniz'i geçerek özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde yağın şiddetli yağmurlarla bu kıyı şeridini radyoaktif kirlenmeye maruz bırakmıştır (2).

Reaktör ile buna bağlı ana devre ya da sistemlerin tümünü içine alabilecek, Batı ülkelerinde olduğu gibi bir güvenlik küresi yapılmamış, bu da radyoaktifliğin çok uzaklardaki birçok ülkeyi etkilemesine sebep olmuştur.

Radyoaktif bulutun geçişi sırasında toprak, bitki, bina v.b. gibi canlı ve cansız yüzeylerde kuru birikim yoluyla tutulan radyoaktif madde miktarının yağış yoluyla

meydana gelen ıslak birikime oranla çok daha az olduğu kabul edilmektedir. Yağış yoluyla alınan radyoaktif madde miktarının da yağmur bulutunun kirlilik durumuna, yağışın özelliklerine ve yağmur düşen alanların özel durumlarına göre değişebileceği bilinmektedir. Örneğin yağış alan arazinin topoğrafik özellikleri, bitki örtüsü, türü, tek veya çok yıllık oluşu, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi çevre şartları radyoaktif elementlerin toprak ve bitkilerdeki birikim ve davranışlarını ve neticede gıda zinciri aracılığı ile insanlara geçmesini etkilemektedir (3).

Çernobil nükleer santrali kazası sonrası Avrupa'nın değişik ülkelerinde atmosfer ve toprak yüzeyinde sıkça ölçülen izotoplar ve bunların yarı ömürleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çernobil kazası sonrası belirlenen izotoplar ve yarı ömürleri

İzotop	Yarı Ömür
I-131	8.05 gün
Cs-134	767 gün
Cs-137	30 yıl
Ce-141	32.5 gün
Ce-144	285 gün
Nb-95	35 gün
Ru-103	40 gün
Zr-95	65 gün
Sr-90	28 yıl

Bunlar arasında insan sağlığı, uzun vadede meydana getireceği çevre sorunları ve troposfere salınan miktarlar açısından en önemli izotopların I-131 ve Cs-134 ile Cs-137 olduğu kabul edilmektedir (4).

Kazanın meydana geldiği tarihlerde, Türkiye için Trakya-Edirne-Kapıkule arası ve Doğu Karadeniz sahil kesimi kritik bölgeler ve bu bölgelerde yaşayan halk da kritik gruplar olarak nitelendirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Tabiatta bilinen elementlerin küçük bir bölümü radyoaktiftir. Bu elementler yeryüzünde olduğu gibi, atmosferde de bulunabilmektedir. Doğada kendiliğinden var olan bu radyoaktif maddeler ve güneş radyasyonu nedeniyle "doğal radyasyon" oluşmaktadır.

Genelde ve normal şartlarda, canlılarda olumsuz etkiler yaratabilecek mertebelerden uzaktır (5).

Doğal radyasyon kaynaklarına ek olarak, insanlar kendi yaptıkları radyasyon kaynaklarından da etkilenirler. Enerji ihtiyacını karşılamak için çoğaltılmakta olan nükleer enerji tesisleri ve nükleer denemeler ortamdaki aktiflik seviyesini artırmaktadır.

Bitkiler ve topraklar radyoaktif kirlenmenin insanlara geçişinde önemli rol oynarlar. Topraklarda doğal ve yapay olarak oluşan radyoaktif elementler bitkilere metabolizma ile geçer ve sonuçta doğrudan ya da çeşitli beslenme zincirleriyle insanlara ulaşırlar (6).

Bu çalışmanın amacı, Karadeniz Bölgesi'ndeki Ordu ilinin radyoaktiflik seviyesinin belirlenmesidir. Araştırma, Ordu ilindeki farklı yerlerden toplanan, radyoaktif çekirdekleri bünyelerinde uzun süre barındırma özelliğine sahip karayosunları ve likenler üzerinde yapılmıştır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Çevrede radyoaktif kirlenme ile ilgili olarak yapılan ekolojik çalışmalar radyo-ekoloji bilimi olarak adlandırılmaktadır. 1950'li yıllarda ortaya çıkan bu bilim dalı Çernobil nükleer santrali kazasından sonra yeni bir boyut kazanarak güncelliğini ortaya koymuştur (7).

Çeşitli kaynaklardan çevreye yayılan radyoaktif çekirdekler, değişik olay ve davranışlarla bazı ortamlarda birikim yaparlar. Bu nedenle, değişik bölgelerde yaşayan kara ve su bitkilerinin organizmalarında bulunan radyoaktif çekirdek miktarları, coğrafik bölgelere ve ortamın özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.

Birçok bilim adamına göre, radyoaktif atıkların çevreye dağılması ile bugüne kadar belirgin bir ekolojik etki gözlenmemiştir (4). Ancak, çevre korunmasına devam edilecekse, radyoaktif çekirdeklerin ekoloji üzerindeki etkileriyle ilgili araştırmaları da sürdürmek gerekmektedir. Nitekim, Çernobil nükleer kazası sonucunda, ülkemiz sınırları ve çevresinde de radyoaktif kirlenme seviyeleri bir miktar artmış durumdadır.

Toprakta bulunan radyoaktif çekirdekler, bitkiler, hayvanlar ve insanlar arasında değişik derecelerde taşınabilirler. Ekolojik etkiye neden olan olay, organizmaların konsantrasyon mekanizmaları sonucunda, yüksek miktarda radyoaktif çekirdekleri biriktirmesidir. Bu etkinin büyüklüğü ve önemi ise, ekosistemin tipine bağlı olarak değişir (8).

Çevredeki radyoaktif kirliliği açığa çıkarmak amacıyla biyoindikatörler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda radyoaktif izotopların karayosunları ve likenlere kuvvetle bağlandığı belirlenmiştir (6).

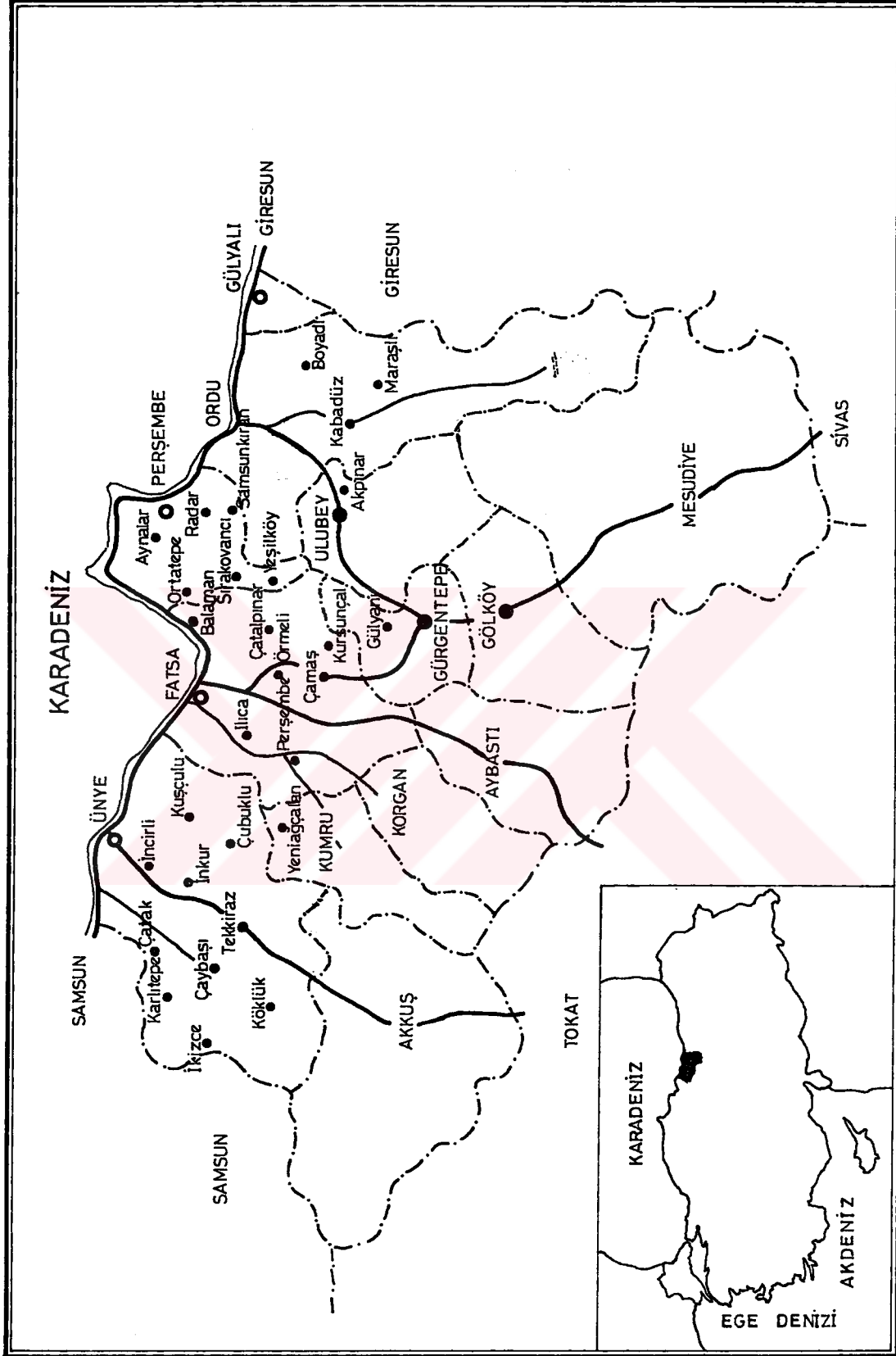
Yeryüzünde çok geniş bir yayılma alanına sahip olan likenler, hava kirliliğinin seviyesi hakkında bilgi verirler. Çünkü likenler, beslenme için su ve mineral maddeleri yüzeyleri ile almak zorunda olduklarından, atmosferde taşınan kükürt, azot ve florlu kirleticilerden, ağır metallere (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ve aşırı radyasyondan etkilenirler. Bu duyarlılıkları likenlere biyolojik gösterge olma özelliği kazandırmakta ve önlem alınması gerektiğini hatırlatmaktadır (9). Bu amaçla, son yıllarda Avrupa ülkelerinde yaygınlaşan ve ülkemizde de çalışılmaya başlanan liken dağılımı araştırmaları ile bazı şehirlerin hava kirliliği ve radyoaktiflik seviyesi hakkında bilgiler elde edilmiştir (10).

Bu araştırma Ordu ilinden değişik yüksekliklerden alınan karayosunu ve liken örnekleri ile yapılmıştır. Numunelerin toplandığı yerler harita üzerinde (●) ile gösterilmiştir (Şekil 1).

1.4 Literatür Özeti

Çernobil nükleer santrali kazasından sonra dünyanın çeşitli bölgelerinde ve ülke çapında başta kritik bölgelerde olmak üzere radyoaktif kirliliğin tespiti için çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli çevre örnekleri ve gıda maddeleri üzerindeki araştırmaların kısa bir özeti aşağıda verilmektedir.

Özellikle 30 Nisan 1986 günü Güney Almanya'da, hava ve topraktaki Çernobil radyoaktifliği nedeniyle çevredeki radyasyon doz hızı önemli artış göstermiş, Çernobil öncesi Münih çevresinde 7-8 $\mu\text{R/h}$ olan radyasyon doz hızı, 30 Nisan sabah saat 8'den başlayarak yükselmiş ve 8 saat içinde 22 $\mu\text{R/h}$ 'a çıkmış ve kısa sürede 110 mR/h 'a erişmiş ve bundan sonraki zamanda yavaş yavaş azalarak Mayıs 1986 sonunda 20 $\mu\text{R/h}$ düzeyine inmiştir (11). Batı Almanya'nın Güney Bavyera bölgesinde Çernobil sonrası yapılan ölçümlerde Çernobil kazası dolayısıyla bir defada alınan Cs-137 düzeyinin ve Sr-90 düzeyinin nükleer testler sonucu toprakta biriken Cs-137 düzeyine göre 5 kat daha fazla olduğu ileri sürülmüştür (12). 1987 yazından sonra Güney Bavyera'daki 3 farklı çeşit orman toprağındaki radyosezyum dağılımı ve mantarlar üzerindeki konsantrasyon gözlemlendiğinde; mantarların yaşama şekilleri ve türlerine bağlı olarak meyve gövdelerindeki ^{137}Cs konsantrasyonunun 2-15000 Bq/kg arasında değişmekte olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Numunelerin alındığı yerleri gösteren yöresel harita

Radyosezyum'un çoğunun organik tabakalarda bulunması sebebiyle, mantarlardaki ve organik tabakalardaki $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ oranının çok benzerlik gösterdiği bulunmuştur. Son 5 yılda meyve gövdelerindeki ^{137}Cs aktivitesinde önemli bir düşüş gözlenmemiştir (13).

1990-1991' de Mezosfer tabakasının 30 yerinde (ve kısmen de Çernobil nükleer güç tesisine en yakın bölgede) gerçekleştirilen ^{137}Cs ' nin aktivite yoğunluğu ölçümlerinin istatistik analizine göre, Byelorussia' daki yerleşim yerlerinde radyonüklidlerin ortalama aktivite yoğunluğunun 14 Bq/cm^2 'ye yakın olduğu ve bu değer en yakın bölgede görülen 48 Bq/cm^2 değerinden epeyce küçük olduğu belirlendi. Radyonüklid yüzey aktivite yoğunluğu, koordinatlara bağlı düzensiz bir fonksiyondur. İki detaylı veri setinin istatistik analizi, verilerin gerçekten de birbirinden bağımsız olduğunu ve ^{137}Cs ' nin dağılımının normal dağılımla gösterilebileceğini ortaya koymuştur (14).

1991-92 yazında Beyaz Rusya' da Çernobil kazasında radyoaktif serpintiye maruz kalan 8 ile 12 yaş arasındaki 74 çocuk üzerinde ölçülen ^{137}Cs miktarlarının $0.04-2.25 \text{ kBq}$ arasında değiştiği belirlendi. Bu miktar, çocukların vücudunda doğal olarak bulunan ^{40}K ' dan daha azdı. ^{137}Cs ' nin kızlardaki ve erkeklerdeki ortalama miktarları arasında fazla bir fark olmadığı ve vücuttaki yoğunluğunun yaşa veya kiloya bağımlı olmadığı saptandı (15).

Danimarka' da Roe Geyiklerinin yiyeceklerindeki ve dışkılarındaki ^{137}Cs seviyesi üzerindeki incelemelerden, ^{137}Cs seviyesinin oldukça yüksek olduğu ve bu sonucun, sadece Cs açısından zengin yiyeceklerin (mantarlar gibi) alınmasıyla açıklanabileceği belirlenmiştir. Roe geyiklerindeki radyosezyum seviyesi, hiçbir şekilde alarm verecek durumda olmamasına rağmen, tüketim için kullanılan diğer ürünlerle karşılaştırıldığında radyosezyum oranının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (16). ^{137}Cs seviyesinin Roe geyiklerinde ve diğer mantar yiyen ev keçisi, koyun ve Ren geyiği gibi hayvanlarda mantarların iyi yetiştiği sezonlarda arttığı bilinmektedir (17,18,19).

26 Nisan 1986 tarihinde meydana gelen kazanın ardından Trakya bölgesinin değişik miktarlarda yağış alan yörelerinde işlenmemiş sahalarda toprağın iki ayrı derinliğinde (0-5 cm ve 5-10 cm) Cs-134 ve Cs-137 birikimini belirlemek üzere alınan toprak örneklerinden elde edilen bulgular, 30 Nisan-1 Mayıs 1986 tarihlerindeki yağış dağılımı ile radyonüklidlerin değişik yörelerdeki seviyesi arasında oldukça yakın bir ilişkinin bulunduğunu ve ayrıca bölge topraklarında hakim olan kil tipi minerallerin Cs elementini sıkıca tutması sonucu, bu elementin yüzeyde yoğunlaştığını göstermektedir. Ölçüm sonuçları literatürle karşılaştırıldığında, Çernobil sonrası Trakya bölgesinin Doğu

Karadeniz bölgesine ve bazı Avrupa ülkelerine oranla çok daha düşük düzeyde radyoaktif madde aldığını ortaya koymaktadır (4). Yapılan çalışmalardan, kil minerallerince fakir olan topraklara sahip havzalardaki bütün göllerin havzadan önemli ölçüde radyosezyum aldıkları saptanmıştır. Böylece kil minerali içeriği ile tortulardaki artık sezyum arasında bir ilişki olduğu gözlenmiştir (20).

Asidik karakter gösteren Doğu Karadeniz bölgesi topraklarındaki kil yüzdesinin ve kil minerallerinin Trakya topraklarına oranla genellikle daha az olması, Cs elementinin üst toprak tarafından sıkıca tutulmadığını ve ayrıca bölgedeki yüksek yağış (yıllık ortalama 2500 mm) nedeniyle alt katmanlara doğru geçtiğini göstermektedir (21).

1990 yılı sonunda Doğu Karadeniz'deki çeşitli istasyonlardan 0-30 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinin ölçümü sonunda, en fazla etkilenen yerlerin Doğu Karadenizin batı ve doğusundaki uç bölgeler olup, batıda Ünye, Fatsa, doğuda Arhavi, Pazar ve Fındıklıdır. Orta bölgede kalan istasyonlar daha az etkilenmişlerdir (22). Bu tarihlerdeki meteorolojik şartların (rüzgâr ve radyoaktif bulutların), istasyonlar arasında bu kadar fazla aktivite farklılıklarına neden olduğu tahmin edilmektedir. Sezyum'un alt katmanlara geçmesi çok, orta, ve az diye sınıflandırıldığında; Dereli, Ünye, Pazar, Borçka, Eynesil topraklarının çok geçirgen, Ordu, Giresun, Arhavi, Rize, Maçka, Trabzon topraklarının orta geçirgen, Araklı, Fındıklı, Of, Hopa, Tirebolu topraklarının az geçirgen olduğu saptanmıştır. Geçirgenlikte en önemli etkenlerin yağış, toprak cinsi ve toprağın pH değeri olarak sıralanabileceği yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır (23).

Rize Çay Araştırma Enstitüsü bahçesinden alınan yüzey toprağında toplam aktivite 70 Bq/kg (20 ¹³⁴Cs ve 50 ¹³⁷Cs Bq/kg) iken, aynı bölgede 20 cm derinlikte toplam aktivite 78 Bq/kg (20 ¹³⁴Cs ve 58 ¹³⁷ Cs Bq/kg) ve 40 cm derinlikte 97 Bq/kg (18 ¹³⁴Cs ve 79 ¹³⁷ Cs Bq/kg) olmuştur. Rize çok yağış aldığından radyoaktiflik miktarı derinlikle artış göstermiştir (24).

Karadeniz'in Fatsa bölgesinden başlayarak Borçka'ya kadar uzanan sahil kesiminin 25 yerleşim merkezinden ve toprağın 5 cm derinliğinden alınan örneklerin ölçümlerinden, Karadeniz Bölgesi'nin doğu tarafında yüzeysel toprak örneklerinde serpintiden kaynaklanan radyoaktifliğin bölgenin diğer taraflarına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yüzeysel serpintinin meydana geldiği tarihlerde rüzgârın yönüne açık olan bölgelerde radyasyon seviyesi yüksek çıkmıştır. Diğer taraftan deniz seviyesinden 1200 m yüksekliği olan açık bir bölgeden alınan yüzeysel toprak örneklerindeki

radioaktivlik, bölgenin coğrafi yapısı ve bitki örtüsü ile ilgili olarak alçak seviyelerdeki yüzeysel toprak aktivitelere oranla daha yüksek bulunmuştur (8).

1986 yılının kazadan sonraki tarihlerinde, Doğu Karadeniz'in çeşitli yörelerinden alınan toprak örneklerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek aktivite ^{137}Cs radyonüklidi için Rize ilinde 1820 Bq/kg, Artvin'de 929 Bq/kg, Giresun'da 373 Bq/kg ve Ordu'da 105 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Doğu Karadeniz bölgesindeki 17 istasyondan alınan toprak örneklerinden elde edilen bulgular gibi, başka ülkelerde yapılan çalışmalar da Cs izotopunun bir kısmının Çernobil kazasından 4 yıl sonra da hala toprak yüzeyinde bulunması Cs'un toprakla kuvvetli bir bağ teşkil ettiğini göstermiştir (23).

1986 yılına ait iç fındık ürününde yapılan radyoaktivite seviyesi ölçümleri sonucunda, Akçakoca bölgesinde genel olarak 19-194 Bq/kg, Ordu bölgesinde 144-172 Bq/kg arasında Cs-137 ve Cs-134 aktivitesi belirlenmiştir. 1986 yılı fındık ürününün durumu bölgesel olarak incelendiğinde, Doğu Karadeniz'den batıya doğru gidildikçe aktivitenin düştüğü belirlenmiştir (25).

Yapılan çalışmalardan, Doğu Karadeniz bölgesinin iç kısımlarında sahil kesimine göre fındık ürünündeki radyoaktivite miktarının azalmakta olduğu, yani fındık ürünündeki radyasyon miktarının yükseklikle azalma gösterdiği saptanmıştır. 1987 yılı ürünlerinde radyoaktivite miktarı Batı Karadeniz için ortalama olarak 50 Bq/kg'ın altında bulunmuştur. Radyoaktivite değeri, Ordu yöresi için 100 Bq/kg, Giresun'da 150 Bq/kg, Görele'de 250 Bq/kg bulunmuştur (7).

Ülkemizde çay bitkisinde ve kuru çaylar üzerinde yapılan bir araştırmada, 1986 yılı ilk sürgünde ve 1985 veya 1986 paketleme tarihli birçok kuru çay örneğinde 20-40 kBq/kg'lık çok yüksek bir radyoaktivitenin belirlenmesi, bu bölgenin Çernobil'den yüksek düzeyde radyoaktif madde aldığını ortaya koymaktadır (26). Kazayı takip eden Nisan ve Mayıs aylarında çiçeklenmiş durumda bulunan meyve ağaçları ve çok yapraklı bitkiler radyasyon taşıyan yağmurlardan oldukça etkilenmişlerdir. En çok etkilenen bitkilerden olan çay'da ilk sürgünde 55000-60000 Bq/kg'lık bir aktivite bulunmuştur. Daha sonraki sürgünlerde aktivite miktarının gittikçe azaldığı gözlenmiştir (27). 1986 Haziran'ından 1987'nin yazına kadarki dönemde, yeşil alanların sezyum konsantrasyonlarında önemli ve detaylı değişimler gözlenmiş ve sezyum konsantrasyonunun üstel bir fonksiyon şeklinde düştüğü sonucuna varılmıştır (28).

1986 yılı Konya yöresi adaçayı ürünlerinde, aktivite düzeyinin çok düşük olmasına karşın, Muğla ve Aydın yörelerinde 7000 ile 10000 Bq/kg arasında değişen yüksek

radioaktiflik düzeyleri tespit edilmiştir. 1986 yılı adaçayı ürünlerinin analizinde başlıca sekiz radyoaktif çekirdeğin varlığı saptanmış ve en yüksek radyoaktiflik oranları sırasıyla Cs-137, Ru-103, Ru-106 ve Cs-134 için bulunmuştur. 1987 Muğla yöresi adaçayı ürünlerindeki toplam beta radyoaktiflik düzeyinin 360 Bq/kg olarak bulunmasına karşın, Mersin yöresi adaçaylarında herhangi bir radyonüklide rastlanmamıştır. 1986 Eylül - Ekim ayı itibarıyla toplanan fındık yapraklarındaki aktivite, fındık içi ve toprakta bulunana göre bir hayli fazladır. Eylül 1986 tarihinde Muğla, Aydın, İzmir, Bursa ve Trabzon bölgeleri tütünlerinde, toplam beta aktivite düzeylerinin 80-100 Bq/kg civarında bulunmasına karşın, Balıkesir ve Samsun yöreleri tütünlerindeki radyoaktiflik doğal düzeyde kalmıştır (23).

20 Mayıs 1986 tarihinden itibaren İstanbul toprak, bitki ve yağmur suyu örneklerinin günlük olarak yerel radyoaktiflik birikimi, m² başına 15 Bq 'in altında, 1987 yılı ve Mart 1988 günlerindeki dağılım da 15 Bq/m²' nin altında ölçülmüştür. Yapılan incelemeler sonucu, yağmursuz günlerde 10 Bq/m² 'nin altında ölçülen yerel radyoaktiflik birikimlerinin yağmurlu günlerde 15 Bq/m²'ye yükseldiği belirlenmiştir (29).

Edirne ve çevre köylerinde yaşayanların vücutlarındaki radyoaktivite seviyesi kazadan 659 gün sonra ölçülmüş ve 4 ay sonra da bu işlem Kayseri bölgesinde tekrarlanmış, Edirne ve Kayseri illerindeki şahısların aynı radyoaktivite seviyesine sahip oldukları görülmüştür. Edirne ve Kayseri yöresi radyoaktif kirlilik seviyesi ile yüzde dağılımının benzerlik göstermesi, Türkiye'nin birçok yöresinin benzer olacağını göstermiştir (30).

1.5 Havadaki Radyoizotopların Özellikleri ve Bitki Tarafından Tutulması

26 Nisan 1986 tarihinde Çernobil'de meydana gelen kaza, doğal radyasyon düzeyinin büyük ölçüde artmasına neden olmuştur. Ülkemize yağmur bulutları ile gelen radyoizotoplardan en önemlileri, 30,2 yıl yarı ömürlü Cs-137 ve 2,1 yıl yarı ömürlü Cs-134'dür (23).

Havaya salınan radyoaktif çekirdekler, atmosferde bulunan diğer parçacıklarla birleşmektedir. Havadaki radyoaktif parçacıkların çapı, birkaç mikron ile birkaç milimetre arasında değişir. Peirson ve Keane, Bağımsız Devletler Topluluğu'daki bir nükleer denemeden sonra havaya yayılan I-131'in % 30'undan daha az bir kısmının gaz, diğer bölümünün ise parçacıklar halinde olduğunu saptamışlardır (6).

İngiltere’de değişik şehir atmosferlerinde yapılan çalışmada Mo-99, Ru-103, Ru-106, I-131, Te-132, Cs-134, Cs-137, Ba-140, La-140, Pu-239 ve Pu-240 radyoaktif atıkları saptanmıştır. Bu çalışmalarda nükleer kaza sonrası dünyamızın atmosferinin radyoaktif atıklar açısından büyük ölçüde kirlendiği ve bunun sonucunda atmosferin değişik kesimlerinde olmak üzere hemen hemen bütün fisyon ürünü radyoaktif atıkların ve serpentinin gözlendiği ortaya konulmaktadır (31). Radyoaktif bakımdan kirletilmiş topraklardan bitkilere geçen radyonüklidlerin oranları üzerine yaklaşık 1954 yılından beri sayısız yayınlar göze çarpmaktadır. Çok az olmakla birlikte, su bitkilerinin radyonüklidleri doğaya yayma potansiyelinin kara bitkilerine kıyasla çok daha fazla olduğunu gösteren bazı çalışmalar vardır (32).

Radyoaktifliğin topraktaki taşınmasında arazi üzerindeki bitki örtüsünün rolünü inceleyen araştırmacılar, Çernobil kazasından sonra havadan toprağa ulaşan radyoaktivitenin, çalılık arazide çıplak araziden daha fazla biriktiğini göstermiştir. Almanya’da yapılan bir araştırmada, 1984 yılına kadar nükleer silah denemelerinden havadan toprağa ulaşan Cs-137’nin ormanlık arazideki birikiminin meralardan 9 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir (22).

Havadaki radyoizotopların bitki yüzeyinde birikim mekanizması, üzerlerine gelen parçacıkların büyüklüğüne bağlıdır. Radyoizotoplar, bitki yüzeyine yağmurlarla ulaşmaktadır. Yağış, çapları 10 µm’den küçük parçacıkların taşınmasında önemli rol oynar. Daha büyük çaplı olanlar ise, yerçekimi veya atmosferdeki hava akımlarına bağlı olarak bitki yüzeyine ulaşır. Şiddetli rüzgâr ve difüzyon etkisi radyoaktif gazların bitki yüzeylerine ulaşmasını sağlayan diğer bir yoldur. Ayrıca, bitki yüzeyinin morfolojik yapısı ile bitkideki fizyolojik şartların birikim hızını etkileyebileceği saptanmıştır (33,34).

Radyoizotopların bitkiler tarafından doğrudan soğurulmasının üç yolla olduğu bildirilmektedir (35). Bunlar; yapraklar, çiçekler ve kökler şeklinde sıralanır. Bukovac ve arkadaşları (33), birikimin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, birikim sırasındaki ortam şartlarının ve bitkinin fizyolojik özelliklerinin yaprak soğurmasını etkilediğini rapor etmişlerdir. Bitki yapraklarındaki stomatlar aracılığı ile alınan Sr-90, kalsiyum elementi gibi davranarak sabit hale geçerken, Cs-137 potasyum elementi gibi oldukça hareketlidir ve bitki içerisinde çeşitli organlara kolayca taşınabilir. Cs-137 toprak çözeltisi içinde kaldığı sürece bitki tarafından, ıslanma ve kuruma sonucu özellikle kil minerallerince zengin topraklarda bitkinin kolaylıkla alamıyacağı bir formda tutulur (3). Topraktaki kil minerallerinin kristal yapılanma özellikleri nedeniyle Cs elementini potasyumda olduğu gibi

tabakalar arasında sıkıca tuttukları bu konuda son 30 yıldır yapılan çeşitli araştırmalar sonucu açıkça ortaya konulmuştur (21).

Toprağın içerdiği radyoaktif çekirdeklerin bitkilere veya suya geçmelerinin toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olduğunu gösteren pek çok çalışma yayınlanmıştır (36,37,38). Son yıllarda radyonüklidlerin bitkilerdeki transfer faktörünü en çok etkileyen parametrenin toprağın pH'ı olduğu Schuller tarafından saptanmıştır (39). Till ve Meyer tarafından 1983 yılında Cs-137'nin geçişi incelenmiş ve bu değerlendirmeye göre topraktan bitkiye Cs-137'nin en kolay geçtiği yerin kumlu toprak olduğu ve bu geçişin bitkinin yapısına göre % 4-9 oranında olduğu saptanmıştır. Cs ve K güprelenmesi fazla olan toprak çeşitlerinde Cs-134'ün topraktan bitkiye geçişinin % 0,2-1,3 arasında değiştiği tespit edilmiş, volkanik yapıya sahip topraklarda ise, Cs-134'ün geçişinin %2-6 arasında olduğu bulunmuştur (40).

Çernobil kazası sonrasında likenler ve kara yosunları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen verilere dayanarak varılan sonuç, sadece nükleer silah denemelerinden değil, aynı zamanda nükleer kazaların sebep olduğu radyoaktif kirliliğin tespitinde de liken ve karayosunu bitkilerinden faydalanılabileceğidir. Likenler ve karayosunları Cs-137 ve diğer radyoaktif çekirdeklerce zengindir. Uzun ömürlü fisyon ürünü radyonüklidlerin bu bitkilerden hayvanlara ve insanlara geçişi daha çok bitki-hayvan ve insan yoluyla olur. Likenler ve karayosunları uzun ömürlü olduklarından uzun zamanda atmosferde kendiliğinden veya yapay olarak artan radyoaktifliğin ve hava kirliliğinin biyolojik göstergesi olarak kullanılmaktadırlar (41). Son 20 yıl zarfında birkaç hava kirleticisi, örneğin; SO₂, NO_x, HF, ozon ve ağır metallerin likenleri etkilediği görülmüştür. Bunun nedeni likenlerde kök sistemi kutikula tabakasının olmaması ve bu yüzden madde alışverişinin tallusun tüm yüzeyi tarafından gerçekleştirilmesidir. Böylelikle sadece havadan kaynaklanan kirleticilerin dokulara girmesi ve bunların saptanması mümkün olabilmektedir (42). Likenlerin hava kirliliğine karşı duyarlılığından dolayı ciddi olarak kirlenen bir bölgede çok sayıda liken türü yaşama şansını yitirmekte ve gitgide liken çölleri artmaktadır (43).

Havanın metal birikimlerinin kantitatif tayininde, biyomonitör olarak ağaç üzerinde yaşayan likenler kullanılmaktadır. Bunun nedeni, yerde yaşayan likenlerin topraktan da metal almaları nedeniyle sağlıklı sonuç alınmayabileceğidir (44). Clodonia Alpestris likeninin oluşturduğu popülasyonda birçok yapay radyoizotopun ve doğal oluşmuş Be-7'nin tutulma ve dağılımını inceleyen Mattson, liken içine sızma derinliğinin

artmasına göre radyoizotopların $Ce^{144} \approx Be^7 < Zr^{95} < Cs^{137} < Ru^{106} \leq Eu^{155} < Sb^{125}$ şeklinde sıralanabileceğini saptamışlardır. Likenlerle aynı alanda yetişen tohumlu bitkilerde radyoizotopların yoğunluğu karşılaştırıldığında, genelde likenlerin tohumlu bitkilerden iki ile on kat arasında fazla radyoaktif madde içerdikleri bildirilmektedir (45).

Alaska'daki Biota üzerinde Sr-90 ve Cs-137'nin birim miktarları, bitkiye giriş hızları ve giriş şekilleri üzerinde yapılan araştırmalarda, Cs-137'nin, likenlerde büyük bir hareket yeteneğine sahip olmasından dolayı Sr-90'a göre daha önemli olduğu ortaya konmuştur (46). Aarkrog ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada Greenland'da kıyı boyunca yetişen liken örneklerinde Sr-90 ve Cs-137 aktivitelerinin normal çevre şartlarında biriktirilebilecek maksimum dozlar olduğu gösterilmiştir (47).

Yukarıda sıralanan araştırmalardan da anlaşılacağı gibi radyoaktif maddelerin besin zincirine giriş yollarından en önemlisinin bitkiler olacağı ortaya çıkmıştır. Bu yüzden ekosistemin radyoaktif kirliliğinin seviyesini belirlemek, serpintilerle gelen radyoaktif çekirdekleri yüksek oranda biriktirdiği tespit edilen karayosunları ve likenler üzerinde aktiflik ölçümleri yapmak isabetli olacaktır.

1.6 Radyasyonun Şiddeti

Elektromagnetik radyasyon demeti, belirli miktarda enerji taşıyan foton veya dalga paketi olarak kabul edilebilir. Bu kabul, özellikle radyasyonun soğurulması, şiddeti ve radyasyonun ölçümü konularında oldukça faydalı bir yaklaşımdır. Benzer kabuller bir radyasyon demeti için de, bir parçacık demeti için de geçerlidir.

Bir radyasyon demetinin belirli bir yerdeki şiddetinin ölçülmesi, söz konusu yerde 1 cm^2 'lik alandan geçen foton veya parçacık sayısının tayini yoluyla yapılır (Şekil 2).

A alanından saniyede geçen foton veya parçacık sayısı n , radyasyon şiddetinin bir ölçüsüdür. Buna foton akısı denir. Birim yüzey için ise, foton akısı yoğunluğunu tanımlayabilir ve F harfi ile gösterebiliriz.

$$F = \frac{n}{A} \text{ foton/s.cm}^2$$

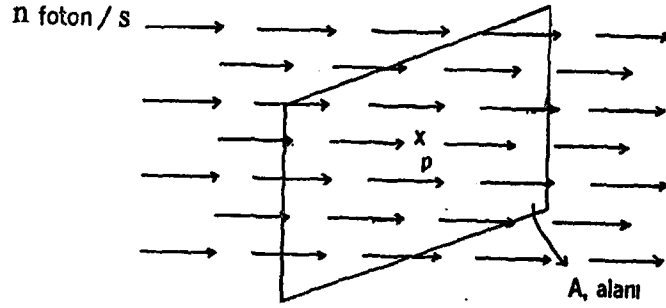
Görüldüğü gibi, burada parçacık ve foton için aynı formül kullanılmaktadır. Foton veya parçacıkların belirli enerjileri olacağından birim yüzeyden birim zamanda geçen radyasyon enerjisi,

$$\phi = F \times E = \frac{n}{A} E \text{ MeV.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

olur. t zaman süresince birim alandan geçen toplam radyasyon enerjisine, Q dersek,

$$Q = \phi \times t = \frac{n}{A} E \times t \text{ MeV/cm}^2$$

olur.



Şekil 2. Radyasyon Akısı

P noktasındaki radyasyonun şiddeti ile aynı noktadaki soğurulmuş enerji hızı arasındaki ayırımı yapmak gerekir. Alanın içinden geçen toplam radyasyonun sadece belirli bir kısmı, soğurucunun tabiatına bağlı olarak bu alanda tutulacaktır. Alandan geçen radyasyon miktarına ışınlama dozu ve maddeye aktarılan enerji miktarına soğurulan doz denir.

1.7 Radyasyonun Ters Kare Kanunu

R yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa; kürenin yüzeyindeki akı yoğunluğu,

$$F = \frac{n}{4\pi R^2} \text{ foton.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

olur. Görüldüğü gibi, akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır, bu “ters kare kanunu” olarak bilinir ve radyasyondan korunmada büyük öneme sahiptir.

Bu kanun; kaynak ile söz konusu nokta arasında soğurulma veya saçılmanın olmadığı ve kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani, kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir. Bu şartların sağlandığı durumlarda, belirli bir uzaklıktaki doz

hızı biliniyorsa, boşluk veya havada başka bir uzaklık için doz hızı değeri uzaklığın karesiyle ters orantılı olacağından kolaylıkla hesaplanır.

D_1 , kaynaktan d_1 uzaklıktaki doz hızı, D_2 , kaynaktan d_2 uzaklıktaki doz hızı olmak üzere

$$D_1 \cdot d_1^2 = D_2 \cdot d_2^2$$

buradan da

$$D_2 = D_1 \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

bağıntısı yazılır.

1.8 Uyarılma ve İyonlaşma

Atomlar normal hallerinde en düşük enerji seviyesinde, yani temel hallerinde bulunurlar. Temel halde bulunan bir atoma dışardan bir enerji verilirse, atom bu enerjiyi soğurur ve bir üst enerji seviyesine yani uyarılmış hale geçer. Atomlar hızlandırılmış taneciklerle veya belli enerjili fotonlarla uyarılabilirler.

Bir atomun elektronlarından biri veya birkaçının atomdan tamamen koparılması için bir dış etkinin olması gerekir. İşte, bir dış etkenle atomun elektronlarından bir veya birkaç tanesinin koparılmasına iyonlaşma denir. Sonuçta serbest elektron veya elektronlar ile kütleli iyonlaşmadan öncekinden çok az küçük olan pozitif yüklü kütle kalır. Bu olay atomlarda olduğu gibi moleküllerde de meydana gelir. Böylece meydana gelen pozitif yüklü atom veya moleküllerle, negatif yüklü serbest elektronlara iyon adı verilir.

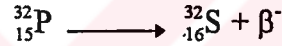
1.9 Radyoaktiflik

Radyoaktiflik, 1896 yılında Becquerel tarafından bulunmuştur. Bu buluşta, 1895 yılında keşfedilmiş olan x-ışınlarının büyük rolü olmuştur. Becquerel, uranyumun bazı tuzlarının kendiliğinden girici radyasyonlar yayınladığını görmüş ve bu olaya radyoaktiflik adını vermiştir. Daha sonra Curie'ler doğal olarak bulunan radyum ve polonyum elementlerinin de radyoaktif olduğunu göstermişler ve 1934'de Curie ve Joliot önceleri kararlı olan elementleri radyoaktif hale getirmenin mümkün olduğunu keşfetmişlerdir. Bu olaya yapay radyoaktiflik adı verilmiştir.

Özellikle fisyon olayının keşfinden sonra pek çok yapay radyoaktif madde üretilmiştir. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduğundan radyoaktif özelliğe sahiptirler. Kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek hasıl olur, bu değişiklikler sonucu radyasyon yayınlanır. Atomun uğradığı bu değişikliğe bozunma adı verilir. İlk bozunma sonucu oluşan yeni atoma 1. ürün denir. 1. ürün de kararsız bir atom olabilir ve parçalanarak radyasyon yayınlar ve yeni bir atoma dönüşürse buna da 2. ürün denir. Sonuç olarak, bir kararsız atom kararlı atom haline gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar. Böylece meydana gelen seriye “bozunma serisi” veya “bozunma zinciri” denir.

1.9.1 Radyoaktif Parçalanma Kanunu

Dönüşüm sonunda kararlı $^{32}_{16}\text{S}$ atomuna dönüşen $^{32}_{15}\text{P}$ radyoaktif elementi için meydana gelen bozunma olayı aşağıdaki şekilde yazılır:



Burada görüldüğü gibi, kararsız atom P bir β^- parçacığı yayınlarken kararlı olan S atomuna dönüşmüştür.

Bir bozunma olayı genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:



Ortamda, başlangıçta sadece A atomları varken, bozunmayla birlikte A ve B atomları, bozunma bittiğinde sadece B atomları bulunacaktır. Yani A atomlarının tümü B atomuna dönüşmüş olacaktır. Ortamda başlangıçta mevcut olan A atomlarının sayısı kadar sonuçta B atomu meydana gelecek, yani atomların sayısı değişmeyecektir.

Başlangıçta N sayıda radyoaktif atom olduğu kabul edilirse, dt zaman aralığında dN kadar atom bozunmaya uğrayacaktır. Bir radyoaktif elementin, birim zamanda bozulan atom sayısına o atomun aktivitesi denir. Bozulan dN atom, başlangıçtaki N radyoaktif atom sayısı, geçen dt zamanı ve bozunma sabiti λ ile de orantılı olacaktır:

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt \quad (1)$$

Burada (-) işareti dt'nin artışıyla N'nin azalışını gösterir. (1) bağıntısı radyoaktif bozunmanın temel bağıntısıdır. Parçalanma sabiti, her radyoaktif element için farklı bir değere sahip olup zamana bağlı değildir. Bu, belirli bir kararsız atomlar grubunda

bozunmamış bir atomun diğeriyle aynı bozunma ihtimaline sahip olduğu anlamına gelir, yani radyoaktif atomların bozunma ihtimali sabittir. (1) bağıntısından

$$\lambda = -\frac{dN}{Ndt} \quad (2)$$

elde edilir. Birim zaman için (2) bağıntısından $\lambda = -dN/N$ elde edilir ki bu bozunma sabitinin birim zamanda bozulan atomların sayısının, kararsız atomların sayısına bölümü olduğunu gösterir.

(1) bağıntısının integrali, bozunmamış radyoaktif atomların sayısını verir. $t=0$ anında (başlangıç) n_0 radyoaktif atom olduğu, t zaman sonra n radyoaktif atom olduğu kabul edilirse (1) bağıntısının integrali,

$$\int_{N=n_0}^{N=n} \frac{dN}{N} = \int_{t=0}^{t=t} -\lambda dt \quad (3)$$

şeklinde yazılır ve buradan aşağıdaki ifadeler elde edilir:

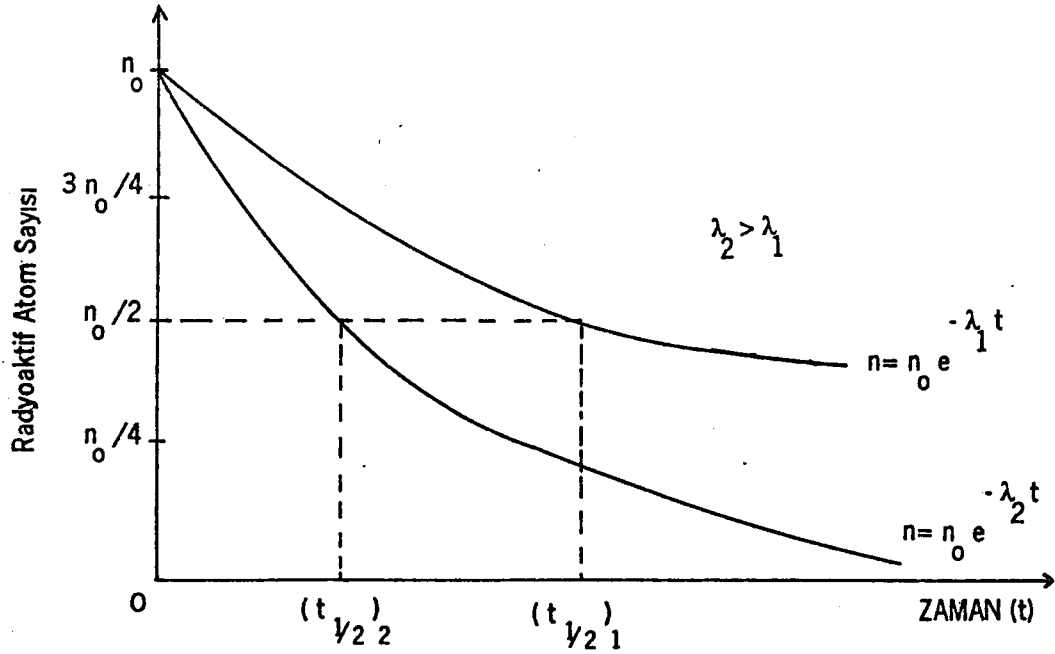
$$\frac{n}{n_0} = e^{-\lambda t} ; n = n_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Bu ifade ise, radyoaktif atomların sayısının üstel olarak azaldığını gösterir.

1.9.2 Bozunma Sabiti, Yarılanma Süresi (Yarı Ömür)

Bozunma sabiti, radyoaktif maddenin birim zamanda parçalanan kesridir. (4) bağıntısı ve Şekil 3' ten görüleceği gibi, bozunma sabiti büyük olan bir radyoaktif madde küçük olandan daha hızlı bir parçalanmaya uğrar.

Başlangıçta aynı atom sayısına sahip iki farklı radyoaktif maddeden belli bir süre sonra, bozunma sabiti büyük olandan daha az radyoaktif madde kalır. Bundan dolayı bozunma sabiti, radyoaktif atomların kararlı atomlara dönüşüm hızını gösterir. Bozunma hızını ifade etmek için bozunma sabitinden başka yarı ömür veya yarılanma süresi kullanılır. Yarı ömür ($T_{1/2}$), bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki atom sayısının yarıya inmesi için geçen zamandır. Bu yarı ömre aynı zamanda fiziksel yarı ömür de denir. (4) bağıntısı ile verilen üstel fonksiyonun unutulmaması gereken özelliği, verilen zaman diliminde radyoaktif atomların sayısındaki azalmanın sabit olacağıdır.



Şekil 3. Farklı bozunma sabitlerinin bozunma eğrisine etkisi

Bozunma sabiti ile yarı ömür arasındaki bağıntı, (4) bağıntısında geçen süre t için $T_{1/2}$ ve n için $n_0/2$ değeri konularak bulunur.

$$\frac{n_0}{2} = n_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$0.693 = \lambda T_{1/2}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \text{ s}^{-1} \quad (6)$$

(4) bağıntısında λ yerine $0.693 / T_{1/2}$ konursa,

$$n = n_0 e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} t} \quad (7)$$

bulunur. Bu bağıntıda, t ile $T_{1/2}$ 'nin zaman biriminin aynı olması gerekir.

1.9.3 Radyoaktiflik Birimleri

Radyoaktiflik ve doz birimleri genelde iki kısma ayrılabilirler. Bunlar Uluslararası Sistem Birimleri (SI) ve Uluslararası olmayan Sistem Birimleri dir (non-SI).

Non-SI' da radyoaktiflik birimi Curie dir (Ci). 1 Ci, saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ parçalanma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilir (1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$

parçalanma/sn). Ci oldukça büyük bir radyoaktiflik birimi olduğundan pratikte daha çok milicurie (1 Ci=10³ mCi), microcurie (1 Ci = 10⁶ µCi), nanocurie (1 Ci = 10⁹ nCi) ve picocurie (1 Ci= 10¹² pCi) kullanılmaktadır.

SI' da radyoaktiflik birimi Becquerel (Bq) olarak kabul edilmiştir. 1 Bq, saniyede 1 nükleer parçalanmaya eşittir. Bu tanıma göre, 1 Ci = 3,7.10¹⁰ Bq'dir.

Non-SI' da soğurulan doz birimi olarak rad kullanılmaktadır. 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg' lik bir enerji soğurması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

Non-SI' da insanlar için eşdeğer doz birimi rem' dir. 1 rem, 1 röntgenlik x veya gama ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

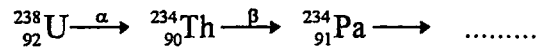
SI' da rem' e karşılık Sievert (Sv) birimi kullanılır. 1 Sv =1 j/kg =100 rem 'dir.

Non-SI' da ışınlama doz birimi Röntgen' dir(R). 1 R, 0.001293 g (1cm³) hava içinde 1 elektrostatik yük birimlik (1 e.s.y.b) elektrik yükü taşıyan positif ve negatif yüklü iyonlar meydana getiren X veya gama ışınları miktarıdır.

SI' da ışınlama doz birimine özel bir ad verilmemiştir. Bu sistemde Coulomb C/kg birimi kullanılmakta olup 1 C/kg =3876 R' dir.

1.9.4 Radyoaktif Bozunma Modelleri

Radyoaktif bozunma sonunda, bozunan atom bozunmadan öncekinden daha az enerjili duruma gelir. Kararsız atom, başlangıçta E₁ enerjisine sahipse bozunma sonrasında daha küçük bir E₂ enerjisine sahip olacak ve bu iki enerjinin farkı kadarlık enerji bozunma sırasında atomdan yayınlanacaktır. (1) bağıntısı ilk atomun bozunması sonunda meydana gelen birinci ürünün radyoaktif olmaması yani kararlı olması durumuna göre yazılmıştır. Ancak, çoğunlukla 1.üründe kararsızdır, yani o da bozunur. Bazı bozunmalarda doğal uranyum ve toryum da olduğu gibi uzun bozunma zincirleri meydana gelir.



Kararsız bir atom bozunurken belirli birkaç yol takip eder, bazen kararsız atomlar iki veya daha fazla yolla bozunabilirler.

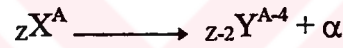
Bir radyoizotopun bozunma şekillerinin detaylı gösterimine o izotopun “bozunma şeması” adı verilir.

Yedi çeşit radyoaktif bozunma modeli mevcuttur.

- 1) Alfa bozunması
- 2) β^+ bozunması (Pozitif beta bozunması)
- 3) β^- bozunması (Negatif beta bozunması)
- 4) Elektron yakalaması
- 5) İç dönüşüm
- 6) Gama ışını yayınlaması
- 7) Nötron yayınlaması

1.9.4.I Alfa Bozunması

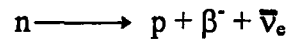
Rutherford ve Royd tarafından yapılan araştırmalar sonunda alfa radyasyonunun helyum atomunun çekirdeklerinden ibaret olduğu bulunmuştur. Alfa parçacığı yayınlayan çekirdeklerin kütle numarası 4, atom numarası 2 azalır. Bu durum;



olarak ifade edilir.

1.9.4.II Negatif Beta Bozunması

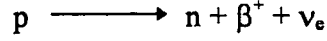
Bu bozunmada negatif beta parçacığı yayınlanır. Bu parçacıklar elektronlardır. Negatif beta parçacıkları kararsız olan atom çekirdeğinden ışık hızına yakın hızlarla fırlatılırlar. β^- , atom çekirdeğindeki fazla nötronlardan birisi protona dönüşürken meydana gelir ;



Bu bozunma atomun kütesine etki etmez, çünkü β^- 'lerin kütlesi ihmal edilecek kadar küçüktür.

1.9.4.III Pozitif Beta Bozunması

Bu olayda pozitron yayınlanır. Pozitronlar elektrik yükleri hariç elektronlarla aynıdır, yükleri $+e$ 'dir. Pozitron yayınlanmasına, mutlaka yörünge elektronlarından birinin yayınlanması eşlik eder ; çünkü çekirdekteki bir protonun



nötrona dönüşmesiyle çekirdeğin pozitif yükü bir azaldığından elektronik yapının dengede kalması için elektron yörüngesindeki elektronların da bir azalması gerekir.

1.9.4.IV Elektron Yakalanması

Elektron yakalanması olayında atomun çekirdeği yörünge elektronlarından birini yakalar. Bu elektron çekirdekteki protonlardan biri ile birleşerek nötron haline gelir.



Bu olay atomun Z' sinin Z-1 haline gelmesine sebep olur. Elektron yakalanması iki aşamalı bir olaydır. Birinci aşamada, elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bu atomu uyarılmış bir halde bırakır. İkinci aşamada ise, elektromagnetik radyasyon yayınlanır.

1.9.4.V İç Dönüşüm

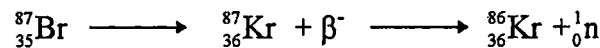
İç dönüşüm olayında çekirdek, fazla enerjisini doğrudan yörüngedeki elektrona iletir ve bu elektron yörüngeden fırlatılır. Bu dönüşüm sonunda yörüngede bir elektron boşluğu olur, bu boşluğa diğer yörüngelerden bir elektron gelerek doldurur ve bir x-ışını yayınlanır. Bu x-ışını, o elemente has karakteristik bir ışıdır.

1.9.4.VI Gama Işını Yayınlanması

Gama ışınları enerji fazlalığı olan çekirdekler tarafından yayınlanan elektromagnetik radyasyonlardır. Gama ışını yayınlanması, çekirdeğin A ve Z 'sini değiştirmeksizin uyarılmış haldeki çekirdeğin enerjisini dışarı vermesidir.

1.9.4.VII Nötron Yayınlanması

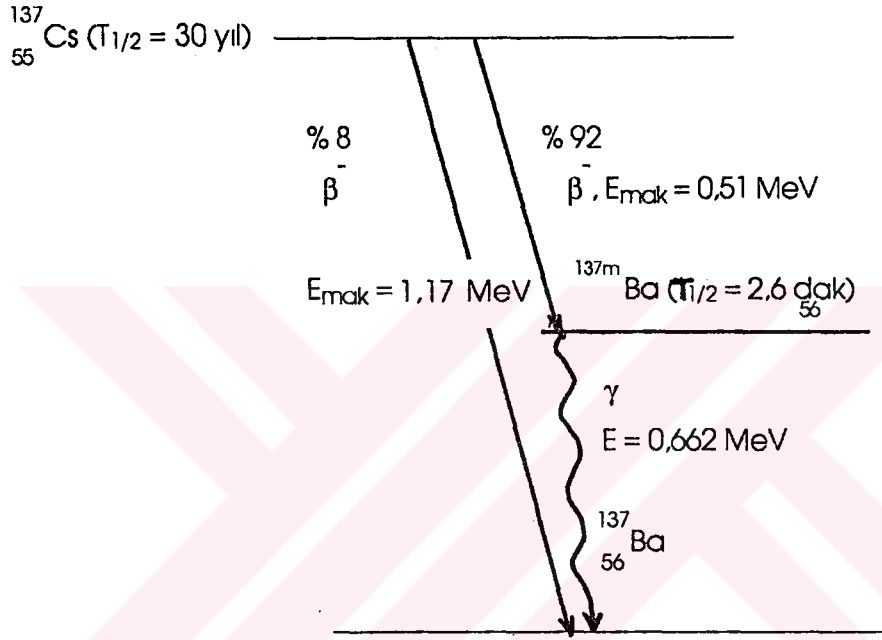
Radyoaktif atomlar bozunma olaylarının, sadece birkaç tanesinde nötron yayınlar. En iyi bilinen örnek $^{87}_{35}\text{Br}$ izotopudur, burada ,



dönüşümü olur.

1.9.5 Bozunma Şemaları

Belli bir radyoaktif atom bozunma modellerinden bir veya birkaçıyla bozunmaya uğrayabilir. Radyoaktif atomların ne şekilde bozunacağını gösteren bozunma şemaları her radyoaktif atom için bilinmektedir. Kararsız atom iki veya daha çok yollardan biri ile bozunabilir. Buna örnek olarak Cs-137 alınabilir. Bu izotopda iki alternatif bozunma modeli mümkündür. Bozunmanın % 8 'i β^- yayınlanması ile % 92 'si önce β^- ve daha sonra γ ışını yayınlanması ile olur (Şekil 4).



Şekil 4. Sezyumun bozunma şeması.

1.10 Radyasyonların Madde ile Etkileşmesi

Alfa tanecikleri, pozitif yüklü iki proton ve yüksüz iki nötrondan meydana geldikleri için bir elektrona yaklaştıklarında, aralarında kuvvetli bir elektrostatik çekim kuvveti meydana gelir. Bu taneciklerin kütlesi yaklaşık olarak elektronunkinin 8000 katı kadardır. Hızları $1,6 \cdot 10^7$ m/s mertebesindedir. Alfa tanecikleri çoğunlukla, içinden geçtikleri ortamdaki atomların elektronlarıyla etkileşme yaptıkları için geçtikleri yol üzerinde birçok iyon çiftleri oluştururlar. Bu yüzden ortamlardaki erişme uzaklığı oldukça kısadır (havada 1 cm mertebesindedir).

Beta taneciği enerjisini, alfa taneciği gibi, çok sayıda iyonlama ve uyarma olayları ile kaybeder. Hızı, yayınlandığı radyoaktif maddenin türüne göre $1,2 \cdot 10^8$ - $2,99 \cdot 10^8$ m/s

arasında değişir. Elektronun veya pozitronun kütlelerinin α parçacığına göre küçük olması nedeniyle beta radyasyonunun erişme uzaklığı, aynı enerjideki bir alfa radyasyonunun erişme uzaklığından oldukça fazladır. Havada bu uzaklık 9-10 m. civarındadır. Yüksek enerjili beta tanecikleri uyarma ve iyonlama olaylarından başka, madde ile bir etkileşmeye daha girebilirler. Bunların, atomların çekirdekleri etrafındaki elektron kafesine girerek çeşitli enerji seviyelerinde bulunan elektronların arasından geçerken şiddetli elektrostatik kuvvetlerin etkisi ile frenlenerek hızları azaltılır. Bu olayda x-ışınları yayınlanır. Böyle elde edilen x-ışınlarına frenleme ışınları anlamına gelen "bremsstrahlung" adı verilmektedir. Kısaca, düşük enerjili beta radyasyonunun soğurulmasında içinden geçtiği maddenin atomları üzerinde saçılmanın, orta enerjili beta radyasyonunun soğurulmasında iyonlama ve uyarma olaylarının, yüksek enerjili beta radyasyonunun soğurulmasında ise iyonlama ve uyarma olaylarından başka frenleme olayının da etkili olduğu söylenebilir.

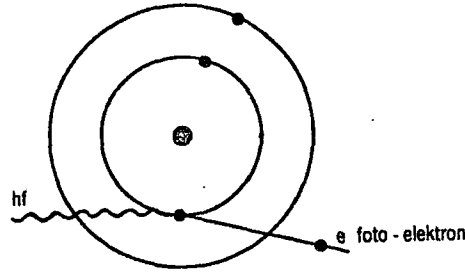
X ve gama ışınları elektromagnetik radyasyonlar olup sadece meydana gelişleri bakımından farklıdır. Bunların radyo dalgaları veya görünür ışıktan farkları, dalga boylarının çok daha kısa oluşlarıdır. Bir ışının dalga boyu kısaldıkça enerjisinin arttığı aşağıdaki formülden görülebilmektedir.

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

Burada E ışının enerjisi, h Planck sabiti ($6,62 \cdot 10^{-27}$ erg-s), ν ışının frekansı, c ışık hızı ve λ ışının dalga boyudur.

Gama ışını atom çekirdeğinden yayınlandığı halde x-ışınları, beta taneciklerinin atomun çekirdeği etrafındaki elektron bulutu ile etkileşmesi sonucunda meydana gelmektedirler. X ve gama ışınlarının soğurulması, bunların madde ile üç şekilde etkileşmeye girmesiyle oluşmaktadır. Bunlar fotoelektrik olayı, Compton olayı ve çift oluşumdur.

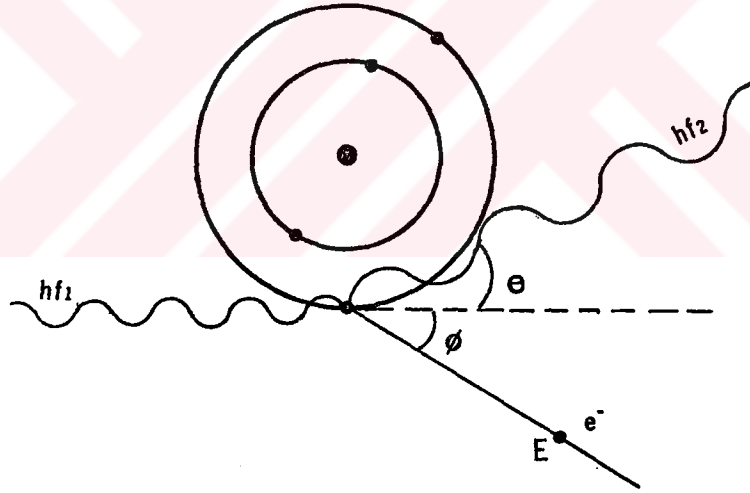
Fotoelektrik olayı, yüksek atom numaralı bir atomun elektronu ile düşük enerjili x veya gama ışınları arasındaki etkileşmede meydana gelmektedir. Bu olayda elektromagnetik radyasyon şekil 5'te gösterildiği gibi, üzerinde bulunan enerjinin tamamını çarptığı elektrona verir. Bu enerji, elektronu yerinden koparmak için gerekli eşik enerjisi ile koparılmış elektrona aktarılan ve ona hız kazandıran kinetik enerjinin toplamına eşittir. Atomdan koparılan elektronun (fotoelektronun) enerjisi diğer atomların elektronlarını koparmaya yetecek kadar fazla olduğunda, ikincil iyon çiftleri meydana getirerek enerjileri tükeninceye kadar etkileşmeye devam ederler.



$E = \text{Gelen fotonun enerjisi, } E_1 = \text{Elektronun bağlanma enerjisi,}$
 $E_2 = \text{Fotoelektrona verilen kinetik enerji}$

Şekil 5. Fotoelektrik olayının şematik gösterilişi.

Compton olayında, orta enerjili bir elektromagnetik radyasyon, enerjisinin bir kısmını, çarptığı atomun elektronunu koparmada ve onu fırlatmada kullanır. Geri kalan enerjisi ile değişik yönde yoluna devam eder. Olayda koparılan Compton elektronu ikincil iyonlama sonucunda enerjisini tüketerek (fotoelektrik olayı gibi) soğurur. Şekil 6 da tipik bir Compton olayı gösterilmektedir.



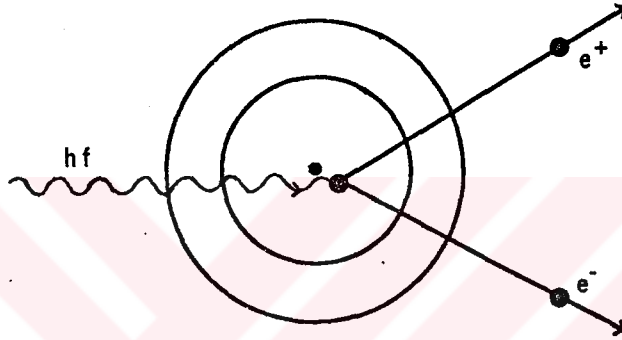
$E = E_1 + E_2 + E_3, h\nu = h\nu' + h\nu'' + 1/2.m.v^2, E = \text{Gelen fotonun enerjisi,}$
 $E_1 = \text{Elektronun bağlanma enerjisi, } E_2 = \text{Çıkan fotonun enerjisi,}$
 $E_3 = \text{Compton elektronuna verilen kinetik enerji}$

Şekil 6. Tipik bir Compton olayı.

Çift oluşumu, fotoelektrik ve Compton olaylarına nazaran daha seyrek oluşan bir olaydır. Bu etkileşmenin olabilmesi için enerjisi 1,02 MeV veya daha yüksek olan fotonlara ihtiyaç vardır. Bu olayda, bir atomun çekirdeğinin alanına giren foton (enerji paketi) bir elektron ve pozitrona dönüşür. Yani enerji kütleye dönüşmüştür. Fotonun

başlangıçtaki enerjisi 1,02 MeV 'den daha fazla ise, bu fazlalık elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak bölüştürülür. Elektron, iyonlamalarla enerjisini kaybeder. Pozitron ise, yine ikincil iyonlama olayları ile yavaşlar. Bu sırada serbest bir negatif elektrona rastlayarak birbirlerini çekerler. Birleştikleri anda kütlelerini enerjiye dönüştürerek yok olurlar. Bu olaya anihilasyon (yok olma) adı verilir. Bu yok olma sonunda her birinin enerjisi 0,51 MeV olan iki gama fotonu ortaya çıkar (Şekil 7).

Nötronların elektriksel yükleri olmadığı için madde ile etkileşimleri doğrudan atom çekirdeklerine çarpma yoluyla meydana gelmektedir. Düşük hızlı (10 keV-10 MeV) ve relâtivistik (>10 MeV) nötronların madde ile en önemli etkileşimleri esnek çarpışmalardır.



Şekil 7. Çift oluşumu

1.11 Radyasyon Ölçme Araçları

Radyasyonların algılanması ve ölçülmesi radyasyonlara hassas cihazlarla yapılır. Genelde radyasyonun ölçülme işlemine dozimetri, kullanılan araçlara dozimetre ya da dedektör denir. İyonlaştırıcı radyasyonların ölçülmesinin esası, bunların madde ile etkileşmesine dayanır. Yani madde içinden bir etki hasıl etmeden geçen radyasyonu değil, o maddenin atomları ile etkileşen radyasyonları ölçmek mümkündür. Bu etkileşme; biyolojik, fiziksel veya kimyasal bir şekilde olabilir. Prensip, bu üç etkileşmeden herhangi birisi, söz konusu noktadaki radyasyonun büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılabilir.

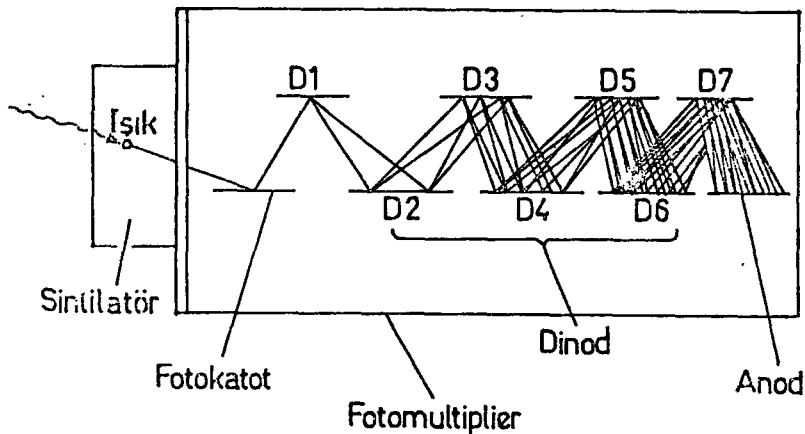
Radyasyon ölçüm sistemlerinde dedektörlerin seçimi, radyasyonun cinsine enerjisine ve şiddetine göre yapılır. Buna göre dedektörleri üç ana grupta toplamak mümkündür.

1.11.1 Gazlı Dedektörler

Bu tip dedektörler, içine uygun bir gaz doldurulmuş bir odacık ile sırasıyla pozitif ve negatif yüklü anot ve katot'dan oluşur. Ölçülecek radyasyonun gaz içinde neden olduğu iyonlaşmayla oluşan elektronlar anotta toplanır ve bir akım pulsu elde edilir. Bu tip dedektörlerde, anot ve katot arasına uygulanan gerilim arttıkça, gazın iyonlaşma miktarı da artar.

1.11.2 Parıldama Dedektörleri

Parıldama dedektörleri, sintilatör ve fotoçoğaltıcı tüp adı verilen iki kısımdan oluşur. Bu dedektörlerde gelen radyasyon sintilatör olarak kullanılan maddelerde fotoelektrik olayı yolu ile ışık üretimine neden olur. Tüp, dinod'lar adı verilen ve gittikçe daha yüksek potansiyeller uygulanan birçok elektrotlara sahiptir. Fotoelektronlar, katot ile katotun potansiyeline göre pozitif bir potansiyelde ilk dinod arasındaki elektrik alanı tarafından hızlandırılarak ikincil elektronların fırlatılmasına neden olurlar. Bu olay tekrarlanarak elektronlar dinoddan-dinoda hızlandırılarak elektron akımı büyütülür. Sonuçtaki çıkış akımı, başlangıçta katotdan salınan akıma göre bir milyon kat daha büyük olabilir. Böylece fotokatotdan salınan ışık fotoçoğaltıcı tüp tarafından ölçülebilir elektrik darbesine çevrilir. Sintilatör olarak kullanılan maddelerin geçirgen, büyük hacimli ve gelen radyasyona bağlı olarak fazla ışık vermesi gerekir. Sintilasyon dedektörleri arasında Talyum'la aktiflenmiş NaI en yaygın kullanılanıdır (48). Gerek verimi ve gerek ayırma gücü yönünden gama ışınlarının ölçümü için en uygun sintilatör NaI (TI)'dur (Şekil 8).



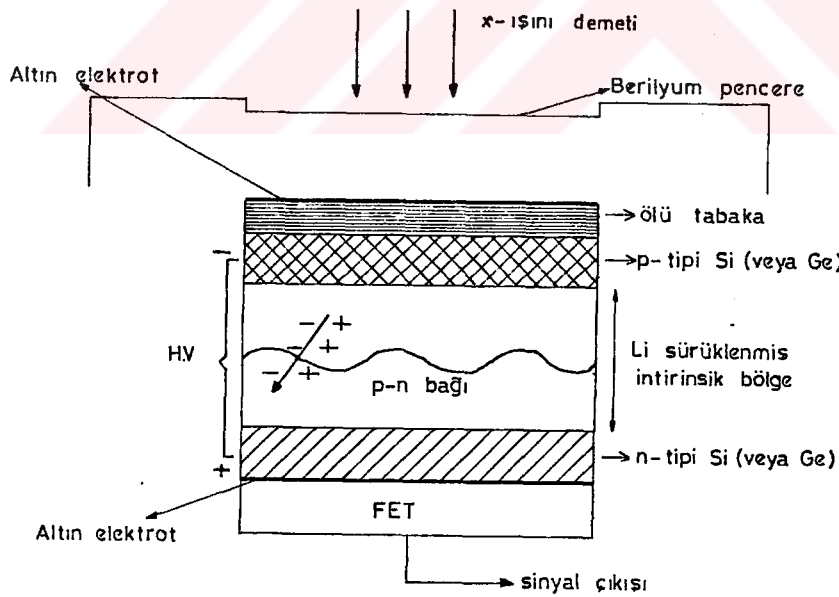
Şekil 8. Parıldama dedektörünün şeması.

Parıldama dedektörlerinin ayırma güçleri zayıf olduğu halde verimleri yüksek olduğundan ani gama sayımı ve canlıların nötron aktivasyon analizi'nde (NAA) çok kullanılırlar.

1.11.3 Yarıiletken Dedektörler

Yarıiletken dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek kristalde elektron boşluk çiftleri meydana getirir. Bunlar kristale uygulanan elektrik alanı ile dinodlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, ölçülebilen bir elektrik darbesi meydana getirir. Genel olarak bir yarı iletken dedektör şeması Şekil 9'daki gibidir.

Lityum katkılı sayaç, bir Silikon veya Germanyum kristalinden ibarettir. Yarıiletken kristal pozitif (p-tipi) ve negatif (n-tipi) bölgeler ile bunlar arasına sıkıştırılmış bir intrinsik (i-tipi) bölgeden ibarettir. Yani bu sayaçlar p-i-n tipi bir diyottur. İntrinsik bölge, dikkatli olarak ve kontrollü şartlar altında p-tipi Silikon veya Germanyum içerisine Lityum sürüklenmesiyle meydana gelir. Fakat sayaç yüzeyinin üzerindeki ince p-tipi tabaka aktif değildir. Aktif olmayan bu tabakaya ölü tabaka adı verilir.



Şekil 9. Bir yarıiletken dedektörün şema tarzında gösterimi

Sayaçın iki önemli özelliği kristalin kalınlığı ve alanıdır. Geometrik verimliliği, yani katı açılı sayaçın alanı arttıkça artar. Elektrotlar, Lityum katkılı Silikon yüzeyine

buharlaştırılmış yaklaşık 200 Å kalınlığında altın filmlerdir. Sayaç en iyi ayırma gücünü temin etmek ve gürültüyü azaltmak için -196 °C sıcaklıktaki sıvı azot içinde tutulmaktadır. Lityum oda sıcaklığında çok yüksek difüzyon hızına sahip olduğundan iyi bir ayırma gücü için Si(Li) ve Ge(Li) sayaçları daima düşük sıcaklıklarda çalıştırılmalıdırlar.

HpGe dedektörler de verim, ayırma gücü gibi özellikleri bakımından bunlara çok benzerdir. Hp dedektörler, çalışmadıkları sürece oda sıcaklığında saklanabilirler. Bunlar, x-ışınları ile gama ışınlarının sayımında kullanılırlar.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Örneklerin Toplanması

Bu çalışmada, Ordu ilindeki farklı yükseklikteki istasyonlardan toplanan karayosunu ve liken örneklerinin aktiflik ölçümü yapılmıştır. Örneklerin alınacağı yerlerin önceden belirlenmesi ile, bölgenin belli bir ölçüde radyasyon haritasının çıkarılması amaçlanmıştır. Örnekler, ağaç gövdeleri ve kayalar üzerinden toplanmış, ağaç kabuğu, taş ve toprak gibi yabancı maddelerin karıştırılmamasına özen gösterilmiştir. Toplanan örnekler, üzerleri önceden etiketlenmiş naylon torbalara konularak ağızları kapatılmıştır. Örneğin alındığı istasyonun ismi ile rakımı etiket üzerine yazılmıştır. Liken ve karayosunu numunelerinin alındığı yerler ve türleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Liken numunelerinin alındığı yerler ve türleri

ÖRN. NO.	ALINDIĞI YER	ÖRNEK TÜRÜ
1	Boyadı (Kabadüz-Ordu)	<i>Parmelia caperata</i>
2	Maraşlı (Kabadüz-Ordu)	<i>Parmelia caperata</i>
3	Kabadüz (Ordu)	<i>Parmelia caperata</i>
4	Akpınar (Ulubey)	<i>Parmelia caperata</i>
5	Aynalar (Perşembe)	<i>Parmelia perlata</i>
6	Sırakovancı (Perşembe)	<i>Parmelia caperata</i>
7	Ortatepe (Perşembe)	<i>Parmelia perlata</i>
8	Ulubey	<i>Parmelia perlata</i>
9	Gölköy	<i>Parmelia perlata</i>
10	Gülyanı (Gürgentepe)	<i>Parmelia perlata</i>
11	Gürgentepe	<i>Parmelia perlata</i>
12	Çamaş (Fatsa)	<i>Parmelia caberata</i>
13	İlica (Fatsa)	<i>Parmelia caperata</i>
14	Çubuklu (Ünye)	<i>Parmelia caperata</i>
15	Tekkiraz (Ünye)	<i>Parmelia caperata</i>
16	Çaybaşı (Ünye)	<i>Parmelia caperata</i>
17	Köklük (Çaybaşı-Ünye)	<i>Parmelia caperata</i>
18	Çatak (İkizce-Ünye)	<i>Parmelia perlata</i>
19	Karlıtepe (İkizce-Ünye)	<i>Parmelia caperata</i>
20	İkizce (Ünye)	<i>Parmelia perlata</i>

Tablo 3. Karayosunu numunelerinin alındığı yerler ve türleri

ÖR. NO.	ALINDIĞI YER	ÖRNEK TÜRÜ
1	Boyadı (Kabadüz-Ordu)	Homolothecium sp.
2	Kabadüz (Ordu)	Hypnum Cupressiforme
3	Akpınar (Ulubey)	Homolothecium nitens
4	Aynalar (Perşembe)	Platygium repens
5	Radar (Perşembe)	Jungermannia sp
6	Samsunkıran (Perşembe)	Eurhynchium pulchellum
7	Sırakovancı (Perşembe)	Jungermannia sp
8	Yeşilköy (Perşembe)	Homolothecium lutescens
9	Ulubey	Homolothecium lutescens
10	Gölköy	Homolothecium nitens
11	Bolaman (Yalıköy-Fatsa)	Homolothecium sp.
12	Çatalpınar (Fatsa)	Homolothecium sp.
13	Gülyanı (Gürgentepe)	Homolothecium sp.
14	Gürgentepe	Homolothecium nitens
15	Kurşunçal (Fatsa)	Homolothecium setceum
16	Kurşunçal (Fatsa)	Jungermannia sp.
17	Örmeli (Çamaş-Fatsa)	Homolothecium lutescens
18	Çamaş (Fatsa)	Homolothecium lutescens
19	İlıca (Fatsa)	Homolothecium sp.
20	Perşembe (Fatsa)	Hypnum Cupressiforme
21	Yeni ağçalan (Kumru)	Homolothecium sp.
22	Kuşçulu (Ünye)	Homolothecium sp.
23	Çubuklu (Ünye)	Drepanocladus fluitans
24	İncirli (İnkur-Ünye)	Homolothecium sp.
25	İnkur (Ünye)	Jungermannia sp.
26	Tekiraz (Ünye)	Homolothecium sp.
27	Çaybaşı (Ünye)	Hypnum Cupressiforme
28	Köklük (Çaybaşı-Ünye)	Homolothecium sp.
29	Karlıtepe (İkizce-Ünye)	Homolothecium sp.
30	İkizce (Ünye)	Homolothecium sp.

2.2. Örneklerin Ölçüme Hazırlanması

Toplanan örneklerin ölçüme hazırlanmasında aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- Toplanan örnekler laboratuvarında 3 hafta süre ile kurutulmuştur.
- Örneklerin tür tayini yapılmıştır.
- Örnekler diğer yabancı maddelerden ayıklanmıştır.
- Bu aşamadan sonra, örnekler K.T.Ü. Orman Fakültesine bağlı Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde özel bir odun öğütme değirmeninde öğütülmüştür.

e) Örnekler ağzı kapalı yaklaşık silindirik şekildeki plâstik kablara konularak ölçüme hazır hale getirilmiştir.

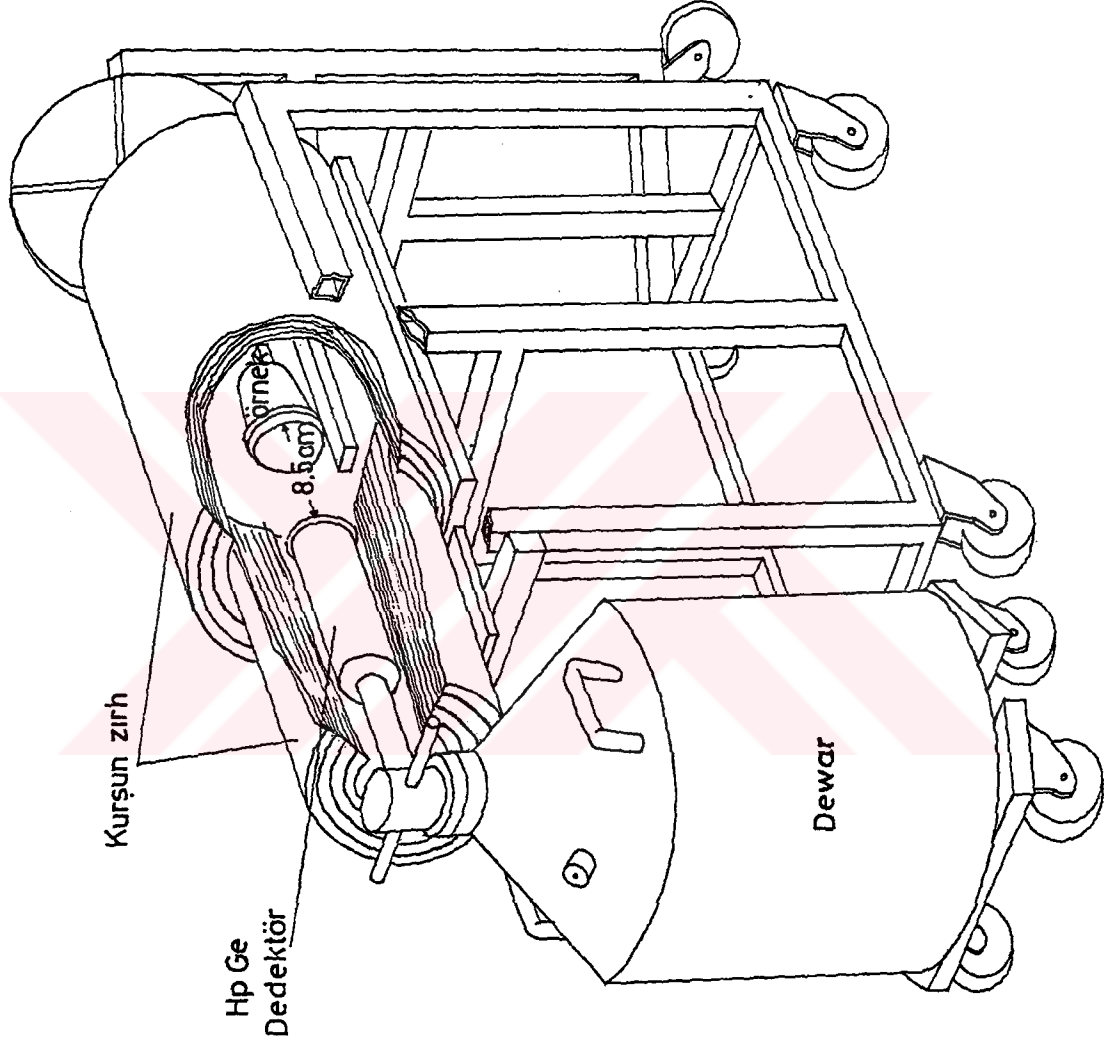
2.3 Örneklerin Aktiflik Ölçümü

Liken ve karayosunu örnekleri plâstik kablara konulup tartıldıktan sonra HpGe dedektöründe 108000 sn süreyle sayılmıştır. Dedektör 10 cm kalınlığında, kurşun duvarlı oda içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 10). Böylece yüksek enerjili kozmik ışınlar ile bunların parçalanma ürünlerinin spektrumu bozmaları önlenmiştir.

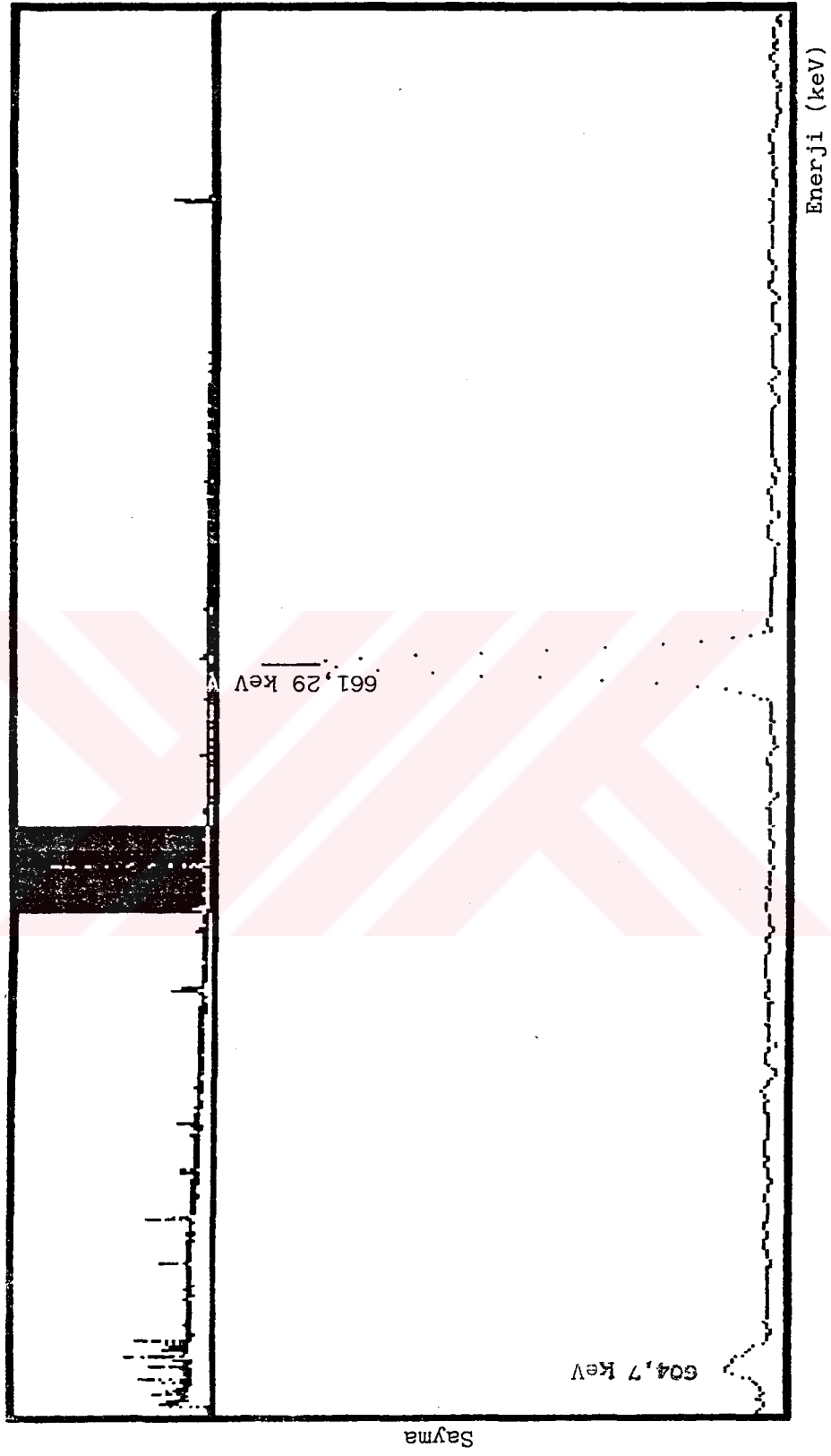
HpGe dedektörünün kristali koaksiyel yapıda olup, 55,7 mm çapında, 50,8 mm uzunluğundadır. Dedektörün Al pencereye olan uzaklığı 5mm'dir. Dedektör -3200 V besleme gerilimi altında çalışmaktadır ve % 25 verime sahiptir. Ayrıca 1,33 MeV'deki yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 1,88 keV'dir. Sistem, dedektöre bağlı Tennelec TC-950 model yüksek voltaj güç kaynağı, Tennelec TC-244 model Amplifi-katör, 100 Mhz Wilkinson Analog Digital Converter'e (ADC) bağlıdır. Piklerin analizi 8192 kanallı çok kanallı analizör (MCA) ve buna bağlı Personal Computer Analyzer (PCAI) ile yapılmıştır. Sistemin çalışması kısaca şöyledir: Dedektörden çıkan atmalar, uygun bir devre ile yükseltilerek çok kanallı analizöre verilir. ADC (Analog Digital Converter)'de her bir darbe, boyu ile orantılı sayısal bir değere çevrilir ve çok kanallı analizörün (MCA) ilgili kanalında birikerek gama spektrumu oluşur. Ölçümler sırasında her numune için elde edilen spektrumda, Cs-134'ün 604,7 keV, 795,8 keV ve Cs-137'nin 661,4 keV enerji değerlerindeki pikleri dikkate alındı. 29 nolu karayosunu örneğinin spektrumu Şekil 11'de verilmiştir.

2.4 Geometri ve Kalibrasyon

Sistemde ilk önce dedektör ile örneğin konumlarına uygun bir geometri belirlendi. Şekil.10'daki nokta kaynak geometrisi ölçme sisteminde kullanıldı. Kurşun odanın içine dedektör doğrultusunda Tablo 4'de enerjileri verilen değişik nokta kaynaklar yerleştirilerek, bu standart nokta kaynakların belirli enerji değerlerinde saldıgı gama ışınlarının analizör ekranında oluşturduğu piklerin hangi kanallar arasına düştüğü çok kanallı analizörün hafızasına kaydedilerek sistemin enerji kalibrasyonu yapılmıştır. Bu işlemde Tablo 4'de verilen test kaynakları kullanılmış,



Şekil 10. Nokta kaynak geometrisi ve zırhlama



Şekil 11. *Homolethecium sp. karayosunu* türünün gama spektrumu

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ parçalanma/sn} \quad (8)$$

ve

$$\lambda = 0.693/T_{1/2} \quad (9)$$

formüllerine göre kalibrasyonun yapıldığı tarihteki aktiviteleri hesaplanmıştır. Buradaki t,

Tablo 4. Kalibrasyonda kullanılan nokta kaynaklar

Radyonüklid	Enerji (keV)	% Bolluk	Yarıömür $T_{1/2}$ (yıl)
Cs-137	32	0.85	30.2
Cs-137	661.64	0.85	30.2
Co-60	1173.2	1.00	5.27
Co-60	1332.5	1.00	5.27

kaynağın yapıldığı tarihle ölçüm yapılan tarih arasında geçen zaman, $T_{1/2}$ yarı ömür, A_0 kaynağın yapıldığı tarihteki aktifliği, A kalibrasyonun yapıldığı tarihteki aktifliği göstermektedir.

$$\varepsilon = \frac{s}{(\% \text{Bolluk}) \cdot A \cdot t} \quad (10)$$

denkleminde, her bir kaynak için (9)'dan elde edilen A değerleri yerine konularak, bunlara karşılık gelen ε değerleri hesaplanmıştır. Örneklerin aktiflik ölçümünde göz-önüne alınacak olan (10) denkleminde elde edilmiş Cs-137, radyoizotopuna ait 32 keV ve 661.6 keV' deki ve Co-60'a ait 1173.2 keV ve 1332.51 keV'deki ε değerleri aktiflik hesabında kullanılan

$$A = \frac{s}{(\% \text{Bolluk}) \cdot \varepsilon \cdot t} \cdot (1000/\omega) \quad (11)$$

denkleminde yerine konularak numunelerin Bq/kg cinsinden aktiflikleri hesaplanmıştır. Buradaki s pikin net alanını, ε verimi, ω sayım yapılan numunenin gram cinsinden kütlesini gösterir. Kalibrasyonda kullanılan radyoizotopların seçilen enerji değerlerine karşılık, (11) denkleminde bulunan aktiflik değerleri (a,b) parametreleri şeklinde belirlenerek, bu parametrelere uygun formdaki denklemden yeni parametreler bulunmuştur. Bu değerler örneklerin aktifliklerinin hesaplanacağı sisteme bağlı bilgisayar programında kullanılmış ve herbir numunenin pik alanı ve gram cinsinden kütlesi programa girilerek numunelerin aktiflik değerleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Liken ve karayosunu örnekleri için hesaplanan aktiflik değerleri Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Tablolardan anlaşılacağı gibi bütün örnekler aktiflik göstermekte ve aktiflik değerleri belirli ölçüde rakım ve türe göre değişmektedir. Liken örneklerindeki Cs-134 düzeyleri 0-45 Bq/kg, Cs-137 düzeyleri 132-1508 Bq/kg arasında, karayosunu örneklerindeki Cs-134 düzeyleri 8-151 Bq/kg, Cs-137 düzeyleri ise 201-4335 Bq/kg arasında değişim göstermektedir.

Liken örneklerinde *parmelia perlata* türünde Cs-137 birikimi diğer türlere göre daha yüksek çıkmıştır. Karayosunu örneklerinde *jungermania sp.*, *homolothecium sp.* ve *platygrium repens* türlerinde Cs-137 birikimi sırasıyla 4335, 2067 ve 1460 Bq/kg olarak bulunmuştur. Diğer türlerdeki Cs-137 aktiflikleri ise bu değerlerden daha azdır. Diğer taraftan aynı yüksekliğe sahip aynı tür örneklerin aktiflik değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğu (Tablo 6'da 12 ve 30 nolu örneklerde) belirlenmiştir.

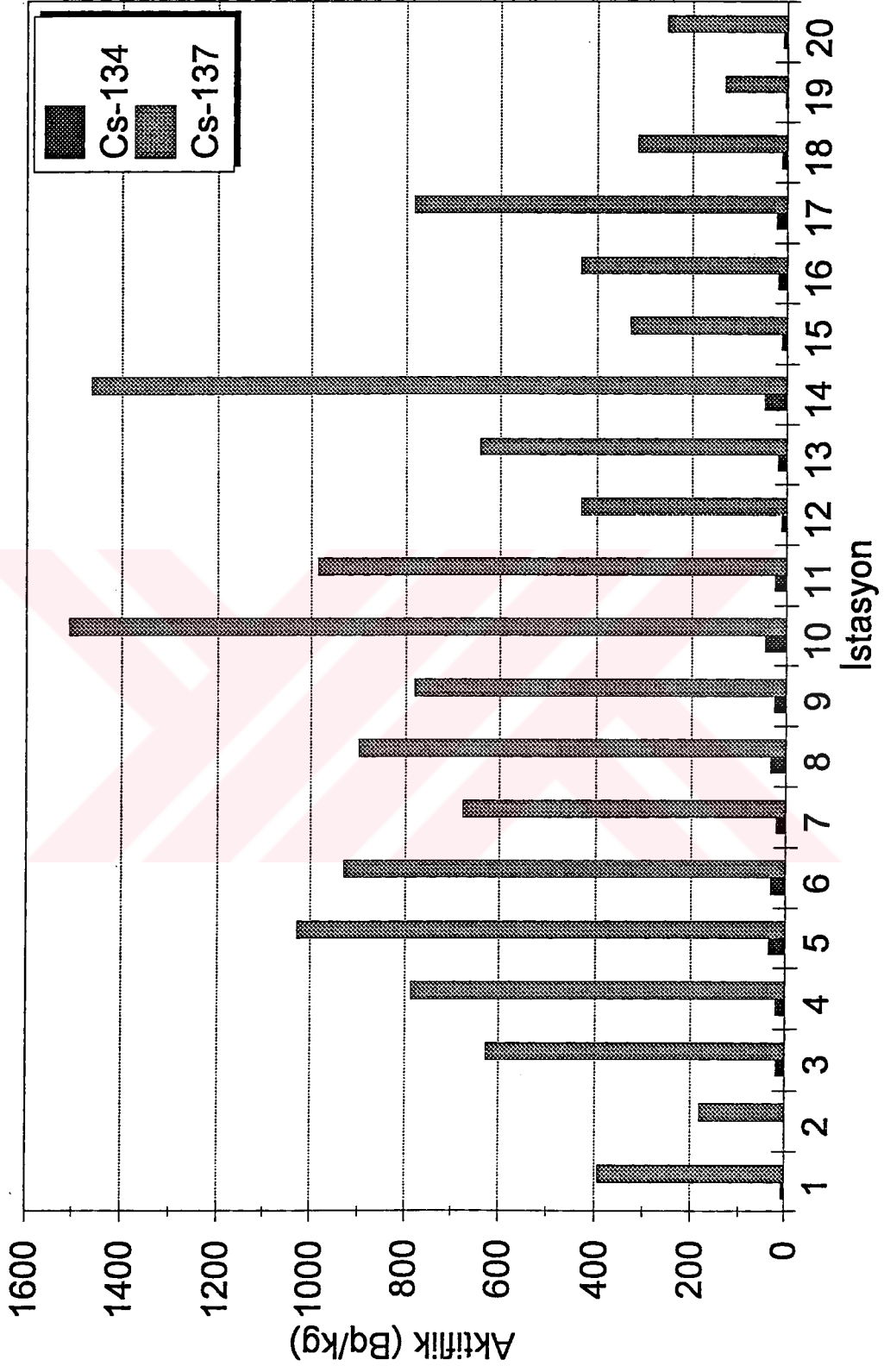
Bu çalışmada Perşembe, Fatsa, Gürgentepe ve Ünye'deki örneklerde diğer yörelere göre nispeten fazla aktiflik tespit edilmiştir. Örneklerin alındığı istasyonlara göre doğudan batıya doğru dikkate değer kirliliğe maruz kalmış yerleşim merkezlerinin aktifliklerinin sırasıyla Aynalar-Perşembe (1063 Bq/kg), Gülyanı-Gürgentepe (1553 Bq/kg), Kurşunçal-Fatsa (4487 Bq/kg), Çubuklu-Ünye (1509 Bq/kg) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 12 ve Şekil 13). Ölçümler kaza tarihinden yaklaşık 8 yıl sonra yapıldığı için yarı ömürleri kısa olan radyoaktif çekirdeklere rastlanmamıştır.

Tablo 5. Liken numunelerinin alındığı istasyonlardaki aktiflik değerleri

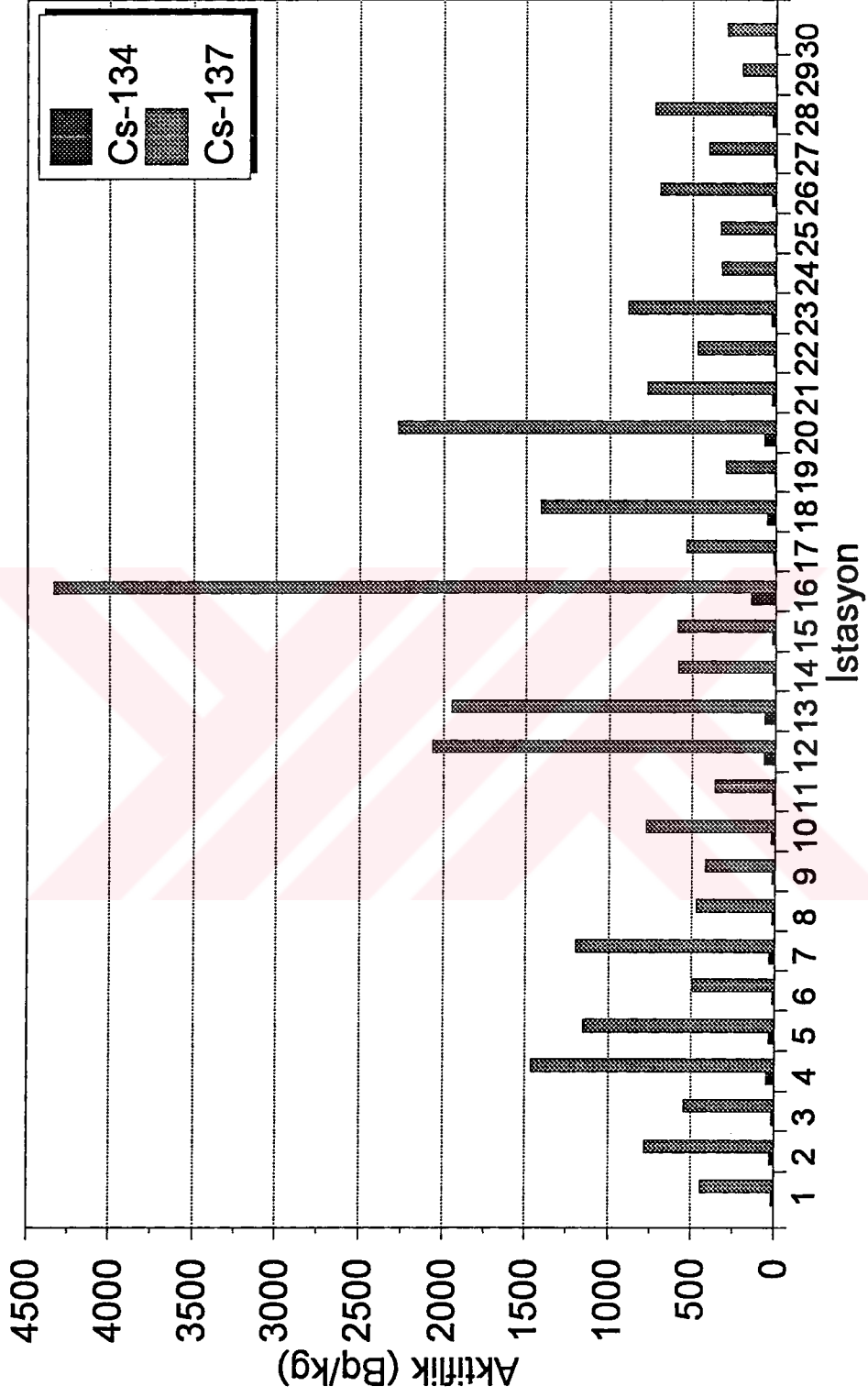
ÖR. NO.	ALINDIĞI YER	YÜKSEK- LİK (M)	AKTİFLİK DEĞERLERİ (Bq/kg)		
			Cs-134	Cs-137	Cs-134/ Cs-137
1	Boyadı (Ordu)	210	7.44	392.414	0.033
2	Maraşlı (Ordu)	550	-	180.636	0.030
3	Kabadüz (Ordu)	620	19.919	626.221	0.046
4	Akpınar (Ulubey)	360	20.974	787.134	0.035
5	Aynalar (Perşembe)	460	35.279	1028.572	0.034
6	Sırakovancı (Perş.)	480	31.984	930.442	0.027
7	Ortatepe (Perşembe)	480	21.357	677.880	0.032
8	Ulubey	590	32.664	899.149	0.034
9	Gölköy	780	24.456	779.484	0.036
10	Gülyanı (Gürgentepe)	1160	45.696	1508.189	0.023
11	Gürgentepe	1220	24.491	984.881	0.039
12	Çamaş (Fatsa)	500	11.612	431.335	0.036
13	Ilıca (Fatsa)	280	19.371	641.505	0.026
14	Çubuklu (Ünye)	600	48.470	1461.458	0.031
15	Tekkiraz (Ünye)	530	11.566	330.848	0.024
16	Çaybaşı (Ünye)	480	20.015	433.287	0.030
17	Köklük (Ünye)	760	23.439	781.692	0.031
18	Çatak (Ünye)	90	12.382	315.192	-
19	Karlitepe (Ünye)	120	3.170	132.771	0.018
20	İkizce (Ünye)	130	9.265	253.652	0.029

Tablo 6. Karayosunu numunelerinin alındığı istasyonlardaki aktiflik değerleri

ÖR. NO.	ALINDIĞI YER	YÜKSEK-LİK (M)	AKTİFLİK DEĞERLERİ (Bq/kg)		
			Cs-134	Cs-137	Cs-134/ Cs-137
1	Boyadı (Ordu)	230	19.264	442.913	0.043
2	Kabadüz (Ordu)	620	27.980	779.953	0.036
3	Akpınar (Ulubey)	370	16.165	542.328	0.029
4	Aynalar (Perşembe)	460	48.838	1460.569	0.033
5	Radar (Perşembe)	500	36.420	1150.375	0.032
6	Samsunkıran (Perş.)	500	13.198	493.520	0.027
7	Sırakovancı (Perş.)	480	35.565	1194.964	0.030
8	Yeşilköy (Perşembe)	370	16.984	470.884	0.036
9	Ulubey	590	16.930	419.178	0.040
10	Gölköy	780	26.493	774.251	0.034
11	Bolaman (Fatsa)	380	16.295	365.616	0.044
12	Çatalpınar (Fatsa)	130	67.563	2067.65	0.033
13	Gülyanı (Gürgentepe)	1100	65.378	1950.214	0.033
14	Gürgentepe	1220	18.531	583.486	0.032
15	Kurşunçal (Fatsa)	680	20.244	586.146	0.034
16	Kurşunçal (Fatsa)	1020	151.577	4335.857	0.035
17	Örmeli (Fatsa)	480	12.569	535.227	0.023
18	Çamaş (Fatsa)	600	50.617	1411.472	0.036
19	Ilıca (Fatsa)	280	8.065	302.185	0.027
20	Perşembe (Fatsa)	800	71.438	2276.12	0.031
21	Yeniagçalan (Kumru)	630	23.140	772.026	0.029
22	Kuşçulu (Ünye)	400	13.880	467.661	0.030
23	Çubuklu (Ünye)	600	29.107	886.248	0.032
24	İncirli (Ünye)	420	11.952	324.730	0.037
25	İnkur (Ünye)	450	9.278	332.111	0.028
26	Tekkiraz (Ünye)	530	25.333	696.169	0.036
27	Çaybaşı (Ünye)	480	14.464	401.531	0.036
28	Köklük (Ünye)	730	25.308	726.908	0.035
29	Karlıtepe (Ünye)	90	8.359	201.195	0.041
30	İkizce (Ünye)	125	10.522	295.850	0.035



Şekil 12. Doğudan batıya doğru istasyonlardaki liken numunelerine ait aktiflikler



Şekil 13. Doğudan batıya doğru istasyonlardaki karayosunu numunelerine ait aktiflikler

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, aktiflik değerlerinin Perşembe, Fatsa, Gürgentepe ve Ünye'de diğer yörelere göre fazla çıkması, aynı yöreye ait 1986 yılı fındık içi ve 1987 yılı toprak örneklerinden elde edilen bulgularla (7,23) benzerlik gösterdiği belirlenmiş ve Çernobil nükleer santrali kazasının olduğu tarihlerde bu bölgede saptanan aktifliğin (Toprak ve Fındık örneklerine ait şekiller Ek. Şekil 1 ve Ek.Şekil 2'de verilmiştir) günümüzde de etkisini devam ettirdiği sonucuna varılmıştır.

Aktiflik değerlerinin numunelerin alındığı yerlere göre (Şekil 12 ve Şekil 13), orta bölgede daha fazla olması kazanın olduğu tarihlerde bu yörelerin daha fazla yağış almasıyla izah edilebilir. Bazı liken ve karayosunu türlerinde yüksek seviyede radyoaktiflik tespit edilmesi, bu türlerin Cs-134 ve Cs-137 radyoizotoplarını daha fazla biriktirme özelliğine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç Doğu Karadeniz Bölgesi likenlerinin gama aktifliğinin ölçülmesi çalışmasıyla (6) uyum içindedir.

5. ÖNERİLER

Doğu Karadeniz'in Ordu ilinden alınan liken ve karayosunu örneklerinden elde edilen bulgulara göre, aktivite yoğunluğu fazla olan Perşembe-Ünye sahil şeridi, daha sık istasyonlar seçilerek bundan sonraki çalışmalarda liken ve karayosunu ile birlikte, diğer çevre örnekleri ile de araştırılması ve tüm bu örneklerden elde edilen değerlerle veri tabanı oluşturularak, doz hesaplarının da yapılması gerektiği kanaatindeyim. Ayrıca aktiflik değeri yüksek olan yerlerde yeraltı sularının Cs-137 açısından kontrolünün yapılması isabetli olur.

Çernobil kazasının neden olduğu radyoaktif kirlenmenin tesbiti, hem teorik açıdan (kesin zarar tesbiti, radyonüklid taşınması v.b.) hem de pratik açıdan (radyasyon riski, ekolojik zararlar) problem teşkil etmektedir. Bu gibi problemlerin çözümü, ülkenin yüzbinlerce kilometre karesini kaplayan radyoaktif kirlenme hakkında güvenilir veriler toplamakla mümkündür. Bu verilerin toplanması, detaylı laboratuvar çalışması ve yapılacak deneylerin dikkatlice plânlanmasıyla mümkündür.

Yüzey radyonüklid aktivite yoğunluğu, koordinatlara bağlı düzensiz bir fonksiyondur. Bundan dolayı, deneysel araştırmaların stratejisi, verilerin toplanma verimliliğini artıracak yönde tatbik edilmelidir. Örneklerin alınacağı noktalar düzenli olarak dağılmış olmalıdır. Bulgular yorumlanırken toprağın yapısı, meteorolojik ve jeolojik faktörler gözönünde tutulmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Paakkola, O., Contamination of foods in Finland due to the Chernobyl Acidend, Paper Presented at the European Meeting of Toxicology Forum, Geneva, Switzerland, September 1986, 22-26.
2. Yalçıntaş, M.G., Çernobil Kazasının Türkiye'deki Etkileri, Kazanın Oluşu ve İzleyen Olaylar, Fizik Mühendisliği (1986) 31-32.
3. Enviromental Contamination by Radioactive Materials Proceedings of a Seminar, Vienna, IAEA, 1969, 24-28.
4. Altun, V., Borak, F. ve Curi, K., Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri, Mayıs 1989, İstanbul, 201-211.
5. Tuncer, S. ve Tuğrul, B., Marmara Bölgesi İçme Sularında Radyoaktivite Seviyesi Tayini, III. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, Eylül 1991, Ankara, Bildiriler Kitabı, 267-272.
6. Uzun, O., Doğu Karadeniz Bölgesinin Likenlerinin Gama Aktifliğinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 1993.
7. Topçuoğlu, S., Bulut, A.M. ve Kıbrıslı, N., Fındık Ürünlerinde Radyoaktivite ile İlgili Çalışmalar, I. Ulusal Fizik Kongresi, 1988, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 255-259.
8. Ünlü, M.Y., Kut, D. ve Küçükcezzar, R., Çernobil Kazasından Sonra Doğu Karadeniz Bölgesinde Yüzey Serpinti Birikimi ve Toprak Örneklerindeki Radyoaktivite Değerleri, I. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, 244-253.
9. Güner, H., Aysel, V. ve Sukatar, A., Tohumuz Bitkiler Sistematigi, Ege Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kitaplar Serisi, Cilt:II No:138 , 1992.
10. Galun, M., CRS. Handbook of Lichenology, CRS Press Inc., Florida 1988
11. UNSCEAR: Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Annexes, UNO, New York, 1986.
12. Umweltradioaktivitat und Strahlenexposition in Südbayern durch den Tschernobyl-unfall , GSF- Bericht 16, 86, Munchen, Haziran 1986.
13. Kammerer, L., Hiersche, L. ve Wirth, E., Uptake of Radiocaesium by Different Species of Mushrooms, J. Environ. Radioactivity, 23 (1994) 135-150.
14. Tarasow, V.I. ve Vikharev, V.D., Statistical Analysis of Radioactive Contamination Levels in Settlements of the Chernobyl Middle Zone, Health Phys., 66, 4 (1994) 444-449.

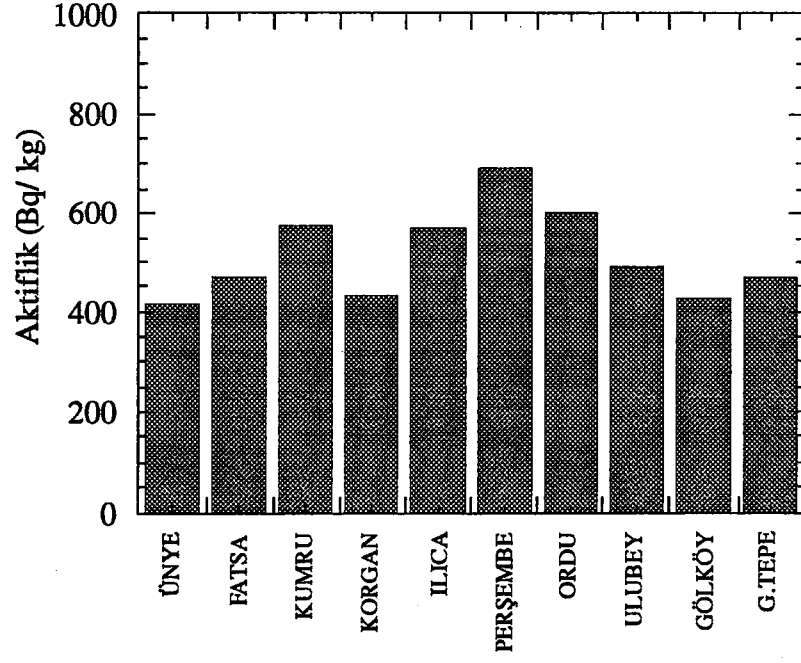
15. Tracy, B.L., Kramer, G.H. ve Gamarnik, K., Radiocesium in Children from Belarus, Health Physics, 66, 4 (1994) 439-443.
16. Strandberg, M., Mushroom Spores and ¹³⁷Cs in Faeces of the Roe Deer, J. Environ. Radioactivity, 23 (1994) 189-203.
17. Hove, K., Garmo, T.H., Hansen, H.S. ve Staaland, H., Fungi : A Major Source of Radiocesium Contamination of Grazing Ruminants in Norway, Health Physics, 59 (1990) 189-192.
18. Karlen, G., Johanson, K.J. ve Bergström, R., Seasonal Variation in the Activity Concentration of ¹³⁷Cs in Swedish Roe Deer and in Their Daily Intake, J. Environ. Radioactivity, 14 (1991) 91-103.
19. Rafferty, B., Dowding, P. ve McGee, E.J., Fungal Spores in Feaces as Evidence of Fungus Ingestion by Sheep, Sci. Tot. Environ (in press), (1993).
20. Spezzano, P., Hilton, J., Lishman, J.P. ve Carrick, T.R., The Variability of Chernobly Cs Retention in the Water Column of Lakes in the English Lake District, Two Years and Four Years after Deposition, J. Environ. Radioactivity, 19 (1993) 213-232.
21. Nuclear Plant Safety, IAEA Bulletin, Autumn (1986).
22. Portakal, S., Varinlioğlu, A. ve Köse, A., Doğu Karadeniz Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi, I. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, 234-241.
23. Türkiye’de Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri, TAEK Raporu, Nisan 1988.
24. Erdener, B., Kıbrıslı, N., Bulut, A. ve Kut, D., Çaylarda Radyoaktiflik ile İlgili Çalışmalar, ÇNAEM, İstanbul, 1988.
25. Koyama, T., Demirezen, Ü. ve Wisaksono, S., The Uptake of Cs-134 by Plants from the Different Characteristics of Soils, J. Environ. Radioactivity, 1989.
26. Sipahi, B.L., Çernobil Nükleer Reaktör Kazasının Çay Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1988.
27. Ayçık, A., Çaydaki Radyoaktivitenin Dem ve Posadaki Dağılımının İncelenmesi, I. Ulusal Fizik Kongresi, 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, 213-219.
28. Rudge, S.A., Johnson, M.S., Leah, R.T. ve Jones, S.R., Biological Transport of Radiocesium in a Semi-Natural Grassland Ecosystem. 1. Soils, Vegetation and Invertebrates, J. Environ. Radioactivity, 19 (1993) 173-198.
29. Köksal, E.M. ve Göksel, S.A., İstanbul Üzerine Günlük Radyoaktiflik Ölçümleri, I. Ulusal Fizik Kongresi, 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, 251-256.

30. Ünlü, M.Y., Bayülgen, N. ve Güngör, E., Çernobil Kazası Sonrası Edirne ve Kayseri Yöresinde Yaşayanların Bütün Vücut Yükü Aktiviteleri, I. Ulusal Fizik Kongresi, 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, 257-263.
31. Fry, F.A., The Chernobyl Reactor Accident: The Impact on the United Kingdom, The British Journal of Radiology, 60 (1987) 1147-1158.
32. Eyman, D.I. ve Kevern, N.R., Cs-137 Hypersutrophic Lake, Health Physics, 28 (1976) 549-555.
33. Bukovac, M. ve Wittewer, J., Above Ground Plant Parts as a Patway for Entry of Fission, Health Physics, 1965.
34. Schultz, V. ve Whicker, F.W., Radiation Ecology , Rev. Environ. Control, 4 (1974) 423-464.
35. Chamberlain, A.C., Interception and Retention of Radioactive Aerosols by Vegetation, Atoms Environ., 4 (1970) 57-59.
36. Karanda, J. ve William, L., Accumulation of Radionuclides by Plants as a Monitor System, Environ. Health Perspect, 27 (1978) 165-179.
37. Cumming, G.L., Bankery, L., Garret, A.R.Jr. ve Regnier, I.E., ¹³⁷Cs Uptake by Oat Plants as Related to the Soil Fixing Capacity, Health Physics, 17 (1969) 145-148.
38. Menzel, R.G., Factors Influencing the Biological Availability of Radionuclides for Plants, Fed. Proc. , 22 (1963) 1398-1401.
39. Schuller, R. Handl, J. ve Trumper, R.E. , Dependence of the ¹³⁷Cs Soil-to Plant Transfer Factor on Soil Parameters, Health Physics, 55, 3 (1988) 575-577.
40. Till, J.E. ve Meyer, H.R., Radiological Aessment a Text Book on Environmental Dose Analysis, Safety Research Division Oak Ridge National Lab. , Tennessee, 1983.
41. Papestefonou, C., Monolopoulou, M. ve Savidis, T., Lichens and Mosses: Biological Monitors of Radioactive Fallout From the Chernobyl Reactor Accident J.Environ. Radyoactivity, 9 (1989) 199-207.
42. Holopainen, T., Types and Distribution of Ultrastructural Symptoms in Epiphytic Lichens in Several Urban and Finland, Ann. Bot. , 21 (1984) 213-229.
43. Bargagli, R., Determination of Metal Deposition Patterns by Epiphytic Lichens, Toxicological and Environmental Chemistry, 18 (1989) 249-256.
44. Özdemir, A., Hava Kirliliği ve Likenler, Ekoloji Çevre Dergisi, 3 (1992) , 18-21.
45. Mattson, L.J.S., Deposition Retention and Internal, Health Physics, 29 (1975) 27-41.

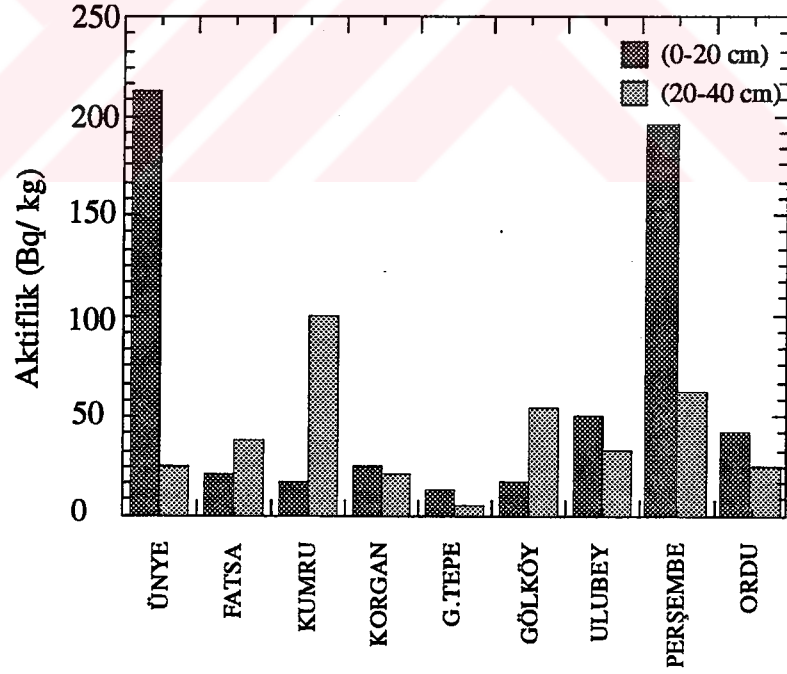
46. Cataldo, D.A., Garland, T.R., Wilding, R.E., Foliar Retention and Leachability , J. Environ. Qual., 10 (1981) 31-37.
47. Aarkrog, A., Hansen, H., J. Environmental Radioactivity in Greenland in 1978, Natl. Lab. Rep., 1979.
48. Reactor Handbook Materials, USEAL, Mc-Graw Hill Book Company, New-York, 1955.



7. EKLER



Ek Şekil 1. Ordu ilindeki 1986 yılına ait fındık ürününün aktiflik değerleri.



Ek Şekil 2. Ordu ili 1987 yılına ait toprak aktiviteleri

8. ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 1988'de K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde başladığı lisans öğrenimini, 1992 bahar yarıyılında tamamladı. 1992 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 1992-1993 Öğretim yılında yüksek lisans İngilizce hazırlık okumuştur. Haziran 1993'de, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosunda araştırma görevlisi olarak Fizik Bölümü'nde göreve başladı. Araştırmacı bekâr olup, İngilizce bilmektedir.

