

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE
ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ
ÇIKARILMASI**

**Süleyman Fatih ÖZMEN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**KASIM 2017
ANTALYA**

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE
ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ
ÇIKARILMASI**

**Süleyman Fatih ÖZMEN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**KASIM 2017
ANTALYA**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE
ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ
ÇIKARILMASI

Süleyman Fatih ÖZMEN

FİZİK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından 2012.03.0121.009 nolu proje ile desteklenmiştir.

KASIM 2017

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE
ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ
ÇIKARILMASI

Süleyman Fatih ÖZMEN

FİZİK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez / / 201..... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN (Danışman)

Prof. Dr. Günseli YAPRAK

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN

Prof. Dr. Orhan BAYRAK

Doç. Dr. Yasemin KÜÇÜK

ÖZET

MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ ÇIKARILMASI

Süleyman Fatih ÖZMEN

Doktora Tezi, FİZİK Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN

Kasım 2017; 76 Sayfa

Mersin ili Büyükeceli beldesinde inşaa edilecek Akkuyu Nükleer Güç Santralının çevreye olası etkilerinin belirlenmesi amacı doğrultusunda (nükleer güç santralleri için işletim öncesi gözetim programı kapsamında) gerçekleştirilen bu sistematik ve kapsamlı radyo-ekolojik çalışmada; Toprak/kayaç ve kıyı sedimentlerinde HPGe gama spektrometre sistemi ile doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklit aktivite konsantrasyonları ölçülmüş, radyolojik risk parametreleri hesaplanmış ve bölgenin radyolojik karakteristiklerini yansıtan doğal/yapay radyonüklit dağılım haritaları oluşturulmuştur. Toprak/kayaçlarda ICP-OES metodu ile jeokimyasal analizler (majör ve iz element) gerçekleştirilerek bölgenin jeolojik background'unu yansıtan majör/iz element dağılım haritaları hazırlanmıştır. Çalışma alanında mevcut tatlı su kaynaklarının toplam alfa, toplam beta aktiviteleri hesaplanmış ve Mersin kıyı şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinde radyometrik ölçümler yapılmıştır.

Genel olarak, gözlenen doğal/yapay radyonüklit aktivite konsantrasyonları ile radyasyon dozları bölgenin normal radyasyon alanları sınıfında kaldığını göstermektedir. Benzer şekilde elde edilen majör ve iz element konsantrasyonları çalışma alanında herhangi bir ağır metal kirliliği olmadığını göstermiştir.

Sonuç olarak bölgenin radyolojik ve ekolojik background seviyesinin belirlendiği bu çalışma Akkuyu Nükleer Güç Santralının çevreye olası etkilerinin belirlenebilmesi (işletim öncesi çevresel koşulların ortaya konduğu ilk çalışma olması) açısından önemlidir.

ANAHTAR KELİMELEER: Akkuyu nükleer güç santrali, Doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite, HPGe, ICP-OES majör ve iz elementler, Toplam alfa - beta

JÜRİ: Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN (Danışman)

Prof. Dr. Günseli YAPRAK

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN

Prof. Dr. Orhan BAYRAK

Doç. Dr. Yasemin KÜÇÜK

ABSTRACT

NATURAL AND ARTIFICIAL GAMA RADIOACTIVITY MEASUREMENTS AND CONSTRUCTION OF RADIOACTIVITY MAPS OF MERSIN

Suleyman Fatih OZMEN

PhD. Thesis in PHYSICS

Supervisor: Prof. Dr. Ismail BOZTOSUN

November 2017, 76 pages

This systematic and comprehensive radio-ecological study was conducted in order to determine the possible effects of the Akkuyu Nuclear Power Plant to be constructed at the Büyükcili district of Mersin province (within the scope of pre-operation surveillance program for nuclear power plants); Natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclide activity concentrations were measured by HPGe gamma spectrometer system in soil, rock and shore sediments, radiological risk parameters were calculated and natural / artificial radionuclide distribution maps reflecting the radiological characteristics of the region were established. Geochemical analyses (major and trace elements) were carried out by ICP-OES method in the soil / rocks and major / trace element distribution maps reflecting the geological background of the region were prepared. Gross alpha and gross beta activities of freshwater resources were calculated in the study area and radiometric measurements were made in sea water samples taken along Mersin coastal strip.

In general, the observed concentrations of natural / artificial radionuclide activity and radiation doses indicate that the region remains in the normal radiation field. The major and trace element concentrations obtained in a similar manner showed no heavy metal pollution in the study area.

As a result, this study, in which the radiological and ecological background level of the region is determined (the first study of pre-operational environmental conditions), is important in terms of determining the possible environmental effects of Akkuyu Nuclear Power Plant.

KEYWORDS: Akkuyu nuclear power plant, Gross alpha-beta, HPGe, ICP-OES, Natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radioactivity.

COMMITTEE: Prof. Dr. Ismail BOZTOSUN (Supervisor)

Prof. Dr. Gunseli YAPRAK

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN

Prof. Dr. Orhan BAYRAK

Assoc. Dr. Yasemin KUCUK

ÖNSÖZ

Mersin ili ve çevresinin radyolojik/ekolojik durumunun belirlenmesi ve radyoekolojik risklerin saptanmasını içeren bu tez çalışmasını öneren ve çalışmalarım süresince her türlü olanağı sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN'a,

Çevresel radyoaktivite ile ilgili çalışmaların öncülerinden olan, sahip olduğu bilgi, beceri, deneyim ve görüşleriyle daima yardımcı olan, bu uzun süreçte çalışmanın kurgulanması, yürütülmesinde ve bulguların yorumlanmasında ki engin tecrübelerinden istifade ettiğim kıymetli hocam Prof. Dr. Günseli YAPRAK'a,

Çalışma süresince yaptığı düzeltmeler ve sunduğu yararlı önerilerden dolayı Doç. Dr. Timur ŞAHİN'e,

Davetimi kabul edip tez savunma gelerek tezimin sonlandırılması aşamasında değerli görüş ve önerilerinden dolayı Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN'a, Prof. Dr. Orhan BAYRAK'a ve Doç. Dr. Yasemin Küçük'e,

Arazi ve laboratuvar çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Doç. Dr. Fuat ERKÜL'e, Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAVUZ'a ve Alp Cesur'a,

Ölçüm ve analizler için laboratuvarlarını açan Akdeniz Üniversitesi Fizik Bölümüne; Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Bölümüne ve Doç. Dr. Sibel ERKÜL'e; Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümüne, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen Doç. Dr. Erhan CENGİZ'e; Bitlis Eren Üniversitesi Fizik Bölümüne ve Şule KARATEPE'ye,

2012.03.0121.009 nolu projeyi kabul ederek destek veren Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne,

Ayrıca burada isimlerini tek tek sayamadığım ancak bu uzun süresince süreç içerisinde desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarım ve dostlarıma,

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan oğlum, eşim ve aileme de ,

teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
SEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Nükleer ve Enerji	3
2.1.1. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi	3
2.1.2. Dünyada ve Türkiye’de enerji kaynaklarının dağılımı	4
2.2. Türkiye’nin Enerji Kaynakları	6
2.3. Türkiye’de Nükleer Enerjinin Tarihçesi	6
2.4. Nükleer Reaktörler ve Çeşitleri.....	9
2.4.1. Nükleer reaktörler	9
2.4.2. Nükleer reaktörlerin sınıflandırılması	10
2.4.3. Nükleer yakıtlar.....	11
2.4.4. Nükleer santral teknolojileri.....	11
2.4.4.1. Hafif su reaktörleri (LWR).....	12
2.4.4.2. Rus tipi reaktör tasarımları: VVER ve RBMK reaktörleri.....	13
2.4.4.3. Ağır su reaktörleri (HWR)	14
2.5. Akkuyu Nükleer Güç Reaktörü.....	15
2.6. Nükleer Güç Reaktörleri ve Radyoaktivite	16
2.6.1. Fisyon ürünleri	17
2.6.2. Trityum ve ¹⁴ C.....	19
2.6.3. Radyonüklitlerin uzaklaştırılması	20
2.7. Nükleer Reaktörlerin Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri.....	20
2.7.1. Havaya etkisi	20
2.7.2. Suyu etkisi	21

2.7.3. Yeryüzüne etkisi–katı atıklar.....	21
2.7.4. Biyosfere etkisi	22
2.8. Çevresel Gözetim ve Ölçüm Programı	22
2.8.1. Program geliştirme	24
2.9. Literatür Özeti	26
3. MATERYAL VE METOT	31
3.1. Çalışma Alanı Genel ve Jeolojik Özellikleri.....	31
3.1.1. Çalışma alanı genel özellikleri	31
3.1.2. Çalışma alanı jeolojik özellikleri.....	31
3.2. Çevresel Radyolojik Çalışma	33
3.2.1. Örnekleme ve örnek hazırlama.....	34
3.3. Radyonüklit Analizleri	35
3.3.1. HPGe gama spektrometre sistemi	35
3.3.2. Sistemin enerji ve verim kalibrasyonu.....	36
3.3.3. Minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA).....	38
3.3.4. Spektrum analizi.....	38
3.4. Radyolojik Risk Parametreleri	39
3.5. Yüzey Gama Doz Hızı Ölçümleri	40
3.6. Sıvı Numunelerinin Toplam Alfa-Beta Ölçümleri.....	40
3.7. Jeokimyasal Analizler	41
3.8. Toprak Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Özellikleri.....	41
3.9. Haritalama ve İstatistiksel Analizler	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Toprak Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri.....	45
4.1.1. Toprak örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları.....	45
4.1.2. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indeksleri	46
4.2. Kayaç Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri	47
4.2.1. Kayaç örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları	47
4.2.2. Kayaç örneklerinin radyolojik zarar indeksleri.....	48
4.3. Kıyı Sedimenti Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri	49
4.3.1. Kıyı sedimenti örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları	49

4.3.2. Kıyı sedimenti örneklerinin radyolojik zarar indeksleri	49
4.4. Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Beta Aktiviteleri	50
4.5. Jeokimyasal Analiz Sonuçları	51
4.5.1. Toprak ve kayaç örneklerinin majör ve iz element analizleri	51
4.6. Toprak Örnekleri Majör ve İz Element Dağılım Haritaları	53
5. SONUÇ	56
5.1. Toprak Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri.....	56
5.2. Kayaç Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri	59
5.3. Kıyı Sedimenti Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri	60
5.4. Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Beta Aktiviteleri	62
5.5. Jeokimyasal Analiz Sonuçları	63
5.6. Edilen Verilere İlişkin Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	65
5.7. Öneriler	69
6. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “**MERSİN İLİ DOĞAL VE YAPAY GAMA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI VE RADYOAKTİVİTE HARİTASININ ÇIKARILMASI**” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/11/2017

Süleyman Fatih ÖZMEN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Am	: Amerikyum
Ac	: Aktinyum
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
As	: Arsenik
Au	: Altın
B	: Bor
Ba	: Baryum
Bi	: Bizmut
Be	: Berilyum
Bq	: Bekerel
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
Cd	: Kadmiyum
Ce	: Seryum
Ci	: Curie
Cm	: Küriyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır

D ₂ O	: Ağır su molekülü
Fe	: Demir
Ga	: Galyum
Ge	: Germanyum
Gy	: Grey
H-3	: Tritiyum
Hf	: Hafniyum
Hg	: Civa
HI	: Hidroiodyik asit
HIO	: Hipoiodik asit
HIO ₃	: İyodik asit
I	: İyot
In	: İndiyum
I _γ	: Gama ışınının bolluğu
K	: Potasyum
Kr	: Kripton
kWh	: Kilovat-saat
La	: Lantan
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MW	: Megavat
N	: Azot
Na	: Sodyum
Nb	: Niobyum

Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Pd	: Palladyum
ppb	: Milyarda bir
ppm	: Milyonda bir
Pt	: Platin
Pu	: Plütonyum
Ra	: Radyum
Rb	: Rubidyum
Re	: Renyum
Rn	: Radon
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Sc	: Skandiyum
Se	: Selenyum
Sn	: Kalay
Sr	: Strosyum
Sv	: Sievert
Te	: Tellür
Ti	: Titanyum
Th	: Toryum
Tl	: Talyum
TWh	: Teravat-saat
Xe	: Ksenon
U	: Uranyum

UO₂ : Uranyum oksit

V : Vanadyum

Y : İtrityum

Zr : Zirkon

Zn : Çinko

ε : Verim

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

ABWR: Gelişmiş Kaynar Su Reaktörü (Advanced Boiling Water Reactor)

ACR : Gelişmiş Candu Reaktörü (Advanced Candu Reaktor),

ADC : Analog Dijital Dönüştürücü (Analog Digital Converter)

AED : Yıllık Etkin Doz (Annual Effective Dose Equivalent)

ALARA: Makul olarak elde edilebilecek kadar düşük (As Low As Reasonably Achievable)

A.Ü. : Akdeniz Üniversitesi

BWR : Kaynar Su Reaktörü (Boiling Water Reactor)

CANDU: Candu Reaktörü (CANada Deuterium Uranium)

CLEA: Toprak Kirliliği Değerlendirmesi (Contaminated Land Exposure Assessment)

ÇNAEM: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

D : Soğurulan Gama Doz Hızı

ED50 : Avrupa Datumu 1950 (European Datum 1950)

EPA : ABD Çevre Koruma Ajansı (The United States Environmental Protection Agency)

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

ESBWR: Ekonomik Basitleştirilmiş Kaynar Su Reaktörü (Economic Simplified Boiling Water Reactor)

FBR : Hızlı Üretken Reaktörü (Fast Breeder Reactor)

FWHM: Yarı Değer Tam Genişlik (Full Width Half Maximum)

GCR : Gaz Soğutmalı Reaktörü (Gas Cooled Reator)

GPS : Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System;)

H_{ex} : Dış Zarar İndeksi (External Hazard Index)

HLNRA: Yüksek Radyasyonlu Alanlar (The High Level Natural Radiation Area)

HPGe : Gama Spektrometre Sistemi

HWR : Ağır su yavaşlatıcılı reaktörü (Heavy Water Reactor)

ICRP : Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)

ICRU : Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçüm Komisyonu (International Commission on Radiation Units & Measurements)

ICP-OES: İndüktif Eşleştirilmiş – Optik Emisyon Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer)

INES : Uluslararası Nükleer Olaylar Ölçeği (International Nuclear Events Scale)

K-S Test: Kolmogorov–Smirnov test

LWGR: Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktörü (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor)

LWR : Hafif Su Reaktörü (Light Water Reactor)

MCA : Çok Kanallı Analizörden (Multi Channel Analyzer)

MDA : Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (Minimum Detectable Activity)

MTA : Maden Tetkik Arama

NISA : Ulusal Endüstriyel Ölçek Kuruluşu (National Industrial Scale Association)

NGS : Nükleer Güç Santrali

OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)

PHWR: Basınçlı Ağır Su Reaktörü (Pressurized Heavy Water Reactor)

PWR : Basınçlı Su Reaktörü (Pressurized Water Reactor)

PRIS : Güç Reaktörleri Bilgi Sistemi (Power Reactor Information System)

Ra_{eq} : Radium Eşdeğer Aktivitesi (Radium Equivalent Activity)

RBMK: Yüksek Güçlü Kanal Tipi Reaktör (Rusça: Реактор Большой Мощности Канальный, Reaktor Bolşoy Moşçnosti Kanalni)

SBWR: Basitleştirilmiş Kaynar Su Reaktörü (Simplified Boiling Water Reactor)

TAEK : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

TEAŞ : Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş

TEDAŞ: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

TENORM: Teknolojik Olarak Zenginleşmiş Doğal Radyasyon

TEK : Türkiye Elektrik Kurumu

TEPCO: Tokyo Elektrik Dağıtım Şirketi (Tokyo Electric Power Co.)

TEF : Türkiye Enerji Forumu

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

XRF : X-Işını Floresans Spektrometresi

UAEA : Uluslararası Atom Enerji Ajansı

UTM : Evrensel Çapraz Merkator (Universal Transverse Mercator)

VVER : Su – Su Enerji Reaktörü (Water-Water Energetic Reactor)

WEO : Dünya Enerji Görünümü (World Energy Outlook)

WHO : Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

WNA : Dünya Nükleer Birliği (World Nuclear Association)

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Dünyada nükleer güç santrallerinin dağılım haritası	4
Şekil 2.2. Türkiye enerji ithalat bağımlılığı	6
Şekil 2.3. Nükleer enerjinin elektrik enerjisine çevrimi	9
Şekil 2.4. a-)Fransa St-Laurent nükleer santrali (PWR), b-)Kanada Point Lepreau nükleer santrali (CANDU-PHWR), c-) İspanya Confrontes nükleer santrali (BWR), d-) Slovenya Krsko nükleer santrali (PWR)	10
Şekil 2.5. VVER reaktörünün şematik gösterimi	14
Şekil 2.6. Akkuyu nükleer güç reaktörü güç ünitesi ve güvenlik akış şeması	15
Şekil 3.1. Mersin ilinde bulunan tektonik birlikler ve örtü kayaları	32
Şekil 3.2. Mersin ili jeoloji haritası	33
Şekil 3.3. Çalışma alanı	34
Şekil 3.4. Gama spektrometre sistemi	36
Şekil 3.5. Enerji kalibrasyon eğrisi	37
Şekil 3.6. Verim kalibrasyon eğrisi	38
Şekil 3.7. 1 nolu toprak örneğinin gama spektrumu	39
Şekil 3.8. Protean marka Gross Alfa-Beta cihazı	41
Şekil 3.9. Bünye Üçgeni	42
Şekil 4.1. Toprak örneklerinde gözlenen iz element konsantrasyonları	53
Şekil 4.2. Mersin ili maden haritası	55
Şekil 5.1. Toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs dağılım haritaları	58
Şekil 5.2. Toprak örneklerine ilişkin radyolojik risk dağılım haritaları	59
Şekil 5.3. Kıyı sedimenti örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs dağılım haritaları	61
Şekil 5.4. Kıyı sedimenti örneklerine ilişkin radyolojik risk dağılım haritaları	61
Şekil 5.5. Tuzlu su örneklerinin aktivite konsantrasyon dağılımları	62
Şekil 5.6. Tatlı su örneklerinin aktivite konsantrasyon dağılımları	62

Şekil 5.7. Toprak örnekleri ağır metal konsantrasyon dağılımları.....	64
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye ve Dünyada enerji kaynaklarının dağılımı	4
Çizelge 2.2. Ülkelere göre nükleer reaktör sayıları	5
Çizelge 2.3. Önemli fisyon ürünleri.....	17
Çizelge 2.4. Önemli aktivasyon ürünleri	18
Çizelge 2.5. Önemli transuranik ürünler.....	19
Çizelge 2.6. Normal ve yüksek doğal radyasyonlu alanlar için yıllık etkin doz eşdeğerleri	28
Çizelge 2.7. Karasal gama radyasyonuna dışsal maruz kalma	29
Çizelge 3.1. Kalibrasyon kaynağının karakteristik özellikleri.....	36
Çizelge 3.2. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri	38
Çizelge 3.3. Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri.....	42
Çizelge 4.1. Toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	45
Çizelge 4.2. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	46
Çizelge 4.3. Kayaç örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	47
Çizelge 4.4. Kayaç örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	48
Çizelge 4.5. Kıyı sedimenti örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	49
Çizelge 4.6. Kıyı sedimenti örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin istatistik.....	50
Çizelge 4.7. Deniz suyu örnekleri toplam alfa ve beta aktivitelerine ilişkin tanımlayıcı istatistik	51
Çizelge 4.8. Toprak örneklerinin majör ve iz element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik.....	52

Çizelge 4.9. Kayaç örneklerinin majör ve iz element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik.....	52
Çizelge 5.1. Mersin ili toprak örneklerinin radyolojik karakteristikleri.....	57
Çizelge 5.2. Toprak örneklerinin radyoaktivite ve doz değerlerine ilişkin literatür.....	57
Çizelge 5.3. Kayaç örneklerinin radyolojik karakteristikleri.....	60
Çizelge 5.4. Kıyı sedimenti örneklerinin radyolojik karakteristikleri.....	60
Çizelge 5.5. Sularda tavsiye edilen*/izin verilen** maksimum aktivite değerleri	63
Çizelge 5.6. Üst kıta kabuğunun majör element konsantrasyonları	63
Çizelge 5.7. Toprak/kayaç örneklerinin ağır metal konsantrasyonları.....	64
Çizelge 5.8. Toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyon limitleri (mg/kg).....	65
Çizelge 5.9. Toprak örnekleri radyonüklitleri arasındaki korelasyonlar.....	66
Çizelge 5.10. Toprak örnekleri elementleri arasındaki korelasyonlar.....	66
Çizelge 5.11. Kayaç örnekleri radyonüklitleri arasındaki korelasyonlar.....	67
Çizelge 5.12. Kayaç örnekleri elementleri arasındaki korelasyonlar.....	67
Çizelge 5.13. Kayaç/toprak örnekleri elementler arasındaki korelasyonlar.....	68

1. GİRİŞ

İnsan sağlığı ve çevre kalitesi için geçmiş, bugün ve gelecekteki herhangi bir kontaminasyonun değerlendirilmesi, çevredeki doğal ve yapay radyonüklitlerin gözlenmesini gerektirmektedir. Bu bilgi, büyük nükleer kazalar gibi radyonüklitlerin çevreye beklenmedik salınımları durumunda, doz-risk tahmini ve çözüm olabilecek kalıcı önlemlerin alınması için (risk yönetimi) oldukça önemlidir.

Yüzey topraklarındaki radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin, ekosistemlerin karşılıklı bağımlılığı ve geçirgenliği nedeni ile yeraltı ve yüzey sularını etkilemesi, çevresel çalışmalarda topraklardaki radyoelement ve ağır metal seviyesinin bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Bu anlamda, yüzey topraklarındaki radyoelement ve eser element içerikleri, çevresel kirliliğin gözlenmesinde jeokimyasal izleyici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Doğal topraklarda mevcut ağır metaller, toprağın orijinini oluşturan ana kayalardan kaynaklanmaktadır. Genelde litojenik kökenli ağır metal konsantrasyonları, herhangi bir mineralizasyon olmaması durumunda toksik seviyenin altında kalmaktadır. Ancak, insan kaynaklı aktiviteler doğal çevrede çeşitli kirlleticilerin artmasına neden olmakta ve çevre kalitesini bozmaktadır.

Nükleer endüstrinin gelişmesi, radyoaktif kirlenmeyi arttıran tekniklerin hızla yayılarak artması doğal çevremizdeki radyasyonun belirlenmesini; yaratılan bu kirlilikten insanları ve doğayı koruma standartlarının oluşturulması için gerekli kılmıştır. Çevresel radyoaktiviteyi oluşturan radyasyon kaynakları 3 grupta sınıflandırılmaktadır (Kathren 1984, Yaprak 1999, Mishra 2001);

- 1) Kozmik orijinli doğal radyasyon,
- 2) Karasal orijinli doğal radyasyon,
- 3) İnsan kaynaklı (man- made) radyasyon,

Yirminci yüzyıl kaynaklı olan son grubun bileşenlerini;

- a) Teknolojik olarak zenginleşmiş doğal radyasyon (TENORM),
- b) Nükleer güç santralleri ve nükleer yakıt çevirimi
- c) Nükleer silah testleri ve nükleer kazalar,

oluşturmaktadır. Çevresel radyoaktiviteyi arttıran diğer insan kaynaklı aktiviteler, radyoizotopların ve radyasyonun endüstriyel, tıbbi ve tarımsal uygulama ve araştırmalarda kullanılmasıdır.

21. Yüzyılda dünyadaki hızlı sanayileşme, teknolojik yenilikler, küreselleşme ve iletişim alanındaki muazzam gelişmeler dünyada kullanılan enerjinin miktarını ve kullanım hızını artırarak, enerji üretimini en önemli problemlerden birisi haline getirmiştir. Günümüzde enerji ihtiyacının önemli bir bölümünün karşılandığı fosil yakıtların kullanım hızının her geçen gün artması ve fosil yakıt rezervlerinde paralel bir artış olmaması (mevcut kullanım düzeylerinin sabit kalması durumunda bile) petrol ve doğalgaz rezervlerinin yakın gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Bu bağlamda nükleer enerji, günümüzün ve geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir.

Nükleer enerjinin üretildiği güç reaktörlerinin boyutlarına, yapılarına ve uygulama alanlarına göre farklı çeşitleri vardır. Normal işletme şartları altında bile, her reaktör büyüklüğü, gücü, özel tasarımı ve işletme özelliklerine bağlı olarak değişen oranlarda çevrede radyoaktivite oluşturabilmektedir. Bunlar arasında en yüksek yapay (insan kaynaklı) radyoaktivite üreten, elektrik üretimi için kullanılan güç reaktörleridir.

Nükleer tesislerin etrafındaki gözetimlerin toplumun ve çevrenin korunması gibi kesin pragmatik amaçları vardır. Bunların en önemlisi tesisin işletilmesinden dolayı toplumun maruz kalacağı muhtemel doz limitlerinin belirlenmesi ya da tahminidir (Denham 1982). Temelde gözetim programı tesisin ilgili kanunlar, düzenlemeler, lisans ve izin koşullarına uygun işletilmesini sağlayarak toplum ve çevrenin korunmasını sağlar. Bu sadece geniş çaplı çevresel radyoaktivite ölçümleri ile değil, serpinti ve doğal radyonüklitlerden farklı tesis atıkları, tesis yakınlarındaki bireylerin maruz kaldıkları doz, tesis çevresindeki uzun dönemli radyolojik verilerin analizi ile de belirlenebilir.

Bu doğrultuda nükleer tesislerin çevreye etkilerini belirleyerek toplum ve çevrenin korunması için tesisin statüsüne göre işletim öncesi, işletim esnası ve işletim sonrası olarak üç farklı çevresel gözetim programı uygulanmaktadır. İşletim öncesi program nükleer malzemelerin alana getirilmesinden en az bir yıl tercihen 2 ya da 3 yıl öncesinden başlamalıdır. Bu program olası maruziyet yollarını ve kritik toplumsal grupları belirlemeli, örnekleme alanlarını ve noktalarını belirlemeli, analitik prosedürleri doğrulamalı ve referans seviyeleri tespit etmelidir. Yapılan literatür taramasında dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yerel ve bölgesel ölçekte topraklarda ve temel kaya türlerinde doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ölçüldüğü, geniş ölçekli radon gözlem programlarının gerçekleştirildiği ve Türkiye'deki birçok bölge ve il için çevresel radyoaktivite düzeyini veren radyolojik veri tabanı oluşturulduğu gözlenirken ülkemizin ilk nükleer güç santralinin kurulacağı Mersin ili Büyükeceli Beldesi için referans seviyelerinin tespit edildiği sistematik ve kapsamlı bir çalışmanın olmadığı gözlenmiştir.

Bu doğrultuda Haziran 2012 ve Nisan 2015 tarihleri arasında genel yapıyı yansıtacak ve arazi şartlarının elverdiği sıklıkta (3 – 5 km aralıklarla) numune alınarak Mersin ili kıyı şeridinde (Anamur – Tarsus arasında) gerçekleştirilen tez çalışmasında, Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali çevresinde işletim öncesi radyolojik ve ekolojik gözlem programı gerçekleştirilmiştir. Bu program çerçevesinde;

- Mersin ili kıyı şeridinde toprak, kayaç, tatlı su, deniz suyu ve kıyı sedimentlerinde radyoaktivite ve ağır metal düzeyi saptanmış,
- Olası kirleticilerin kimliği ve kaynağı belirlenmiş,
- Sonuçlar çevresel risk açısından değerlendirilmiş ve geleceğe yönelik olarak nükleer tesis işletiminin kontrol ve izlenmesine yardımcı olacak veri tabanı oluşturulmuştur.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Enerji ve Nükleer

Enerji ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada kullandıkları en önemli unsurlardan biridir. Dünyada kullanılan enerji miktarının ve kullanım hızının son yüzyıldaki hızlı sanayileşme, teknolojik yenilikler ve iletişim alanındaki gelişmelerden dolayı hızla artması enerji üretimini üzerinde durulması gereken en önemli problemlerden birisi haline getirmiştir.

Diğer yandan artan enerji kullanımına paralel olarak ortaya çıkan çevresel sorunların insan yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması, doğal enerji kaynaklarının tükenmesi gibi riskler bütün dünya ülkelerini güvenli ve çevre standartlarını dikkate alan alternatif enerji kaynakları üretmek için araştırmaya yöneltmektedir.

Günümüzde enerji ihtiyacının önemli bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların kullanım hızı sürekli artarken fosil yakıt rezervlerinde paralel bir artış meydana gelmemektedir. Bu da bize özellikle petrol ve biraz daha fazla ömür biçilen doğalgaz rezervlerinin mevcut tüketim hızının korunması durumunda bile yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Bu bağlamda nükleer enerji, günümüzün ve geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir.

2.1.1. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi

Dünya nükleer enerji ile ilk kez 6 ve 9 Ağustos 1945'te Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerine atılan atom bombalarıyla tanışsa da nükleer enerji denemeleri Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) New Meksiko eyaletinde 16 Temmuz 1945 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Temuçin ve Aliagaoglu 2003).

Nükleer enerjinin barışçıl amaçlı kullanımı 1930'lu yıllara dayanır ancak ilk deneysel reaktör 1942'de Enrico Fermi tarafından Chicago Üniversitesinde kurulmuştur. 1955 yılı sonlarında ABD ve eski Sovyetler Birliği nükleer enerji kaynaklarından ilk enerji üreten ülkeler olup dünya genelinde 1975 yılında 19 ülkede 157 santral inşaa edilmiştir. Böylece nükleer santrallerin elektrik üretim gizil güçleri 700 MW'a ulaşırken nükleer silah sanayinde de paralel gelişmeler yaşanmıştır (Temuçin ve Aliagaoglu 2003).

1970'li yıllarda yaşanan petrol kaynaklı enerji krizi, ülkeleri büyük ölçüde nükleer enerjiye sevk etmiştir. Nükleer enerji yüksek maliyetinden dolayı uzun bir süre geniş çapta hayata geçirilemese de dünyada petrol fiyatlarının 3 dolardan 10 dolara yükselmesinden sonra rakipleriyle rekabet edebilecek hale gelmiştir. Günümüze kadar geçen zaman zarfında (belirli dönemlerde azalmalar olsa da) dünya elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı devamlı olarak artmaktadır (Temuçin ve Aliagaoglu 2003).

2.1.2. Dünyada ve Türkiye’de enerji kaynaklarının dağılımı

Elektrik üretiminde dünya genelinde ilk sırada kömür ikinci sırada doğalgaz yer alırken ülkemizde doğalgaz ilk, kömür ikinci sırada yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi oranı dünya genelinde %3,7 iken, ülkemizde bu oran % 3,1 seviyesindedir (Çizelge 2.1). Dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık % 13’ü ise nükleer enerjiden karşılamaktadır (NGS).

Çizelge 2.1. Türkiye ve dünyada enerji kaynaklarının dağılımı (NGS)

Enerji Kaynakları	Dünya	Türkiye
Petrol	% 4,6	%1.50
Doğalgaz	% 22,2	%43.70
Kömür	% 40,6	% 27,5
Hidrolik	%16	24.20
Nükleer	%13	%0%
Diğer (Yenilenebilir vb.)	% 3,7	% 3,1
TOPLAM (TWh)	21.431	240

Yapılan araştırmalar sonucunda 2010 ile 2035 yılları arasında dünya elektrik ihtiyacının yıllık ortalama %2,2, toplamda ise %70 artacağı tahmin edilmektedir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üyesi olmayan ülkelerde toplam elektrik talebinde artışın %80'lere (Çin’de %38 ve Hindistan’da %13’e) ulaşması beklenirken 2035 yılında nükleer kaynaklı elektrik üretiminde kurulu gücün %58 oranında artacağı öngörülmektedir (Anonymous 1).

Dünyada 31 ülkede 450 adet nükleer reaktör işletmede olup 15 ülkede 60 nükleer reaktör inşaat halindedir (Şekil 2.1, Çizelge 2.2). 2030 yılına kadar 317 nükleer reaktör ülkelerin nükleer programlarında olup 164 nükleer reaktör yapılması planlanmaktadır (NGS).



Şekil 2.1. Dünyada nükleer güç santrallerinin dağılım haritası (NGS)

Çizelge 2.2. Ülkelere göre nükleer reaktör sayıları (Anonymous 2)

Ülkeler	Net Enerji İthalatı 13(%)	Elektrik üretiminde nükleer (%)2011	İşletmedeki nükleer reaktör sayısı	İnşa halindeki nükleer reaktör sayısı
ABD	22	19	99	4
Fransa	53	78	58	1
Japonya	86	18	43	2
Rusya	-72	18	36	7
Güney Kore	86	35	25	3
Kanada	-40	15	19	-
Hindistan	32	4	22	5
Çin	11	2	37	21
Birleşik Krallık	37	16	15	-
Ukrayna	39	48	15	2
İsveç	35	38	10	-
Almanya	64	18	8	-
İspanya	75	20	7	-
Belçika	79	54	7	-
Çek Cumh.	35	33	6	-
Tayvan	90	19	7	3
İsviçre	53	38	5	-
Finlandiya	63	32	4	1
Macaristan	62	43	4	-
Slovakya	68	54	4	2
Pakistan	32	4	4	3
Arjantin	-3	5	3	1
Brezilya	15	3	2	1
Bulgaristan	45	33	2	-
Meksika	-13	4	2	-
Romanya	-11	5	2	-
Ermenistan	76	33	1	-
İran	-60	0.04	1	-
Hollanda	32	4	1	-
Slovenya	51	37	1	-
Birleşik Arap Emirlikleri	-116	-	-	2
Belarus	-	-	-	2
TOPLAM	-	13%	450	60

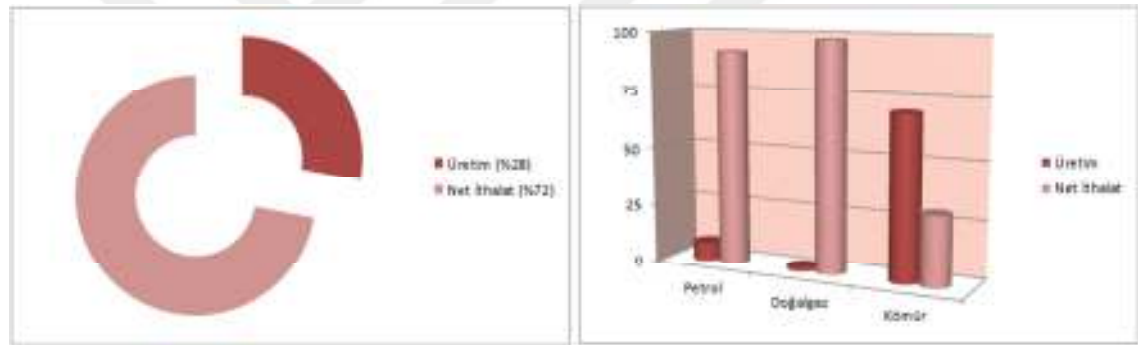
Nükleer reaktör sayısı bakımından ABD 99 reaktör ile birinci sıradayken, elektrik üretimindeki nükleer payı bakımından ise Fransa birinci (% 78) sırada yer

almaktadır(Çizelge 2.2). Dünya genelinde 15 ülkede nükleer santrallerin elektrik üretimindeki payı %20'nin üzerinde olup nükleer santrale sahip 31 ülkeden 7'si net enerji ihracatçısıdır (Anonymous 2).

2.2. Türkiye'nin Enerji Kaynakları

Cumhuriyetimizin 100. yılında dünyanın ilk 10 ekonomisi arasına girmeyi hedefleyen ülkemizin yerli ve yenilenebilir kaynakların üretimini de dikkate alındığında (Şekil 2.2) % 72 oranında enerji bağımlısı olduğu görülmektedir (NGS).

Ülkemizde petrol (% 92), doğalgaz (% 98) ve kömürdeki (% 30) yüksek ithalat oranına karşılık, yenilenebilir enerji kaynaklarımızda kurulu güç potansiyelimizin (yaklaşık 136.600 MW) sadece 22.075 MW'lık kısmı kullanılmaktadır. Kullanabilir yenilenebilir potansiyelimiz yaklaşık 114.525 MW olmasına rağmen kapasite faktörü nedeniyle fiilen kullanabileceğimiz, potansiyelimizin çok az bir kısmıdır (TEİAŞ 2013). Diğer yandan, ülkemizde rüzgar, güneş ve hidro gibi yenilenebilir enerji santrallerinin kurulabileceği alanlar, mevcut arazi kullanım durumlarından dolayı (konut, tarım, orman, kültürel ve doğal sit alanları, yollar vb.) sınırlıdır (NGS).



Şekil 2.2. Türkiye enerji ithalat bağımlılığı (NGS)

Enerji arz kaynaklarımız dışa bağımlı ve kısıtlı iken, elektrik tüketim talebimiz her yıl ortalama % 7-8 oranında artış göstermektedir. 2012 yılında elektrik tüketimi 240 milyar kWh iken bunun 2023'te 500 milyar kWh'a çıkması beklenmektedir. Yenilenebilir enerjide 2023 yılına ait hedeflerimize ulaştığımızda (230 milyar kWh) 2023 yılında tahmini elektrik tüketim talebimizin (500 milyar kWh) ancak yarısını yenilenebilir enerji kaynakları karşılayacaktır. 2023 yılına kadar Akkuyu ve Sinop Nükleer Santrallerinin işletmeye alınması durumunda, o zamanki kurulu gücümüzün %10'unu nükleer santraller oluşturacaktır (NGS).

2.3. Türkiye'de Nükleer Enerjinin Tarihçesi¹

Ülkemizde nükleer enerji faaliyetleri, 1956 yılında Başbakanlığa bağlı olarak Atom Enerjisi Komisyonu'nun kuruluşuyla başlamış ve 1957 yılında, Türkiye,

¹ Bu kısım Palabıyık, H. ve Yavaş, H.'nin *Başlamayan Senfoni: Türkiye'nin Nükleer Santral Serüveninin Üzerine*, adlı makalesinden derlenmiştir.

“Uluslararası Atom Enerji Ajansı” (IAEA) üyesi olmuştur. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından 1962 yılında 1 MW gücünde TR-1 adında havuz tipi deney reaktörü işletmeye alınmıştır. 1967–1970 yılları arasında elektrik üretimi amacıyla kurulması planlanan nükleer santral etütleri yapılmıştır (Palabıyık ve Yavaş 2006).

Türkiye Elektrik Kurumu bünyesinde 1972 yılında’na Nükleer Enerji Dairesi kurulmuştur. Fizibilite ve saha araştırma çalışmaları sonucunda (fayda-maliyet açısından) kurulması amaçlanan nükleer santral için Mersin-Akkuyu, Sinop-İnceburun ve Kırklareli-İğneada mevkileri uygun bulunmuştur. Mersin-Akkuyu bölgesi santral yer seçimine ilişkin bilimsel-teknik-güvenlik unsurları açısından ilk nükleer santralin kuruluş yeri olarak belirlenmiştir. Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu 1976 yılında TEK tarafından hazırlanan yer etütleri raporlarına dayanarak Akkuyu sahası için ‘Yer Lisansı’ vermiştir 1977 yılında santral alanı tesviyesi, yol-su bağlantıları, liman projeleri ihaleleri tamamlandıktan sonra yapılan teklifler değerlendirilerek İsveçli firmalardan oluşan konsorsiyumun kaynar sulu reaktör tipi santral teklifi kabul edilmiştir. Ancak yoğun geçen sözleşme görüşmeleri sonuçlandırılmayarak 1979’da görüşmeler kesilmiştir (Palabıyık ve Yavaş 2006).

Türkiye, 1980 tarihinde ‘Nükleer Silahların Önlenmesi Anlaşması’nı 1981 tarihinde de IAEA safeguard anlaşmasını imzalayarak nükleer silah üretmeyeceğini, nükleer silah yayılmasına aracı olmayacağını ve nükleer santrallerin (barışçıl amaçlarla işletilmesini) denetiminde Ajans uzmanlarının kontrol yetkisini tanıdığı taahhüt etmiştir. Aynı yıl, Çekmece Nükleer araştırma ve Eğitim Merkezini bünyesinde TR-2 araştırma reaktörü kurulmuştur. 1982 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu kurularak lisans veren otorite olarak yetkilendirilmiştir. 1984’te ülkemiz OECD Nükleer Enerji ajansı üyesi olmuştur. Bu dönemde Sinop-İnceburun mevkii TEK tarafından, ikinci santral sahası olarak belirlenerek ön araştırma çalışmaları tamamlanmıştır ancak sahada deprem konusunda çıkan sorunlardan dolayı çalışmalar durdurulmuştur (Palabıyık ve Yavaş 2006).

“1983 yılında Nükleer Elektrik Santralleri Kurumu kurulması öngörülmüş ancak başırlanamamıştır. 1983 yılı sonunda alınan teklifler değerlendirilerek Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Kanada firmasına Akkuyu’da 634 MW; Alman firmasına yine Akkuyu’da 990 MW ve Amerikan firmasına Sinop’ta 1185 MW gücünde bir veya iki nükleer santral kurmak için niyet mektubu gönderilmiştir. Amerikan firması ile kuruluş yerinin depremselliği yönünden kabul edilebilirliği konusunda yaşanan anlaşmazlık sonucu firma ihaleden çekilmiştir. 1984 yılı içinde diğer firmalarla sözleşme üzerinde büyük ölçüde anlaşma sağlansa da ortaklığın niteliği konusundaki anlaşmazlık sonucu 1985 yılı başlarında Alman firmasıyla görüşmeler kesilmiştir. Görüşmelere davet edilen Kanada firmasıyla kurulacak ortaklıkta %40 oranında TEK’in; %60 oranında kanada firması ve diğer ortaklarının payı kabul edilerek bir ön protokol imzalsansa da Kanada Hükümeti’nin ilgili payın finansmanını garanti etmemesi nedeniyle 1986 yılında Kanada firmasıyla da görüşmeler kesilmiştir” (Palabıyık ve Yavaş 2006).

1986 yılında yaşanan Çernobil felaketinden sonra nükleer çalışmalara son verilip 1988 yılında TEK Nükleer Santraller Dairesi Başkanlığı kapatılmıştır.

1992 yılında TEK, 2002 yılında işletmeye alınmak üzere 1000 MW gücünde bir ya da iki üniteli nükleer santralin yap işlet devret modeliyle inşası konusunda nükleer santral imalatçısı firmalardan teknik ve mali bilgi istemiştir. 1993 yılı Ocak ayında Akkuyu Nükleer Santral Projesi Resmi Gazetede yayınlanarak tekrar yatırım programına alınmıştır (Palabıyık ve Yavaş 2006).

1994 yılında TEK, TEAŞ ve TEDAŞ olarak yapılandırılıp nükleer santral çalışmaları TEAŞ bünyesine dâhil edilmiştir. Çalışmalar sonucunda Aralık 1996'da Akkuyu Nükleer santrali için çıkılan ihaleye 15 Ekim 1997 tarihinde Fransız – Alman, Amerikan - Japon ve Kanada - Japon firmaların oluşturduğu üç konsorsiyum fiyat teklifi sunmuştur. Teklifler 1998 yılında İspanyol bir danışmanlık firmasıyla değerlendirilmeye başlanmış ancak ihale sonucunun açıklanması 6 defa ertelendikten sonra Temmuz 2000 tarihinde Bakanlar Kurulu kararı ile ihale iptal edilerek ikinci defa kurulan TEAŞ Nükleer Santraller Dairesi başkanlığı da kapatılmıştır (Palabıyık ve Yavaş 2006).

Kasım 2004 tarihinde Bakanlık ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2012 yılında işletmeye alınmak üzere toplam 5000 MW gücünde üç nükleer reaktörün inşasına 2007'de başlanacağını açıklamıştır. 2005 yılında Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi ile Ankara Nükleer Tarım ve Araştırma Merkezi birleştirilerek Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi kurulmuştur. 2006 yılı başlarında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yaptığı detaylı teknik incelemeler sonucunda Türkiye'nin ilk nükleer santralinin (belirlenen 8 yer arasından) Sinop'a yapılacağını açıklamıştır (Palabıyık ve Yavaş 2006).

Ocak 2010 tarihinde Türkiye'de Nükleer Güç Santral (NGS) tesisine dair işbirliği ortak bildirisi ile iki ülke arasında görüşmeler başlamış ve Mayıs 2010 tarihinde Rusya Federasyonu Hükümeti ile Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti arasında 'Akkuyu Sahası'nda bir nükleer güç santralin tesisine ve işletimine dair işbirliği anlaşması imzalanmıştır (Anonim 1).

Aralık 2010 tarihinde Türkiye Cumhuriyetinde 'AKKUYU' NGS ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş. tescil edilip Mayıs 2011 tarihinde Akkuyu NGS sahasında tam kapsamlı mühendislik araştırmalarına başlanmıştır. Aynı yıl arazi Akkuyu NGS inşaatı ve işletmesi için Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş'ye tahsis edilmiştir. TAEK tarafından Ağustos 2012 tarihinde Novovoronej (NGS-2), Akkuyu NGS için referans santral olarak kabul edilip Nisan 2015 tarihinde Akkuyu NGS İnşaat Projesi Deniz Hidroteknik Yapılarının Temel Atma Töreni yapılmıştır. Haziran 2015 tarihinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından, Akkuyu Nükleer AŞ'ye 36 aylığına ön lisans verilmiştir (Anonim 1).

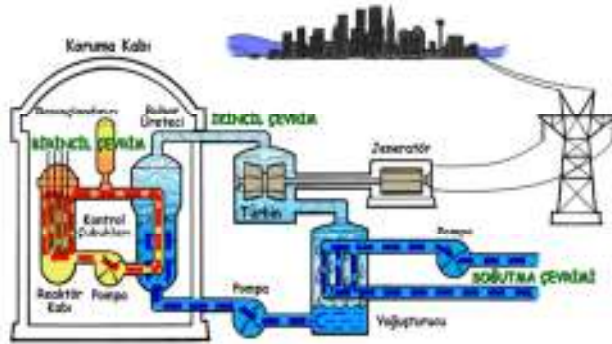
2.4. Nükleer Reaktörler ve Çeşitleri²

2.4.1. Nükleer reaktörler

Nükleer reaktörler, nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Uygulama alanları ne olursa olsun tüm nükleer reaktörlerin ortak özellikleri ve sistemleri aşağıdaki gibi listelenebilir (Tombakoğlu vd 2011);

1. $^{233,235}\text{U}$, ^{239}Pu gibi bölünebilir çekirdeklerden oluşan yakıt
2. Filyon sürecinde üretilen ısıyı uzaklaştıracak su gibi bir soğutucu
3. Filyon sürecinde üretilen nötronları yavaşlatan ve daha verimli hale getiren bir moderatör
4. Genellikle reaksiyon hızının kontrol edilmesinde kullanılan nötron soğurucu bir malzeme olan kontrol sistemi
5. Kontrol sistemi ya da soğutma sisteminin çalışmadığı durumlarda reaktörü kapatmak ya da kontrol edecek güvenlik sistemi
6. Soğutucu ve moderatördeki safsızlıkları uzaklaştıracak demineralizör ya da diğer yöntemleri içeren yardımcı sistemler ile elektrik üreten gaz veya buhar türbini sistemleri.

“Filyon sonucu açığa çıkan nükleer enerji, nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi bir soğutucu vasıtasıyla bazı sistemlerde doğrudan bazı sistemlerde ise ısı enerjisini başka bir taşıyıcı ortama aktararak, türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür” (Tombakoğlu vd 2011).



Şekil 2.3. Nükleer enerjinin elektrik enerjisine çevrimi (Tombakoğlu vd 2011)

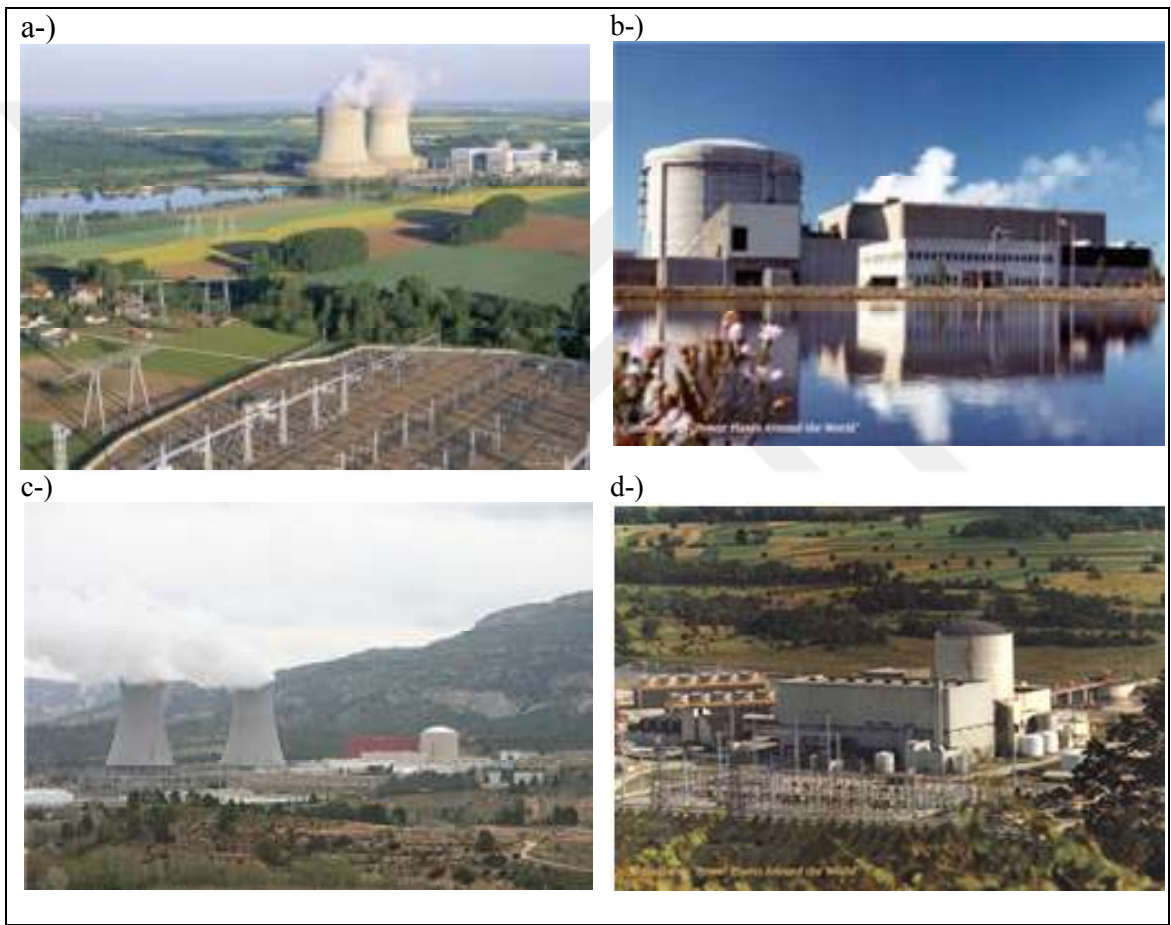
Su soğutmalı nükleer güç santrallerinde, filyon reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ısı, birincil çevrimdeki (Şekil 2.3) soğutucu su ile yakıtın bulunduğu ortamdan uzaklaştırılır. Yaklaşık 300°C sıcaklıktaki su, soğuk su içeren bir hazneden geçirilirken ısı transferi ile soğuk su ısınarak buhar elde edilir. Yüksek sıcaklıktaki buhar, elektrik jeneratörüne bağlı olan türbin kanatçıklarına çarparak, türbin şaftını çevirir ve elektrik

² Bu kısım ve alt başlıkları TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, Nükleer Enerji Raporundan özetlenerek derlenmiştir.

enerjisi üretilir. Türbinden çıkan (basıncı ve sıcaklığı düşmüş) buhar, tekrar kullanılmak üzere yoğunlaştırıcıya gider ve döngü devam eder. Ayrıca, acil durumlarda yakıt çubuklarında üretilen ısınn güvenli olarak alınması, yakıtın ve reaktörün özelliklerinin korunmasına yardımcı sistemler de mevcuttur (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.2. Nükleer reaktörlerin sınıflandırılması

1950'li yılların başından bu yana elektrik üretiminde kullanılan nükleer güç reaktörleri dünya elektrik enerjisinin yaklaşık %13'ünü karşılamaktadır. Son dönemdeki yaşanan gelişmelere paralel olarak hızla artan enerji talebi, nükleer enerjiye yönelik çalışmaları ivmelenmiştir. Gelişmiş ülkelerinin yanı sıra özellikle gelişmekte olan ülkeler de nükleer enerji yatırım projeleri hazırlamaktadır. (Tombakoğlu vd 2011).



Şekil 2.4. a-) Fransa St-Laurent nükleer santrali (PWR), b-) Kanada Point Lepreau nükleer santrali (CANDU-PHWR), c-) İspanya Confrentes nükleer santrali (BWR), d-) Slovenya Krsko nükleer santrali (PWR) (Tombakoğlu vd 2011)

Basıncılı Su Reaktörleri (PWR) (Şekil 2.4 a, Şekil 2.4 d), Basıncılı Ağır Su Reaktörleri (PHWR) (Şekil 2.4 b) ve Kaynar Su Reaktörleri (BWR) (Şekil 2.4 c) günümüzde en yaygın olarak kullanılan nükleer reaktör tipleri olup Gaz Soğutmalı Reaktörler (Gas Cooled Reactor - GCR), Hızlı Üretken Reaktörler (Fast Breeder Reactor - FBR) ve Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktörler (Light Water Cooled

Graphite Moderated Reactor - LWGR) de çeşitli ülkeler tarafından kullanılan diğer reaktör tipleridir (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.3. Nükleer yakıtlar

Günümüzde kullanılan ticari nükleer güç santrallerinde temel nükleer yakıt hammaddesi uranyumdur. Doğal uranyumun ağırlıkça binde yedisi (% 0.71) fisil ^{235}U izotopundan oluşur. Nükleer güç santrallerinde kullanılan yakıtlar reaktör tipine ve tasarımına göre ağırlıkça değişik zenginliklerde ve farklı geometrilerde olabilir. ağır su ile soğutulan reaktörlerde doğal uranyum, hafif su ile soğutulan reaktörlerde ise zenginleştirilmiş (^{235}U izotopu oranı artırılmış) uranyum yakıt olarak kullanılmaktadır (Tombakoğlu vd 2011).

Toryum (Th) fisil bir madde olmadığı için tek başına nükleer yakıt olarak kullanılamaz. ^{232}Th izotopunun fisil bir izotop olan ^{233}U 'e dönüşebilmesi için nötronla aktive edilmesi gerekir. Bu nedenle ^{232}Th ancak fisil izotoplar olan ^{235}U veya ^{239}Pu ile birlikte nükleer yakıt olarak kullanılabilir (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.4. Nükleer santral teknolojileri

Nükleer reaktörler ile nükleer enerjiden elektrik enerjisi elde etmek için 6 farklı tip reaktör tasarımı geliştirilmiştir. Bunlar (Tombakoğlu vd 2011):

- En yaygın güç reaktör tasarımı olan ve II. Nesil olarak adlandırılan basınçlı su reaktörleri ve kaynar su reaktörleri,
- 1970 ve 80'lerde kurulmuş reaktör tasarımlarının yerini alan ve III. Nesil ve III+ Nesil olarak adlandırılan ileri tasarım basınçlı su reaktörleri,
- İleri tasarım III. Nesil ve III+ Nesil kaynar su reaktörleri,
- Ağır su yavaşlatıcılı reaktörler (HWR),
- Gaz soğutmalı reaktörler (GCR) ve
- Hızlı nötron reaktörleridir.

Basınçlı su ve kaynar su reaktörleri, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak normal su kullanılmasından dolayı genel olarak *hafif su reaktörleri* (LWR) olarak adlandırılır. Ağır su reaktör tasarımlarında ise yavaşlatıcı olarak ağır su (D_2O : ağır su molekülü) kullanılmaktadır. Benzer olarak, gaz soğutmalı reaktör tasarımlarının soğutucusu helyum gibi gazlar, yavaşlatıcısı ise grafit gibi karbon tabanlı katı bileşiklerdir (Tombakoğlu vd 2011).

Dünyada ticari olarak çalışan 450 reaktörün; 291 tanesi PWR tipi, 78 tanesi BWR tipi, 49 tanesi HWR (CANDU&PHWR), 14 tanesi GCR (AGR&Magnox), 15 tanesi Hafif Su Grafit Moderatör Reaktörü (LWGR) ve 3 tanesi Hızlı Nötron Reaktörü (FBR) tasarımlarıdır (Anonymous 3).

Mevcut kurulu nükleer reaktörlerin çalışma ömrü 25 ile 40 yıl arasında değişmekte olup gerekli modernizasyonlar yapılarak ve çalışma lisansları yenilenerek (Japonya) bu reaktörlerin çalışma süreleri 60 –70 yıla çıkarılması planlanmaktadır. Yeni reaktörler daha uzun ömürlü olacak şekilde tasarlanmaktadır (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.4.1. Hafif su reaktörleri (LWR)

Hafif su reaktörleri dünyada ticari (elektrik üretimi) ve araştırma amaçlı kurulan en yaygın reaktör tipidir. Hafif su reaktörlerinde yavaşlatıcı, yansıtıcı ve soğutucu olarak kullanılan suyun ısı, nötronik ve hidrolik özelliklerinden dolayı bu reaktörlerde %3 - 5 oranında zenginleştirilmiş yakıt kullanılır. Genellikle ABD, Fransa ve Rusya'da Ar&Ge faaliyetleri yapılan, kurulan ve işletmeye alınan hafif su reaktörlerinin, basınçlı su reaktörü (PWR) ve kaynar su reaktörü (BWR) olmak üzere iki tipi kullanımda olup son yıllardaki ekonomik kaygılar ve gelişmiş güvenlik ilkesinden dolayı yeni ileri-reaktör tasarımları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Tombakoğlu vd 2011).

PWR ve Gelişmiş PWR Tasarımları: Basınçlı su reaktörlerinin gelişimi nükleer denizaltı reaktör teknolojisi ile başlarken ilk sivil PWR, Shippingport/ABD'nde kurulup 1957'de işletmeye alınmıştır. Gelişmiş tasarımlarında, buhar üretici ve kor hacmi gibi reaktör bileşenlerinin boyutları küçültülmüş, kapasite faktörleri, buhar üreteçlerinin sayısı ve reaktörün enerji üretim verimliliği artırılmıştır. İlk PWR'ler 60 MW elektrik gücü üretirken modern PWR'lerden 1300 MW net elektrik gücü elde edilebilmektedir. Modern PWR tasarımlarında ortalama ~%3 zenginleştirilmiş yakıt kullanılmaktadır. PWR'ler, soğutucu kaybı, akışkan kaybı, ani güç yükselmesi gibi ciddi kazaların meydana gelmesini önleyecek, kaza durumunda ise oluşacak hasarı en aza indirgeyecek özel güvenlik sistemleri ile donatılmıştır (Tombakoğlu vd 2011).

III. ve III+ Nesil PWR tipi reaktörlerin AP600 ve AC-600 gibi orta ölçekli (600 MW), EPR, APWR, System 80+, KNGR, AP1000 ve EP1000 gibi büyük ölçekli (1000MW ve üzeri) elektrik gücü üreten tasarımları mevcuttur. Basınçlı su reaktörlerinin çalışma süreleri ortalama 60 yıldır (Tombakoğlu vd 2011).

BWR ve Gelişmiş BWR Tasarımları: Dünyada elektrik enerjisi üretiminde basınçlı su reaktörlerinden sonra en yaygın kullanılan reaktör türü Kaynar Su Reaktörleridir (BWR). BWR'ler hafif su soğutmalı ve su yavaşlatıcılı nükleer reaktör tipi olup termal nötron spektrumunda çalışırlar. Bu reaktörlerde yakıt olarak % 3 civarında zenginleştirilmiş UO_2 kullanılır. BWR reaktörlerinde buhar üretici bulunmadığı için reaktörde üretilen su buharı korun üzerinde bulunan buhar kurutuculardan geçirilip doğrudan türbine gönderilerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Türbinden geçen su yoğunlaştırıcıdan geçirilerek tekrar reaktör kazanına pompalanır (Tombakoğlu vd 2011).

BWR'lerde PWR reaktörlerinden farklı olarak reaktörü kontrol etmeye ve durdurmaya yarayan kontrol çubukları bulunmaktadır. Bunun haricinde BWR'leri kontrol etmek için sisteme pompalanan su miktarının değiştirilmesi ile de sistem kontrolü mümkündür. Ayrıca BWR'lerde herhangi bir kaza durumunda kor kısmını soğutmak için geliştirilmiş, kor soğutucu ve ısı atma sistemleri de vardır. BWR reaktör tasarımlarının elektrik çıkış güçleri 350 ile 1350 MW arasında değişim göstermektedir. İleri tasarımlar olarak adlandırılan, Gelişmiş BWR (ABWR) tipi reaktörler ise III. Nesil nükleer reaktör tasarımları olup güvenlik sistemleri ve ürettikleri güç miktarları bakımından BWR'lerden farklılaşırlar (Tombakoğlu vd 2011).

Basitleştirilmiş BWR'ler (SBWR) 600 MW gücündeki pasif güvenlik prensibine göre tasarlanmış reaktörlerdir. Ekonomik Basitleştirilmiş BWR'ler (ESBWR) ise III+. Nesil reaktörler olup ABWR teknolojisinin üzerine inşa edilmiştir (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.4.2. Rus tipi reaktör tasarımları: VVER ve RBMK reaktörleri

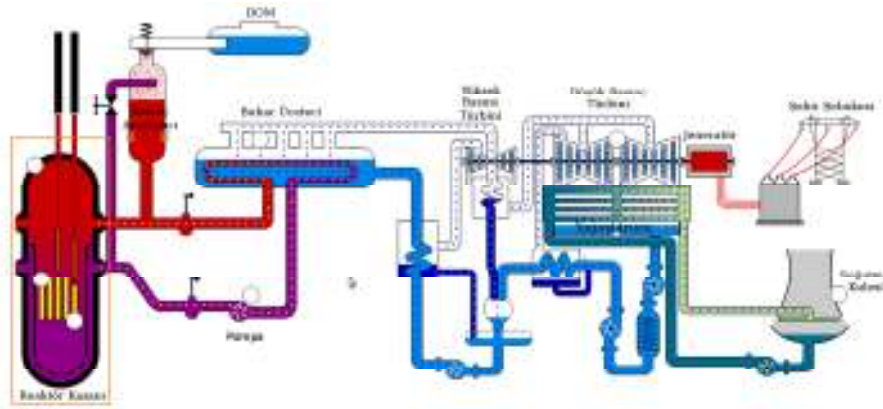
İlk olarak VVER-440 modeli ile 1960'lı yıllarda işletmeye alınan VVER reaktörleri (Şekil 2.5) halen Bulgaristan, Ermenistan, Çek Cumhuriyeti ve Finlandiya gibi ülkeler tarafından enerji elde etmek için kullanılmaktadır. 1975-1985 yılları arasında artan enerji ve güvenlik ihtiyacından dolayı VVER-1000 modeli tasarlanmıştır. VVER reaktör teknolojisi batılı anlamda (buhar üreteçleri yatay biçimde tasarlanmış) hafif sulu nükleer reaktör teknolojisidir (Tombakoğlu vd 2011).

VVER reaktörleri su soğutmalı ve su yavaşlatıcılı reaktörler olup termal nötron spektrumunda çalışmaktadırlar. İki ısıl çevrim bulunan VVER'ler de birincil çevrimde reaktör korunda nükleer reaksiyonlardan açığa çıkan ısı enerjisi yatay buhar üreteçleri ile ikincil çevrime aktarılarak buradaki türbinler ile elektrik enerjisine dönüştürülür (Tombakoğlu vd 2011).

VVER-1000 tasarımında güç seviyelerindeki artışla birlikte buhar üreteçlerinin sayısı azaltılarak olası bir soğutucu kaybı kazası olasılığı düşürülmüştür. Ayrıca bu tasarıma herhangi bir ciddi kaza anında reaktör korundan radyasyon sızıntısını önleyici koruma kabuğu da eklenmiştir. Çalışma süreleri uzatılmış olarak işletilen ya da halen işletme durumunda olan 29 adet VVER-1000 reaktörü vardır (Mokhov 2010).

VVER-1200 modeli III. Nesil nükleer reaktör teknolojisi olup VVER-1000 reaktörlerinin geliştirilmiş bir versiyonudur. VVER-1200 tasarımında reaktör kor içeriği ile fisil madde miktarı artırılarak yakıtın yanma oranı artırılmıştır. Reaktör koru, kazanı ve ısı değiştiricileri parametrelerinin değiştirilmesi ile reaktör ömründe ve reaktör veriminde artış sağlanmıştır. Ayrıca bu tasarımda kontrol demetlerinin sayıları artırılarak mevcut kor tasarımında değişiklik yapılmaksızın (uranyum ve plütonyum içeren karışık oksit yakıtlarının kullanımı da dâhil) yeni yakıt çevrimlerine imkân sağlanmıştır (Tombakoğlu vd 2011).

VVER-1200 reaktör modelinin V491 ve V392M olmak üzere iki farklı versiyonu bulunmaktadır. Akkuyu'da kurulması planlanan reaktör V491 versiyonu olup VVER-1000 reaktörlerinden kazanılan pozitif deneyimle, güvenlik sistemleri bakımından aktif sistemlerin baskın olduğu reaktörlerdir (Tombakoğlu vd 2011).



Şekil 2.5. VVER reaktörünün şematik gösterimi (Tombakoğlu vd 2011)

Yüksek Güçlü Kanal Tipi Reaktörler (RBMK) su soğutmalı, grafit yavaşlatıcılı, kaynar sulu reaktörler olup yapısal olarak hem de kullanım amaçları bakımından VVER'lerden farklılaşırlar. Plütonyum üretmek için tasarlanan RBMK'lerde basınç kazanı (Batılı anlamda "Koruma Kabuğu") bulunmaz ve yakıt olarak düşük zenginlikte (%2-2.4) uranyum kullanılır. RBMK'lerde soğutucu, basınç tüplerinden geçtikten sonra reaktör koruna 270°C'de girip 284°C'ye çıkar ve buhar ayırıcılardan geçirilip türbine gönderilerek yüksek güçte (1000-1500 MW) elektrik enerjisi elde edilir. Kor çalışır durumda iken yakıt değiştirilebilecek şekilde tasarlanan RBMK'lerin kontrolü, çoğunluğu yukarıdan reaktör koruna sokulan kontrol çubuklarıyla yapılmaktadır. Çernobil kazasının gerçekleştiği reaktör de RBMK tipinde bir reaktördür (Tombakoğlu vd 2011).

Halen dünyada Litvanya, Ukrayna ve Rusya gibi eski doğu bloğu ülkelerinde 11 adet RBMK işletim durumunda olup (Anonymous 4) Rusya'nın nükleer enerjiden elde ettiği elektrik enerjisinin % 48'ini bu reaktörler üretmektedirler. 2006 yılında ROSATOM şirketi tarafından yapılan modernizasyonlarla bu reaktörlerin işletim zamanları uzatılmıştır (Tombakoğlu vd 2011).

2.4.4.3. Ağır su reaktörleri (HWR)

Ticari reaktörler arasında ikinci sırada yer alan ağır su reaktörleri Kanada, Japonya ve Hindistan tarafından geliştirilip ve işletmeye alınmıştır. Ağır su reaktörleri yakıt zenginleştirmesine ihtiyaç duymamaları, reaktör çalışır durumda iken yakıt yüklemesi yapılabilmesi ve oldukça basit bir yakıt çevrimine sahip olmaları açısından Hafif su reaktörlerinden avantajlı olmalarına karşın kor bölgesinin LWR ile kıyaslandığında bir hayli büyük olması, ağır su üretim tesisi kurulması, ağır su üretim maliyetinin pahalı olması ve termodinamik verimliliğin düşük olması gibi dezavantajları mevcuttur (Tombakoğlu vd 2011).

Dünyada kurulu ticari ağır su reaktörlerinin tamamı yakıt olarak doğal uranyum (ağırlıkça: %0.0053 ^{234}U , %0.711 ^{235}U , %99.284 ^{238}U) içeren yakıt çubuklarının kullanıldığı CANDU(CANadaDeuteriumUranium) -600/9 tasarımına dayanmaktadır.

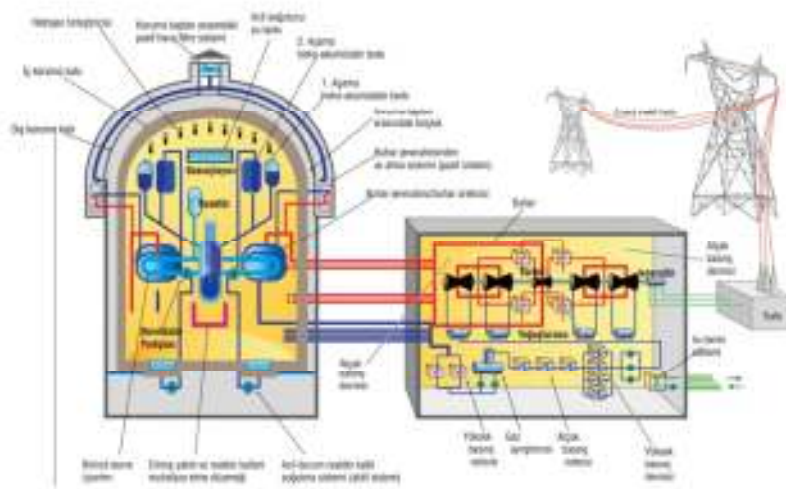
Bu reaktörlerin gelişmiş tasarımları olan ACR-700/1000 (Advanced CanduReaktörü), yavaşlatıcı olarak ağır su (D_2O), soğutucu olarak hafif su (H_2O) kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca CANDU tasarımından farklı olarak, ileri pasif güvenlik sistemleri etkinleştirilip reaktör kor tasarımında, değişikliğe gidilerek kor hacmi üçte birine indirilmiştir. Yakıtta da düşük düzeyde ($\sim 2.1-2.4$ arasında) zenginleştirmeye gidilerek yakıt demeti halka sayısında üçten dörde çıkartılmıştır (Tombakoğlu vd 2011).

CANDU tipi reaktörlerin doğal uranyum yakıt çevriminin uygulanabilirliğine ek olarak mevcut LWR'lerden çıkan kullanılmış yakıtları doğrudan kullanabilme gibi çok önemli bir avantajı daha vardır. Bu nedenle özellikle, hafif su güç reaktör teknolojilerine sahip ülkeler için CANDU reaktör teknolojisi depolanacak kullanılmış yakıt ve gömülecek yüksek aktiviteli atık miktarını ciddi oranlarda azaltacaktır (Tombakoğlu vd 2011).

2.5. Akkuyu Nükleer Güç Reaktörü

Akkuyu NGS Projesi, her biri 1200 MW gücünde 4 üniteden oluşmaktadır. Akkuyu NGS Projesi'nin teknik referans santrali, Rusya'da inşaatı devam eden AES-2006 projeli Novovoronejskaya-2 Nükleer Santrali'dir. Akkuyu Nükleer Santrali'nin işletme ömrü 60 yıl olup yakıt olarak hafif zenginleştirilmiş uranyum dioksit kullanılacaktır (Anonim 2).

Güç ünitesi, reaktör ve türbin adasından oluşur. Radyoaktif olan birinci çevrimde reaktör, devridaim sistemi, devridaim pompası, buhar üretici ve basınç ünitesi bulunur. Radyoaktif olmayan ikinci çevrimde besleme pompaları ve su temizleme sistemi, yüksek basınç ısıtıcıları, buhar üretici buhar çıkışı, taze buhar hattı, türbin ve türbin buharı temizleme sistemi, yoğusturucu pompaları, alçak basınçlı ısıtıcı sistemi, yoğusturucu sistem, gaz giderici sistem ve besleme suyu sistemleri mevcuttur (Anonim 2).



Şekil 2.6. Akkuyu nükleer güç reaktörü güç ünitesi ve güvenlik akış şeması (Anonim 2)

Türbin kısmında kompresör ünitesi, besleme suyunu tekrar temizleyen ısıtma tesisatı, su- buhar ayırıcıları, buhar ısıtıcıları ve buhar boşaltma ünitesi bulunur. Ayrıca kendi ihtiyacı için devamlı olmayan ve çevrime kimyasal işlem görmüş ek ısıtılmış su alma sistemi de mevcuttur. Güç ünitesi proje kazaları ve/veya onların sonuçlarını indirmek için güvenlik sistemi ile donatılmıştır (Anonim 2).

2.6. Nükleer Güç Reaktörleri ve Radyoaktivite³

Reaktörler Nükleer yakıt döngüsünün en önemli birimi olup insan kaynaklı radyoaktivitenin kaynağıdır. Boyutlarına, yapılarına ve uygulama alanlarına göre nükleer reaktörlerin farklı çeşitleri vardır. Bunlar arasında en yüksek yapay radyoaktivite üreten elektrik üretimi için kullanılan güç reaktörleridir.

Elektrik üretimi için kullanılan güç reaktörlerine ek olarak malzeme testleri, eğitim, izotop üretimi, araştırma ve geliştirme gibi çeşitli ve farklı amaçlar için kullanılan reaktörler de vardır. Bu reaktörler güçleri çok düşük olduğu için daha az radyoaktivite üretirler. Yalnızca Birleşik Devletlerde 150 den fazla bu tip reaktör bulunmaktadır(USCG 1977). Ayrıca aktif ya da yapım aşamasında olan, genellikle nükleer deniz altıları ve diğer donanma araçlarına güç sağlamak için kullanılan 174 askeri reaktör daha vardır. Bunların yanı sıra genellikle askeri uygulamalar için gerekli plütonyumun üretiminde kullanılan, nispeten daha yüksek güç düzeyinde çalışan reaktörlere sahiptir.

Güç reaktörlerinde üretilen radyoaktivite, reaktörün enerjisiyle doğru orantılı olup basit olarak reaktörün çıkış gücü ve işletme süresinin çarpımına eşdeğerdir. Reaktörün gücü kilovat (kW) ya da megavat (MW) ısı enerjisi ile ifade edilir. Diğer yandan güç reaktörlerinde reaktör gücü elektrik çıkışı olarak ya da MWe olarak ifade edilir. Güç üretim reaktörlerinin dışındaki (araştırma ve eğitim amaçlı kullanılan) reaktörler daha düşük enerjilerde çalıştırıldıkları ve güç reaktörlerine oranla daha az kullanıldıkları için çevresel radyoaktiviteye katkıları daha azdır (Kathren 1984a).

Bu tip reaktörlerin çoğunun gücü 10-100 KW aralığında olup çok azı MW mertebesinde. Diğer yandan modern bir güç üretim reaktörü tam güçte bir ay çalıştığında 4000MW güç üretebilir. Güç reaktörleri yakıt yüklemesi ve bakım onarım için periyodik olarak kapatıldıklarından dolayı toplam kapasitelerinin %55-60 ı oranında kullanılabilirler. Radyoaktivitenin en büyük kaynağı durumunda oldukları için çevresel radyolojik çalışmalar güç reaktörleri üzerine odaklanmalıdır. 1000MWe gücündeki bir hafif su reaktörü çalışırken yaklaşık 1.5×10^{10} Ci = 5.55×10^{20} Bq, kapatıldığında bu değer üçte biri oranında aktiviteye sahip kısa ömürlü fisyon gazı bulunur.

³ Bu kısım ve alt başlıkları Kathren, L. R. 'nin *Radioactivity in the Environment*, kitabından çevrilerek derlenmiştir.

2.6.1. Filyon ürünleri

Nükleer reaktörlerde üretilen radyoaktivitenin üç temel kaynağı vardır. Bu kaynaklardan birincisi doğal olarak radyoaktif olan yakıt olup filyon ürünleri ve aktivasyon ürünlerine oranla daha düşük bir paya sahiptir. Reaktörlerin çoğunda yakıt olarak farklı oranlarda zenginleştirilmiş ^{235}U kullanılır. Büyük çapta bir LWR %3.5 oranında zenginleştirilmiş 100 ton uranyum ile yüklendiğinde 6.8Ci (252GBq) ^{235}U ve 29.3Ci (1.1TBq) ^{238}U içerir. ^{233}U ve ^{239}Pu yakıt olarak kullanılan diğer radyonüklitlerdir. Ancak ^{233}U birkaç küçük deney reaktörünün dışında yakıt olarak kullanılmaz. ^{239}Pu ise genellikle araştırma ve test reaktörlerinde yakıt olarak kullanılır.

Diğer iki radyoaktivite kaynağı nükleer santralin işletilmesinden kaynaklanan filyon ürünleri ve aktivasyon ürünleridir. Bir nükleer santralde gerçekleşen filyon reaksiyonunun nükleer patlamada gerçekleşenden tek farkı daha düşük bir hızda olmasıdır. Nükleer reaktörler çalışma esnasında 300 den fazla filyon ürünü üretirler (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Önemli filyon ürünleri (Kathren 1984a)

Nüklit	Yarı ömür	Nüklit	Yarı ömür	Nüklit	Yarı ömür
Gaz		Katı		Katı	
H-3	12.3y	Sr-89	53.0d	I-135	6.7h
Kr-85	10.8y	Sr-90	28.0y	Cs-134	2.0d
Xe-133m	2.3d	Y-90	2.7d	Cs-136	14.0d
Xe-133	5.3d	Y-91	59.0d	Cs-137	30.0y
Xe-135	9.1h	I-131	8.1d	Ba-140	13.0d
		I-133	20.8y	La-140	1.7d
				Ce-144	290.0d

Faal nükleer güç santrallerinden çevreye salınan en önemli aktivite kaynağı (radyoaktif soy gazlar) radyokripton ve radyoksenonların karışımından oluşur. Miktar ve içerik santraldan santrala değişmekle beraber, genelde en büyük salınım özellikle yaşı ilerlemiş kaynar su santrallerinin yıpranan ünitelerinden olur. Yeni nesil santrallerdeki arıtma sistemleri sayesinde çevreye salınan soy gazaktivitesi 800 Ci'nin altına düşmüştür (Kathren 1984a).

Basınçlı su reaktörlerinde, çevreye salınan soy gazların miktarı kaynar su reaktörlerine göre çok daha düşüktür. Bunlarda uzun yarıömürlü (^{135}Xe :5,3 gün ve ^{85}Kr : 10,76yıl) fraksiyonlardan oluşur. Büyük bir tipik basınçlı su reaktöründen (PWR) salınan toplam soygaz aktivitesi aynı büyüklükteki kaynar su reaktörlerinden 1 ya da 2 kat daha düşüktür.

Gaz soğutmalı reaktörlerden salınan soygaz seviyesi genelde 10 Ci'nin altındadır. Bunun aksine ağır su moderatörlü santrallerde bu değer kaynar su reaktörlerinin değerlerine yaklaşabilir.

Atmosfere salınan soy gaz radyonüklitler genelde kısa ömürlüdür. Yarı ömür süreleri genelde birkaç dakika ve birkaç gün arasında değişir. Ancak 10,76 yıl yarı ömürlü ^{85}Kr unutulmamalıdır. ^{85}Kr uzun yarı ömrü nedeniyle atmosferde zamanla birikip, yoğunlaşabilir. Son yıllarda nükleer reaktör inşasındaki kısıtlamalar ve geliştirilmiş atık kontrolleri ^{85}Kr oluşumunu önemli ölçüde azaltmıştır.

Radyoiyotlar nükleer güç santrallerin işletiminden salınan diğer önemli gaz radyonüklitlerdendir. Kimyasal formları hipoyodik asit (HIO), hidroiyodik asit (HI) iyodik asit (HIO_3) veya metal iyodürler şeklinde olabilir. Ana iyot izotopları 8.05 gün yarı ömürlü ^{131}I , 20.8 saat yarı ömürlü ^{133}I ve 16milyon yıl yarı ömürlü ^{129}I dur. Tipik bir Kaynar su reaktörünün yıllık radyoiyot salınımı birkaç mCi (100KBq)/MWe mertebesinde olup bu değer diğer güç reaktörlerinde 1 ya da 2 kat daha düşüktür (UNSCEAR 1977).

Reaktörlerde üretilen radyoaktivitenin üçüncü kaynağı ise reaktör inşasında kullanılan malzemelerin, yakıtın, moderatörün, soğutucunun, ve reaktörün diğer bileşenlerinin nötronlarla aktivasyonudur. Aktivasyon ürünleri nötronların soğutucu suyundaki hidrojen, oksijen ve ayrıca soğutucuda çözünmüş olarak bulunan azot ve argon ile etkileşimi sonucunda oluşurlar. En önemli aktivasyon ürünleri $^{58,60}\text{Co}$, ^{65}Zn ve ^{59}Fe olup diğer aktivasyon ürünleri Çizelge 2.4'te listelenmiştir.

Çizelge 2.4. Önemli aktivasyon ürünleri (Kathren 1984a)

Nüklit	Yarı ömür	Nüklit	Yarı ömür
N-16	7s	Mn-56	2.6h
Ar-41	1.8h	Co-58	72d
Cr-51	28d	Co-60	5.4y
Mn-54	300d	Fe-59	45d

Aktivasyon gazlarının salınımı genellikle gaz soğutmalı reaktörlerle ilişkilendirilir. Burada üretilen en önemli nüklid soğutucuda ve zırh soğutma gazındaki $^{40}\text{Ar}(n,\gamma)$ reaksiyonu sonucunda elde edilen ^{41}Ar dir. Normalleştirilmiş salınım miktarları 100-300 Ci mertebesinde (3,7-11,1 GBq)/ MWe - y (UNSCEAR 1977, 1982).

Aktivasyon ürünleri yakıtın nötron yakalaması ile de oluşur. Bu şekilde neptünyum, plutonyum ve diğer aktinitler üretilir. 1000 MWe gücündeki bir LWR ün

bir yıl işletilmesi sonucunda 30000 Ci aktiviteli ^{239}Pu üretilir. Diğer önemli transuranik ürünler ve aktiviteleri Çizelge 2.5'te listelenmiştir.

Çizelge 2.5. Önemli transuranik ürünler (Kathren 1984a)

Nüklit	Yarı ömür	1000MWe Reaktör Üretimi (MCi)
U-239	6.75d	1708
Pu-238	86.4y	0.138
Pu-239	24360y	0.032
Pu-240	6580y	0.05
Pu-241	13.2y	12.4
Pu-243	5y	22.4
Am ve Cm izotopları		1.14
Tüm aktinitler		3614

2.6.2. Tritiyum ve ^{14}C

Tritiyum nükleer reaktörlerde üçlü fizyon ve döteryumun aktivasyonu gibi nükleer reaksiyonlar sonucu üretilen en önemli radyoaktif izotoptur. Tritiyum çekirdeği çok küçük olduğundan yakıt içindeki tritiyumun %1'i çinko-alaşımli yakıt kılıfına ve %80'i paslanmaz çelik kılıfa geçer (Kouts ve Long 1973). 1000MWe gücündeki bir HSR'ünde üçlü fizyon sonucu üretilen tritiyum aktivitesi yaklaşık 20 Ci (Erdman ve Reynolds 1975), normal su içerisindeki (%0.0015 bolluklu) döteryumun aktivasyonu sonucu üretilen tritiyum aktivitesi ise 10 Ci'dir.

Basıncılı su reaktörlerinde, reaktördeki tepkimeyi kontrol etmek için kimyasal shim olarak kullanılan bor yüksek nötron yakalama kapasitesine sahiptir ve $^{10}\text{B}(n,2\alpha)$ reaksiyonu sonucu üretilen tritiyum aktivitesi yaklaşık 300-400 Ci arasında değişmektedir. Ağır su moderatörlü reaktörlerde bu miktar 10 kat daha fazla olabilir. Gaz soğutmalı reaktörlerden salınan tritiyum aktivitesi ise yıllık 10-100 Ci arasında değişmektedir. Tritiyum az miktarda da olsa BC_4 kontrol çubuğu kullanılan kaynar su reaktörlerinde üretilir (Kathren 1984a). Güç üretimine normalize edildiğinde yıllık tritiyum salınım aktivitesi ağır su moderatörlü reaktörlerde 20 Ci/MWe, basıncılı su reaktörlerinde 1 Ci/MWe, kaynar su reaktörlerinde 0.2 Ci/MWe ve gaz soğutmalı reaktörlerde 0.3 Ci/MWe'dir (UNSCEAR 1977).

Karbon-14, hafif su reaktörlerinde ve ağır su reaktörlerinde moderatör ve soğutucuda $^{17}\text{O}(n, \alpha)$ reaksiyonu, yakıtta ve diğer kısımlarda $^{14}\text{N}(n,p)$ reaksiyonu ile üretilir. Mevcut verilere göre PWR ve BWR'lerinden salınan karbon-14 aktivitesi yıllık 20 mCi/MWe'dir (Davis 1977). Bu doz doğal karbon-14 salınımı ile kıyaslandığında oldukça düşüktür (UNSCEAR 1977, 1979, 1982).

2.6.3. Radyonüklitlerin uzaklaştırılması

Nükleer reaktörlerde normal işletim esnasında ortaya çıkan katı radyoaktif izotoplar iyon değişimi, demineralizörler ya da buharlaştırma gibi metodlarla uzaklaştırılırlar. Ancak bu metodlar trityum, sezyum, yitrium ve molibden izotoplarını uzaklaştırmada başarısızdır. Gaz halindeki radyoaktif izotoplar basınçlı tanklarda, kömür yataklarında bozunumları tamamlanıncaya kadar bekletilir ya da (radyoiyot vb parçacıklar için) filtreler kullanılır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, sınırlayıcı düzenlemelerle (ALARA) " makul olarak elde edilebilecek kadar düşük" radyoaktif atık miktarları belirlenmiştir. Buna göre kişilerin atmosferik salınımlardan alacakları gama dozunun 10 mrad (100 μ Gy)'den, beta dozunun 20 mrad (200 μ Gy)'den az olmasını gerektirmektedir (CFR 1983). Benzer şekilde sıvı salınımların aktivitesi yıllık 5 Ci (185GTBq) ya da salınının sebep olacağı yıllık eşdeğer doz 5 mrem (50 μ Sv) ile sınırlanmıştır.

2.7. Nükleer Reaktörlerin Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri⁴

Nükleer enerji santrallerinin çevreye etkileri; havaya, suya, yeryüzüne ve biyosfere (insanlar, bitkiler, hayvanlar) olan etkileri şeklinde incelenebilir (Tombakoğlu vd 2011).

2.7.1. Havaya etkisi

Nükleer santrallerde gaz salınımları aşağıdaki yollardan olur (Tombakoğlu vd 2011):

- Soğutma kulelerinden (su buharı),
- Havalandırma çıkışlarından (radyoaktivite içermez),
- Dizel jeneratörün egzozundan,
- Ana buhar sisteminden hava ejektörüyle (gazlar ve buhar),
- Havalandırma çıkışlarından (radyoaktivite bulaşmış olabilir),
- Sistemdeki radyoaktif sıvı ve gazlardan meydana gelebilecek gaz çıkışından.

Soğutma kulelerinden ve havalandırma çıkışlarından gerçekleşen salınımlar radyoaktif değildir. Biyolojik tehlike oluşturacak herhangi bir kimyasal içermeyen sıcak su buharı salınımı yapılan yaklaşık 120 metre yüksekliğindeki soğutma kulelerinin en büyük etkisi santralin etrafındaki havayı ısıtmaktır. Havalandırma çıkışları ise ofis binalarının havalandırma sistemleriyle aynı olduğundan herhangi bir radyoaktif salınım gerçekleşmez (Tombakoğlu vd 2011).

Herhangi bir kaza anında ya da acil durumda elektrik gereksinimi için kullanılan dizel jeneratörler ayda en az bir çalıştırılarak ihtiyaç durumunda devreye girip

⁴ Bu kısım ve alt başlıkları TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, Nükleer Enerji Raporundan özetlenerek derlenmiştir.

girmeyecekleri test edilir. Nükleer santrallerin ürettiği sera gazlarının (karbondioksit, sülfür oksit, karbon monoksit, nitroz oksit) tek kaynağı türbin ve dizel jeneratörlerin aylık test amaçlı çalıştırılmasıdır (Tombakoğlu vd 2011).

Hava ejektörleri çıkışı basınçlı su reaktörlerinde (buhar üretici tüplerinden herhangi bir sızıntı yoksa) radyoaktif değildir. Kaynar su reaktörlerinde ise hava çıkışı radyoaktiftir ancak bu gaz atmosfere bırakılmadan önce (yarı ömrü kısa olan parçacıkların aktivitelerinin önemli ölçüde azalması için) mutlaka gecikme borularından, depolama tankından ve hidrojen birleştiriciden geçirilir. Havalandırma çıkışlarında bulunan radyasyon monitörleri ile izlenen gaz salınımı müsaade edilen radyasyon seviyesinin altına düşünceye kadar normal havalandırma sistemi kapatılır ve özel fanlar yardımıyla hava tekrar filtrelerden geçirilir (Tombakoğlu vd 2011).

Reaktörün soğutma sisteminden salınan gazlar radyoaktif olabileceğinden dolayı sıkıştırılıp depolanır. Periyodik olarak bu gazlardan örnek alınarak aktivitesi kabul edilebilir seviyenin altında olan gazlar atmosfere salınır. Tüm potansiyel durumlar için gaz salınımı olan çıkışlar radyasyon monitörleriyle gözlemlenir (Tombakoğlu vd 2011).

2.7.2. Suyu etkisi

Nükleer santrallerde su, soğutma amaçlı yoğunlaştırıcıdan, çeşitli ısı değiştiricilerden, türbin-jeneratör destek işlemlerinden ya da soğutma kulelerinden geçerken radyoaktif değildir. Bu suyun bir kısmı ya da tamamı nehir ya da denize boşaltılır (Tombakoğlu vd 2011).

Buhar üreticilerinden çıkan suda genellikle radyoaktif değildir ancak reaktör soğutma suyu sisteminden buhar üreticilerinin ikinci soğutma sistemine az da olsa (yaklaşık 1514 lt/gün) sızıntı olabilir. Eğer bu radyoaktif su çevreye salınacaksa aktivitesi iyon değişim işlemiyle müsaade edilen seviyenin altına düşene kadar depolanarak bekletilir. Olası radyasyon seviyesi aşımı durumlarının kontrolü için sıvı çıkış noktalarında da radyasyon detektörleri ve izolasyon vanaları bulunmaktadır. Bazı kaynar su reaktörleri (BWR) "Sıfır Salınım" yöntemiyle yani hiç çevreye radyoaktif sıvı vermeden çalışabilmektedirler (Tombakoğlu vd 2011).

2.7.3. Yeryüzüne etkisi-katı atıklar

Katı radyoaktif malzemeler santralden sadece üç yolla çıkabilirler. Bunlar (Tombakoğlu vd 2011);

- Kıyafetler, kullanılan bez ve tahta parçaları vb. gibi atıklar,
- Su arıtımında kullanılan reçineler,
- Kullanılmış yakıtlardır.

Radyoaktif atıklar (kıyafetler, kullanılan bez ve tahta parçaları vb.) su sızdırmayacak ve su içermeyecek şekilde tasarlanmış zırhlı taşıma kaplarında biriktirilir. Bu kaplar düzenleyici kurum tarafından kontrol edilip özel alanlarda tutulur. Su arıtmak için kullanılan reçineler yüksek radyoaktiviteye sahip olabileceğinden özel tasarlanmış kaplarda saklanır (Tombakoğlu vd 2011).

Günümüzde kullanılmış yakıtlar camlaştırılıp, etrafları korozyona ve bozulmaya dayanıklı bir metalle çevrilip (tekrar işlenip kullanılması amacıyla), öncelikle santralde su altında büyük soğutma havuzlarında, depolama kapasitesinin sınıra ulaşması durumunda ise santral içinde kuru-zırlı taşıma kaplarında depolanır. Bu yakıtlar, depolandıktan sonra 50-100 yıl boyunca tekrar işlenerek kullanılmamış plütonyum ve kullanılmamış uranyum geri kazanılıp daha sonra reaktörlerde yakıt olarak tekrar kullanılabilir. Bu metot Fransa, İngiltere ve Japonya gibi ülkelerde uygulanmaktadır (Tombakoğlu vd 2011).

2.7.4. Biyosfere etkisi

Nükleer enerji santrallerinin biyosfere etkisini belirlemek için santral yerleşkesinin 10 mil ve 50 millik yarıçapında bulunan popülasyonların maruz kaldıkları dozların limit değerleri aşıp aşmadığı yerleşim yeri ve çevre analizlerinde popülasyon dağılımı da dikkate alınarak ayrıntılı bir şekilde incelenir. Doz değerleri hesaplanırken bölgede yaşayan popülasyon dağılımı sabit olmadığı durumlarda civar şehir, kasaba ve köylerdeki popülasyonlar, mevsimsel ve günlük popülasyon değişimleri, turizm amaçlı bölgeyi ziyaret kişilerin geldikleri dönem ve turist sayısı, bölgedeki büyük ölçekli okul ve fabrikalardaki popülasyonlar, hasat toplama, festivaller gibi dönemsel etkinliklere bağlı popülasyon değişimleri, yaş dağılımlarına göre popülasyonlar ve geçmiş yıllardaki nüfus artış oranlarına göre gelecekteki tahmini popülasyonlar gibi faktörler dikkate alınarak acil durumlar için santralden 20 mil yarıçapında bir bölgenin acil boşaltma senaryoları hazırlanır (Tombakoğlu vd 2011).

2.8. Çevresel Gözlem ve Ölçüm Programı⁵

Çevresel radyasyon ve radyoaktivite ölçüm çalışmalarının birkaç nedeni vardır. Bu çalışmaların temel amacı bilimsel merakı karşılama, bilgi edinme ve dünyayı daha iyi anlamak olabilir. İkinci bir neden ise radyasyon ve radyoaktivite de dahil olmak üzere insan kaynaklı aktivitelerin çevreye etkisini belirlemektir. Bu etkinin belirlenmesi için insan kaynaklı aktivitelerden önce alanda bulunan doğal kaynakların oluşturduğu ve referans olarak kabul edilen radyoaktivite seviyesini izotopik analiz teknikleriyle radyolojik çevreyi değiştirebilecek insan aktiviteleri başlamadan 1-3 yıl önceden sürekli gözlenmelidir (Kathren 1984b).

Çevresel doz değerlendirmesi radyonüklit ya da radyasyon kaynaklarının belirlenmesi ile başlayan bir süreçtir. Bu süreci radyonüklitlerin çevredeki dağılım miktarının belirlenmesi, insanların maruz kaldığı dış radyasyon kaynaklarının belirlenmesi ve radyoaktivitenin insanlar tarafından alımı ve birikiminin belirlenmesi takip eder. Bu veriler çevresel kaynakların neden olduğu dozun hesaplanması için referans teşkil eder. Doz değerlendirmesi yapmak için yürütülen herhangi bir çevresel

⁵ Bu kısım ve alt başlıkları Kathren, L. R.'nin *Radioactivity in the Environment*, adlı kitabından çevrilerek derlenmiştir.

takip programı insanların alacağı doza katkıda bulunabilecek tüm faktörleri içerecek şekilde tasarlanmalıdır.

Nükleer tesislerin etrafındaki gözetimlerin toplumun ve çevrenin korunması gibi kesin pragmatik amaçları vardır. Bunların en önemlisi tesisin işletilmesinden dolayı toplumun maruz kalacağı muhtemel doz limitlerinin belirlenmesi ya da tahminidir (Denham 1982). Temelde gözetim programı tesisin ilgili kanunlar, düzenlemeler, lisans ve izin koşullarına uygun işletilmesini sağlayarak toplum ve çevrenin korunmasını sağlar. Bu sadece geniş çaplı çevresel radyoaktivite ölçümleri ile değil, serpinti ve doğal radyonüklitlerden farklı tesis atıkları, tesis yakınlarındaki bireylerin maruz kaldıkları doz, tesis çevresindeki uzun dönemli radyolojik verilerin analizi ile de belirlenebilir. Gözetim çalışmalarının her türlü örnekten minimum (yeterli) sayıda alınarak hem ekonomik hem de doğal çevreye zarar vermeden yürütülmesi tercih edilmelidir.

Nükleer tesisler etrafındaki çevresel gözetim programları tesisin statüsüne göre işletim öncesi, işletim esnası ve işletim sonrası olarak üç farklı sınıfa ayrılır. İşletim öncesi program nükleer malzemelerin alana getirilmesinden en az bir yıl tercihen 2 ya da 3 yıl öncesinden başlamalıdır. Nükleer güç santralleri için Nükleer Düzenleme Komitesi 2 yıllık veri toplama programı önermektedir (USNRC 1975). Bu program olası maruziyet yollarını ve kritik toplumsal grupları belirlemeli, örnekleme alanlarını ve noktalarını belirlemeli, analitik prosedürleri doğrulamalı ve referans seviyeleri tespit etmelidir (Kathren 1984b).

Analiz edilmemiş farklı çevresel ortamlardan toprak, su ve kurutulmuş ya da korunmuş biyota şahit numune örneklerin bulunduğu bir banka ya da müze oluşturulabilir ve işletim öncesi durumun teyidi için tesisin işletim süreci boyunca bu örnekler el değmeden saklanmalıdır. Ayrıca ileri analitik tekniklerinin geliştirilmesiyle bu örneklerden daha detaylı bilgiler de elde edilebilir. Bu örnekler şimdilik uzun yarı ömürlü radyonüklitlerin analizi için uygun olsalar da yeni analitik teknikler kısa yarı ömürlü radyonüklitler ve hatta kararlı bozunum ürünlerin analizini de mümkün kılabilir.

İşletim gözetim programlarının amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir (Eichholz 1978):

- 1-Toplumu ve çevreyi radyolojik salınımlardan korumak,
- 2-Mevcut ve devam eden radyolojik durumu gözlemlemek ve kayıt altına almak,
- 3- Düzenleyici gerekliliklere uymak,
- 4-Beklenmedik çevresel etkilerin belirlenmesi ve kayıt altına alınması,
- 5-Tesis operatörlerini yasal sorumluluklardan korumak,
- 6-Araştırma ve geliştirme

İşletim çevresel gözetim programı temelde tesisin işletiminin kontrolü olup işletim süresince devam etmeli ve gerekli olduğunda uygun değişiklikler yapılarak güncellenmelidir. İşletim programı tesis işletiminin ya da radyolojik faaliyetlerin durdurulması ile sona erer ve yerini işletim sonrası gözetim programına bırakır.

2.8.1. Program geliştirme

Çevresel radyolojik gözetim programlarının ilk basamağı programın amacını belirlemektir. Şayet programda birden farklı hedefe ulaşmak isteniyorsa her bir hedefin gereksinimleri yerine getirecek örnek toplama ve analiz süreçleri yerine getirilmelidir. Ancak Çevresel radyolojik gözetim programlarının çoğu düzenleyici gerekliliklere uymayı ve radyolojik atıkların yasal olarak müsaade edilmiş sınırlar içinde olmasını sağlamayı amaçlar.

Nükleer bir tesis için çevresel radyolojik gözetim programlarının geliştirilmesi temel olarak altı basamaklı bir süreçtir (Kathren 1984b). Bunlar:

- 1-Tesis değerlendirmesi
- 2-Salınım yollarının tanımlanması
- 3- Salınım yollarının seçilmesi
- 4-Birincil (kritik) ölçüm kriterlerinin saptanması
- 5- İkincil (kritik) ölçüm kriterlerinin saptanması
- 6-Doz değerlendirme tekniklerinin geliştirilmesidir.

Nükleer tesisler radyasyon ve radyoaktivite kaynağı olduklarından tesisten salınan radyonüklitlerin konsantrasyonunun, miktarının, fiziksel ve biyolojik özellikleri ile radyasyonun salınım noktaları belirlenmelidir. Radyasyon kaynağı olma açısından tesisten salınan her bir radyonüklitin çevrede muhtemel birikim mekanizmaları, yarattığı potansiyel tehlikeler ve çevreye etkileri belirlenmelidir.

Tesisin tasarımı, işletme detayları, atık arıtma sistemleri ve tesisteki uygulamalar işletim esnasında çevreye salınan radyonüklitlerin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Benzer nitelikteki tesislerden elde edilen veriler doğrudan kullanılabilir ancak alana özgü faktörler dikkatlice düşünülüp değerlendirilmelidir.

Nükleer güç santrali ya da benzer önemli nükleer tesislerin inşasından önce mimar ve mühendislerin önerileri çevresel radyolojik etkileri azaltmaya yardımcı olabilir. Radyonüklitler ve tüm potansiyel salınım yolları düşünülerek gerekli önlemler alınmalıdır. Örneğin bir reaktörde korda ya da zırhta oluşan aktivasyon ürünleri bazen ihmal edilir ancak bunlar reaktör faaliyete geçtikten uzun yıllar sonra önemli birer radyoaktivite kaynağı olurlar. Bundan dolayı örnekleme sıklığı ve tipi salınımın moduna bağlıdır. Sürekli, salınımların kontrolü için bekletme tanklarından rutin örnekleme

yapılabilir ancak değişken ya da aralıklarla oluşan salınım ürünlerini kontrol etmek için sürekli örnekleme ihtiyacı vardır. Örnekleme programının tasarımı için çevresel taşıma yollarının belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle de tesis çevresindeki mikro çevre ve ekolojik sistem bilgisine ihtiyaç vardır. Esasında element konsantrasyonları ve oranları gibi veriler önceki çalışmalardan elde edilebilir ancak bu değerlerin doğrulanması için bazı testlerin ve deneylerin yapılması tesisin kurulacağı alana uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir (Hoffman vd 1977). Bu nedenle salınım yollarının belirlenebilmesi için önemli türler ve biyotik topluluklar gibi temel ekolojik verilere ihtiyaç vardır. İdeal olanı anahtar türlerdeki biyokonsantrasyon faktörleri deneysel olarak elde edilmelidir. Bu işlem suda yaşayan ve mevsimsel değişiklikler gösteren türler içinde yapılmalıdır. Sıvı ortamındaki kararlı element içeriklerine bakılarak önemli tahminler yapmak mümkündür. Genellikle ötrofik (organik materyalde zengin) sistemler oligotrofik (organik materyalde fakir) sistemlere nazaran daha düşük konsantrasyon faktörlerine sahiptir.

Ayrıca tesisin inşa edileceği sahanın meteorolojik, hidrolojik verileri ile tesis çevresinde yaşayan populasyonun demografik (nüfus) ve beslenme özellikleri gibi temel bilgilere de ihtiyaç vardır. Bölgede yaşayan kişi sayısı, coğrafî ve yaş gruplarına göre dağılım, içme suyu kaynaklarının yerleri, gündelik yaşam alışkanlıkları, ev bahçeleri de dahil olmak üzere tarımsal faaliyetler, yetiştirilen meyveler, avcılık ya da balıkçılık gibi faaliyetlerin bilinmesi önemli taşıma yollarını belirlenmesi açısından önemlidir. Bunun için bölgede evden eve dolaşıp gerekli bilgiler toplanabilir (Kathren 1984b).

Detaylı meteorolojik ve klimatolojik parametrelerle ilgili veriler kritik salınım yollarının belirlenmesi ve uygun bir örneklem programının hazırlanması açısından önemlidir. Mevsimsel değişiklikleri yeterince yansıtmak için minimum bir yıllık veriye ihtiyaç vardır. Benzer şekilde doğal fon radyasyonunun da minimum bir yıl tercihen 2 ya da 3 yıl takip edilmesi gerekir. Verilerin tamamen tesisin inşa edileceği sahadan alınması çok önemlidir zira yakın çevredeki istasyonlardan alınan veriler çok farklılık gösterebileceği için uygun değildir.

Meteorolojik verilerden rüzgar hızı frekans dağılımı hava örneği toplama cihazlarının ve dozimetrelerin konumlarını belirlemek açısından önemlidir. Rüzgar hızı genellikle günlük ve mevsimlik farklılıklar gösterir bu nedenle örneklem noktalarının belirlenmesine yardımcı olacak uygun rüzgar gülleri hazırlanmalıdır. Atmosferik kararlılık verileri tesis etrafındaki çeşitli bölgelerdeki temel radyonüklit konsantrasyonlarını ve seyreltme oranını belirleme açısından önemlidir. Yağış formları da spesifik salınım yollarının ve örneklem gereksinimlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Meteorolojik veriler genel olarak 2 ya da 3 farklı yüksekliğe yerleştirilmiş kuleler yardımıyla toplanır. Ayrıca uydu verilerinden yağış miktarı verileri de alınabilir.

Sahanın ve çevresini topografya verileri gözlem noktalarının belirlenmesi için büyük öneme sahiptir. Hava örneklerini toplamak için tepeler ya da yüksek yerler daha uygundur. Kanallanma, vadi eğimi, deniz meltemleri gibi faktörler hava örneklerini toplamak için lokasyonları seçerken etkilidir.

Yakın su kaynaklarının büyüklüğü, derinliği, akış karakteristikleri gibi hidrolojik veriler çevresel gözetim programlarının geliştirilmesinde önemlidir. Mümkünse gölet ve göl gibi kapalı havzaların devirdaim hızı deneysel olarak belirlenmelidir. Buralardaki sedimentlerin özellikleri de çeşitli radyonüklitleri tutmaları ve besin zinciri ya da salınım yollarındaki radyoaktivite rezervuarı olmaları açısından önemlidir. Bu su kaynaklarının içme suyu, sulama suyu ya da dinlenme bölgesi olarak kullanıldığı aşikâr olmasına rağmen yayılım mekanizmasındaki rollerine gereken önem verilmez. İçme ya da sulama amaçlı kullanılan yeraltı sularının durumlarının da değerlendirilmesi gerekir.

Temel çevresel ve populasyon verileri toplandığında insanlara en fazla dozu verecek kritik salınım mekanizmaları belirlenebilir. Burada kritik toplumsal grupların ihmal edilmemesine dikkat edilmelidir. Örneğin okul, hastane, sağlık ocağı, hapishane gibi sürekli belli bir populasyonun bulunduğu yapılara özel önem verilmelidir.

Kritik salınım yollarının belirlenmesinden sonraki basamak olağan ve olağan dışı işletim koşullarında kritik toplum gruplarının alacakları dozun değerlendirilmesi için ölçüm kriterlerinin belirlenmesidir.

Bu aşamada örneklemin yapılacağı alan ve besin türleri çevresel etki, örnek miktarı, örnek sayısı, örnekleme tekniği ve sıklığı gibi detaylar mevsimsel değişiklikleri de izleyebilecek şekilde belirlenmelidir. Ayrıca uygun analitik teknikler de belirlenmelidir. Kritik ölçüm yollarının belirlenmesinden sonra doz ve doz eşdeğerine katkıda bulunacak tüm faktörleri içeren uygun ikincil yollar ve ölçüm kriterleri de belirlenmelidir (Kathren 1984b).

Son olarak çevresel doz değerlendirmesi için bir tablo oluşturmaktır. Harici radyasyon dozları genellikle belirli lokasyonlarda uygun dozimetrelerle ölçülür. Doğrudan ölçümün mümkün yada uygulanabilir olmadığı durumlarda harici doz değerleri salınım verileri kullanılarak hesaplanabilir.

Dahili dozlar ise beslenme ve solunum yoluyla alınan spesifik radyonüklitlerin havadaki, sudaki ve besin maddelerindeki konsantrasyonları kullanılarak hesaplanır.

2.9. Literatür Özeti

Çevredeki doğal ve yapay radyoaktiviteyi gözlemek yeni bir olay değildir ve tarihsel gelişimi radon tedavi merkezlerinde yapılan çalışmalarla 1900'li yıllara dayanmaktadır. 1930 ve 1940'lı yıllarda madencilerin radon ve ürünlerini solumakla

aldıkları dozlar için sınırlama yapmak amacıyla kapsamlı ölçümler başlatılırken, 1945 yılı ve sonrasında nükleer denemeler ve nükleer güç üretimini takiben çevredeki yapay radyonüklitler için araştırmalar genişletilmiştir.

ICRP60 Raporunda insanların doğal radyasyon kaynaklarından alacakları dozun yıllık 1 mSv'ten az olması önerilip, müsaade edilebilir yıllık etkin doz eşdeğeri 5 mSv olarak verilmiştir (ICRP 1990). İki farklı yoldan doğal radyasyona maruz kalınabilir; bunlardan birincisi solunum yoluyla (havadaki radon gazı) ve beslenme esnasında vücuda alınan doğal radyonüklitlerden kaynaklanan içsel maruz kalma, ikincisi ise kozmik ışınlar, kozmojenik ve karasal radyonüklitlerin kaynaklanan dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR 1982, 1988 ve Yaprak 1999).

UNSCEAR 2000 raporlarında maruz kalınan doğal radyasyon dozları açısından coğrafi ve jeolojik koşulların dünya genelinde normal dozlar ürettiği ve dünya nüfusunun %25'nin yıllık 1 mSv'in altında, %65'nin yıllık 1-3 mSv arasında ve %10'unun yıllık 3 mSv ve üzerinde etkin doz eşdeğerine maruz kaldığı belirtilmektedir. Bu sonuçlara göre, dünya nüfusunun %90'ının (yıllık etkin doz eşdeğerinin 3 mSv ve altında) normal alanlarda yaşarken, %10'luk kısmının yüksek doğal radyasyonlu alanlarda yaşadığı anlaşılmaktadır (Yaprak 1999).

Kozmik ışınlardan alınan etkin doz eşdeğeri dünya ortalaması UNSCEAR 1993 Raporunda, $380 \mu\text{Sv} \cdot \text{y}^{-1}$ verilmektedir. Bu değer deniz seviyesinde $270 \mu\text{Sv} \cdot \text{y}^{-1}$ olarak tahmin edilmektedir. Ancak, denizden yüksekliğin fonksiyonu olarak artan kozmik radyasyonun, New Mexico (2240 m'de 17.3 milyon nüfus) ve Quito, Ekvator (2840 m'de 11 milyon nüfus) ve La Paz, Bolivya (3900 m'de 1 milyon nüfus) gibi yüksek rakımlı büyük şehirlerde, deniz seviyesine göre 3-8 kat daha fazla kozmik ışın dozu ürettiği gözlenmektedir (UNSCEAR 1993).

Karasal orijinli doğal radyasyonun kaynağı, dünyanın başlangıcından beri (4.5×10^9 yıl) yer kabuğunda var olan primordial radyonüklitlerdir. Radyolojik risk açısından en önemli primordial radyonüklitler ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ile ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktif serilerinin bozunum ürünleridir. ^{87}Rb ve ^{235}U diğer primordial radyonüklitler olup, bunların insanların aldığı doza katkısı ihmal edilebilecek kadar azdır (Yaprak 1999).

Çizelge 2.6'dan normal alanlarda, doğal kaynaklardan alınan toplam yıllık etkin doz eşdeğerinin 2.4 mSv olduğu ve bu dozun yaklaşık üçte ikisinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinden alınan içsel maruz kalmadan üçte birinin ise dışsal maruz kalmadan kaynaklandığı görülmektedir. Yüksek radyasyonlu alanlarda ise bu oranlar doğal radyasyon kaynaklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Granit yapılar, volkanik alanlar, monanzit içeren sahil kumları, vb. yüzey toprakları jeolojik kökenlerinden dolayı yüksek dışsal maruz kalma, sıcak/soğuk su kaynak suları ve/veya yapı materyalleri içerdikleri Ra-Rn konsantrasyonundan dolayı yüksek içsel maruz kalma, deniz seviyesinden yükseklik ise yüksek kozmik ışın dozlarına maruz kalma oranlarını artırmaktadır (Yaprak 1999).

Çizelge 2.6. Normal ve yüksek doğal radyasyonlu alanlar için yıllık etkin doz eşdeğerleri (UNSCEAR 1993)

Doğal Radyasyon	Yıllık Etkin Doz	Eşdeğeri (mSv)
	Normal Alanlar	Yüksek Radyasyonlu Alanlar (HLNRA)
Dışsal Maruz Kalma		
Kozmik Işınlr	0.38	2.01
Karasal Radyasyon	0.46	4.3
İçsel Maruz Kalma		
KozmojenikRadyonüklitler	0.01	0.01
Karasal Radyonüklitler	0.23	0.6
Radon*	1.25	10.1
Toron	0.07	0.1
Toplam	2.4	17.1

*Karasal doğal radyasyondan kaynaklanan etkin doz eşdeğerinin yaklaşık %50'sini, ^{222}Rn ($t_{1/2}= 3.85$ gün) ve alfa yayımlayıcı bozunum ürünlerinin solunması ile içsel maruz kalma sonucu alınan doz oluşturmaktadır.

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan yapay radyoaktivite, 1945 ve sonrasındaki 20 yıl boyunca yapılan nükleer silah denemeleri ile başlamıştır (Gaso vd 1998). Nükleer silah testleri sonucu açığa çıkan radyoaktivitenin oluşturduğu toplam etkin doz eşdeğeri ^{90}Sr ve ^{137}Cs 'nin küresel depozisyonundan yararlanılarak belirlenmektedir (UNSCEAR 1982). 1981 yılı sonunda atmosferde yapılan nükleer denemeler sonucu maruz kalınan etkin doz eşdeğerinin 3.8 mSv olduğu tahmin edilmektedir. UNSCEAR 1988 raporunda nükleer güç santrallerinden kaynaklanan kollektif etkin doz eşdeğeri 12 manSv , nükleer yakıt çeviriminden maruz kalınan kollektif etkin doz eşdeğeri 4 manSv ve büyük çoğunluğu radon' dan kaynaklanmak üzere nükleer katı atıklardan kaynaklanan kollektif etkin doz eşdeğeri 200 manSv olarak tahmin edilmektedir.

Nükleer materyallerin üretimi, nükleer güç reaktörleri, nükleer yakıt çevrim tesisleri, nükleer atık geri kazanım tesisleri ve nükleer atıkların yanı sıra Kuzey yarım kürede ciddi bir radyoaktif kontaminasyona neden olan Çernobil nükleer kazası ve diğer nükleer felaketler çevresel radyoaktiviteyi arttırmıştır (Yaprak 1999).

Çernobil kazasında açığa çıkan çeşitli radyonüklitler arasında, ^{137}Cs , insanların aldığı efektif doza olan önemli katkısı, uzun yarı ömrü ve ölçüm kolaylığı nedenleri ile toprak kontaminasyonu için referans radyonüklit olarak seçilmiştir. Çernobil sonrası, atmosferdeki temel radyoaktif bileşen olan ^{137}Cs aktivitesinin 70 PBq olduğu ve ilk yıl bu kaynaktan maruz kalınan etkin doz eşdeğerinin Bulgaristan için 760 μSv , Yunanistan için 590 μSv , Romanya için 570 μSv , İtalya için 300 μSv ve Türkiye için 290 μSv olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR1988). Ayrıca bu küresel ölçekli kontaminasyon sonucu ^{137}Cs yüzey aktivite yoğunluğu Türkiye için 4 kBq/m² ve Kıbrıs için 0.6 kBq/m² olarak tahmin edilmektedir (UNSCEAR 1988).

Yukarıda sözü edilen doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının çevrede oluşturduğu radyoaktivite düzeylerinin saptanmasına yönelik radyolojik gözlem çalışmalarının temel amacı (Yaprak 1999, Yaprak vd 2004);

- 1) insan sağlığı açısından radyolojik risk tahminine yönelik “KORUMA” ,
- 2) gelecekte radyoaktif kirliliğin değişiminin değerlendirilmesine ve izlenmesine yönelik “KONTROL” ve
- 3) radyonüklitlerin topraktan çevreye ve biyolojik sisteme hareketi ile ilgili radyoekolojik bilgi elde etmeye yönelik “ARAŞTIRMA” yapmak olarak özetlenebilir.

Çevresel radyoaktivite üzerine Türkiye’de ve dünyada yapılan çalışmaların büyük ölçüde karasal doğal radyasyon ve bu kaynaklardan insanların aldıkları dozlar ve sağlık riskleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu anlamda, WHO, ICRP, ICRU, IAEA gibi sağlık, radyasyondan korunma ve radyasyon güvenliği alanında yetkili uluslararası organizasyonlar tarafından sağlık, radyasyon güvenliği ve dünya barışını koruma amacıyla yayınlanan ilgili mevzuatı ve ICRP tavsiyelerini dikkatle takip ederek, dünyanın çeşitli bölgelerinden gelen veriler ışığında günümüzdeki ve gelecekteki iyonize radyasyon kaynakları, oluşturdukları radyasyon dozları ve etkileri hakkında ki hesap ve tahminlerini raporlar halinde sunan UNSCEAR raporlarına dayalı olarak Çizelge 2.7 derlenmiştir. Bu Çizelge, son 20 yılda dünya nüfusunun %70’ini kapsayan ölçüm sonuçlarına göre, yüzey topraklarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarını ve buna dayalı olarak bina dışı ortamda dışsal maruz kalma sonucu tahmin edilen doz hızlarını vermektedir (Yaprak 1999).

Çizelge 2.7. Karasal gama radyasyonuna dışsal maruz kalma (UNSCEAR 2000)

Radyonüklit	Topraklarda Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonu a/(Bqkg ⁻¹)	Doz Dönüşüm Katsayıları b/(nGyh ⁻¹ /Bqkg ⁻¹) (yaş ağırlık)	Havada Edilen Gama Doz Hızları a/(nGyh ⁻¹)	Absorbe Doz c/(mSvy ⁻¹)
40K	400(420)	0.0417 (0.0414)	17(18)	
238U serisi	35 (33)	0.462 (0.461)	16(15)	Doz Dönüşüm Katsayısı: 0.7 SvGy ⁻¹
232Th serisi	30(45)	0.604 (0.623)	18(27)	
Toplam	$D(nGyh^{-1}) = 0.0417A_K + 0.462 ARa + 0.604 ATh$		51(60)	0.07
Tipik Aralık			10-200	

- a/ nüfus ağırlıklı ortalamalar parantez içinde verilmiştir.
- b/ UNSCEAR 1993 Doz Dönüşüm Katsayıları
- Gama doz hızlarının hesaplanmasında, ²³⁸U ve ²³²Th tüm bozunum ürünleri ile dengede, toprak yoğunluğu 1.6g/cm³ ve toprak nem faktörünün 0.81 (kuru ağırlık/yaş ağırlık) varsayımı yapılmıştır.
- c/ insanların zamanlarının % 20’ini bina dışı ortamda geçirdiği varsayımı yapılmıştır.

Bu çizelgeden, topraklarda gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının, ²²⁶Ra için 35 (17-60) Bq kg⁻¹, ²³²Th için 30 (11-64) Bq kg⁻¹ ve ⁴⁰K için 400 (140-850) Bq kg⁻¹ ve karasal gama doz hızının normal alanlar için 51 (10-200) nGyh⁻¹ olduğu görülmektedir.

26 Nisan 1986’ da Çernobil Nükleer Güç Santralinin 4’ncü ünitesinde meydana gelen kaza sonrası meteorolojik koşullarda görülen değişim ve ağır yağış, radyonüklit depozisyonunda ülkeler ve bölgeler arası farklılıklara yol açmıştır. 30 Nisan – 9 Mayıs 1986 tarihlerinde radyoaktif bulutlar Trakya ve Doğu Karadeniz sahil kesimini yoğun bir şekilde kontamine etmiştir. Genellikle yaş depozisyonun olduğu Doğu Karadeniz

dağlarında, TAEK, Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi 1988 yılında yüzey topraklarında (0-5 cm) ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun 4000-4500 Bq/kg ve daha az kontamine olan Karadeniz dağlarının batısında ve iç kısımda ^{137}Cs aktivitesinin 500-1000 Bq/kg olduğunu rapor etmektedir (Ünlü vd 1995). Karadeniz bölgesinde yapılan çalışmalar (Gedikoğlu ve Sipahi 1989, Köse vd 1994, Varinlioğlu vd 1994, Topçuoğlu vd 1993-1995, Ünlü vd 1995, Gökmen vd 1996) ve Çizelge 2.8’te yer alan diğer çalışmalar, uzun bir yarı ömrü (30.2 yıl) olan ^{137}Cs ’nin, atmosferdeki yağışlar ve hava hareketleri ile uzun mesafelere taşındığını ve Türkiye’deki diğer bölgelerini de kuru ve yaş depozisyonla kontamine ettiğini göstermektedir.

11 Mart 2011’de Japonya’nın Honshu Adasında meydana gelen Richter ölçeğinde 8.9 büyüklüğündeki depremin ardından gelen tsunami ile Fukushima Nükleer Santralinde bulunan hafif su kaynar su tipi reaktörlerden üçüne güç sağlayan sistemler devre dışı kalmıştır. 12 Mart’ta reaktördeki patlamalar sonucunda radyonüklitlerin atmosfere salınımının başladığı ve asıl salınımın 15 – 16 Mart tarihlerinde olduğu TEPCO tarafından rapor edilmiştir. Radyoaktif salınımlarının yüksek seviyelere ulaşması sebebiyle bu kaza INES ölçeğinde 7 olarak sınıflandırılmıştır. Kazanın ilk günlerinde ölçümler gezici araçlar aracılığıyla sağlanmıştır. NISA tarafından yapılan hesaplamalara göre kazanın ilk dört gününde gerçekleşen toplam salınım miktarları yaklaşık ^{131}I izotopu için 1.6×10^{17} Bq, ^{134}Cs izotopu için 1.5×10^{18} Bq ve ^{137}Cs izotopu için 1.5×10^{16} Bq olarak hesaplanmıştır (TEPCO 2011a). Bugün kesin olmamakla beraber günümüze kadar gerçekleşen toplam radyoaktif madde salınımı ^{131}I izotopu için yaklaşık 2×10^{17} Bq ve ^{137}Cs izotopu için 2×10^{16} Bq olduğu düşünülmektedir. TEPCO (2011b) tarafından serpinti kuzeydoğuya doğru hareket ederek Pasifik Okyanusu üzerinden daha sonra da Atlantik Okyanusunu geçerek Avrupa kıtasına ulaştığı rapor edilmiştir. İtalya’da yapılmış bir çalışmada 28 Mart’ta toplanan mantarlarda çok düşük de olsa ^{131}I tespit edilmiştir (Barsanti vd 2012). İspanya’da yapılan benzer bir çalışmada filtre örneklerinde $1.63\text{--}3080 \text{ mBq/m}^3$ (^{131}I), $2.8\text{--}690 \text{ mBq/m}^3$ (^{137}Cs), $1.3\text{--}620 \text{ mBq/m}^3$ (^{134}Cs) ve $3.6\text{--}330 \text{ mBq/m}^3$ (^{132}Te) tespit edilmiştir (Baeza vd 2012). 17 Mart – 4 Nisan tarihleri arasında ABD’de yapılan çalışmada hava, su ve süt örneklerinde fizyon ürünü olan ^{131}I , ^{132}I , ^{132}Te , ^{134}Cs ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin seviyelerinin yükseldiği belirtilmiştir (Thakur vd 2012). Rusya’nın Krasnoyarsk şehri ve çevresinden toplanan su ve kar numunelerinin ^{134}Cs (0.095 Bq/L), ^{137}Cs (0.075 Bq/L) ve ^{131}I (0.62 Bq/L) içerdiği, 29 Mart tarihinde Yunanistan’da toplanan yağmur sularında ise 0.7 Bq/L ^{131}I rapor edilmiştir (Manolopoulou vd 2011, Bolsunovsky ve Dementyev 2011).

Özetle, 2023 yılında elektrik üretimine başlaması öngörülen Akkuyu Nükleer Güç Santralinin kısa ve uzun vadeli çevresel etkilerinin belirlenmesi, doğal kaynakların korunması ve çevre kalitesinin yükseltilmesi doğrultusunda sistematik ve kapsamlı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada temel olarak; bugüne kadar ilk defa Mersin ili kıyı şeridinde (Anamur – Tarsus arasında) toprak (71), kayaç (13), kıyı sedimenti (30), tatlı su (10) ve tuzlu su (30) örneklerinin radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin saptanması, olası kirlenici kimliğinin ve kaynağının belirlenmesi ve sonuçların çevresel risk açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Mersin ilindeki çevresel radyoaktivite ve ağır metal düzeyinin saptanarak çevresel risk açısından değerlendirildiği bu çalışmada uygulanan metodoloji aşağıda detaylandırılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı Genel ve Jeolojik Özellikleri

Belirli bir alandan sınırlı sayıda toplanacak numunelerden elde edilecek elemental analiz ve gama spektroskopik sonuçların tüm çalışma alanını temsil etmesi için örneklem yapılacak bölgenin jeolojik yapısı incelenerek harita üzerinde örnek alınacak noktalar belirlenmiştir. Çalışma alanı ile ilgili genel ve jeolojik bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Çalışma alanı genel özellikleri

Mersin ili 36-37° kuzey enlemleri ve 33-35° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin kara sınırı 608 km, deniz sınırı 321 km olup, yüzölçümü 15.953 km²'dir. Mersin ili sınırları içindeki morfolojik yapı dağlık alanlar, aşınım yüzeyleri, taban dolguları-alüvyal düzlükler ve geçiş kuşağı olmak üzere dört ana birlikten oluşur. İnceleme alanının büyük bir kısmını dağlar kapsar. Doğu-batı doğrultusunda uzanırlar ve batıya doğru gidildikçe yükseklik artar. Dağlık alanlarda akarsular “V” şeklinde derin vadiler ile yarılmışlardır. Bitki örtüsü genellikle Akdeniz iklimine uyum sağlayan makidir. 100-1000 m. arasında meşe, 100-1200 m. arasında kızılçam, 1500 m. karaçam ve 2000 m. yüksekliklerde sedir ve ardıç ağaçları yer alır (Anonim 3).

3.1.2. Çalışma alanı jeolojik özellikleri¹

“Çalışma alanında Özgül (1971) tarafından ayrımlanan birlikler Temel Kayalar, Tersiyer'den sonraki birimler ise Örtü Kayaları olarak ayrımlanmıştır. Temel kayaları: **Alanya Birliği:** Metamorfik kayalardan oluşan bu birlik içinde Üst Permian ve daha yaşlı Bağlıca Formasyonu, Üst permian yaşlı Pınarkır formasyonu ve Alt Triyas yaşlı Sivastıyayla Formasyonu bulunmaktadır; **Antalya Birliği:** Erken Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı çökelleri içeren karmaşık yapıli birlik içinde Kambro-ordovisyen yaşlı Çakmak formasyonu, Alt Devoniyen yaşlı Narlıca formasyonu, Üst Permian yaşlı Bıkcı formasyonu, Alt Triyas yaşlı Yöreme formasyonu, Orta-Üst Triyas yaşlı Çamlıca formasyonu ve Mestriştien yaşlı Karaçukur formasyonu bulunmaktadır; **Geyikdağı Birliği:** Metamorfik olmayan çökel birimlerden oluşan göreceli otokton veya paraotokton kabul edilen birlik içinde Alt Kambriyen yaşlı Hacıışaklı formasyonu, Kambriyen yaşlı Ovacıkışıklı formasyonu, Kambro-Ordovisyen yaşlı Ovacık formasyonu, Alt Silüriyen yaşlı Eğripınar formasyonu ve Hırmanlı formasyonu, Üst Silüriyen-Alt Devoniyen yaşlı Karayar formasyonu, Alt Devoniyen yaşlı Sığircık formasyonu, Orta Devoniyen yaşlı Büyükeceli formasyonu, Üst Devoniyen yaşlı Akdere formasyonu, Alt Karbonifer yaşlı Korucuk formasyonu, Orta-Üst Karbonifer

¹ Bu kısımdaki bilgiler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Doğu-Akdeniz Bölge Müdürlüğü İçel İli jeolojik özellikleri adlı rapordan derlemiştir.

yaşlı İmamuşağı formasyonu, Üst Permiyen yaşlı Kırıldağı formasyonu, Alt Triyas yaşlı Kargıcak formasyonu, Orta-üst Triyas yaşlı Kuşyuvası tepesi formasyonu, Alt-Orta Kambriyen yaşlı Sipahili formasyonu, Alt Paleozoyik yaşlı Babadıl grubu, Üst Triyas yaşlı Murtçukuru formasyonu, Alt Jura yaşlı Yanışlı formasyonu, Jura-Alt Kretase yaşlı Tokmar formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Hayvandağı formasyonu bulunmaktadır;



Şekil 3.1. Mersin ilinde bulunan tektonik birlikler ve örtü kayaları (Anonim 4)

Aladağ Birliği: Şelf türü karbonat ve silisli klastik çökel kayalarını içeren birlik içinde Orta-Üst Devonyen yaşlı Tozlucayayla formasyonu, Karbonifer yaşlı Harzadındağı formasyonu, Üst Karbonifer-Permiyen yaşlı Dumlugöze formasyonu, Alt-Orta Triyas yaşlı Dişdöken formasyonu, Üst Triyas yaşlı Gevne formasyonu, Alt-Orta Jura yaşlı Boğuntu formasyonu, Jura-Kretase yaşlı Çakozdağı formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Akçaldağı formasyonu bulunmaktadır; **Bozkır Birliği:** Çeşitli kayaç birimlerinden oluşan olistostromal bir kompleks olan birlik içinde Güneydağı ofiyoliti, Kampaniyen yaşlı Çiftahan formasyonu ve Mestriştiyen yaşlı Bloklı Filiş bulunmaktadır. Örtü Kayaları; Paleo-otokton Kayalar ve Neo-otokton Kayalar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Erken Tersiyer'e ait Belbağ ve Sarıtaş formasyonları Paleo-otokton, Oligosen- Pliyosen yaşlı kayalar ise Neo-otokton Kayalar şeklinde ayrımlanmıştır (Ulu, 1998)" (Anonim 4).

4) Veri analizi yapılarak sonuçlar radyolojik risk açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Bu hedeflere yönelik olarak yürütülen metodoloji aşağıda verilen başlıklar altında detaylandırılmıştır.

3.2.1. Örneklemeye ve örnek hazırlama

Mersin ilinin toplam yüzölçümü 15.853 km² olup sahil uzunluğu girinti ve çıkıntılarla birlikte yaklaşık 321 km'dir. Öncelikle Mersin/Akkuyu ve civarının detaylı jeoloji (1/500.000 ölçekli) haritaları incelenmiş ve bölgede yüzlek veren kayaç örnekleri hakkında detaylı bilgi edinilmiş ve yerinde jeolojik gözlem yapılmıştır. Bu kapsamda Akkuyu ve yakın alanlarında yüzlek veren kaya, toprak ve kıyı sedimentleri ile tatlı su ve deniz suyu örneği alınacak yerler belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında Google Earth (Mayıs 2012) ve 1/500.000'lik MTA jeolojik haritalarından faydalanılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında Akkuyu'nun yaklaşık 5-35 km civarlarından bölgede bulunan jeolojik birimleri temsilen (genel yapıyı yansıtacak ve arazi şartlarının elverdiği sıklıkta) kayaç (13), toprak (71), kıyı sedimenti (30), deniz suyu (30) ve tatlı su (10) örnekleri alınmıştır. Örneklemeler, GPS (koordinat sistemi) kullanılarak alınmış ve Google Earth ve 1/500.000lik jeoloji haritalarına işlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çalışma alanı

Çalışma alanında bulunan birimleri temsil eden toprak, kayaç ve kıyı sedimenti örnekleri, yüzeyden 0-20 cm derinliğe kadar alınmış ve gerekli durumlarda katlı örneklemeye yapılmıştır. Her 10 m²'lik alanda (biri merkezde) 5 alt örnek alınıp birleştirilerek tek örnek oluşturulmuştur (4,5-5 kg). Bölgedeki ana kaya türleri belirlenip jeokimyasal amaçlı örneklendirilmiştir. Örneklemeye yapılan lokasyonlarda Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinden alınan

Geiger Sayacı ile yerden 1 m yükseklikte yüzey gama ölçümleri yapıp kaydedilmiştir. Her bir örnekleme noktası için tanıtım kartı düzenlenmiştir.

Saha çalışmasında toplanan toprak, kayaç ve kıyı sedimenti örnekleri ağzı sızdırmaz poşetlere, sıvı örnekleri ise ağzı sızdırmaz polietilen şişelere konulup etiketlenerek Akdeniz Üniversitesi Fizik Bölümündeki Gama Spektroskopi laboratuvarına taşınmıştır. Toprak ve kıyı sedimenti örnekleri doğal nem seviyesine ulaşması için her bir örnek 3-4 gün süre ile havalandırılmıştır. Saha çalışmasında toplanan toprak ve kıyı sedimenti örnekleri etüvde 105° C'de sabit ağırlığa varıncaya kadar (24-48 saat) kurutulup 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Örnekler homojenize edilerek Marinelli kaplara doldurulmuştur. Tüm numuneler tartılarak etiketlenmiştir. Daha sonra 1 L'lik Marinelli kaplara yerleştirilen toprak ve kıyı sedimenti örneklerinin ağızları gaz sızdırmaz parafilm ile sıkıca kapatılarak ^{226}Ra - ^{222}Rn arasında radyoaktif dengenin oluşması ve Compton bölgesinin kararlı hale gelmesi için (7x3,86gün) yaklaşık 30 gün bekletilmiştir.

Çalışma alanında bulunan birimleri temsil eden, temiz ve her bir birim için karakteristik olduğu kanısına varılan kayaç örnekleri Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Laboratuvarlarında bulunan VONMAK markalı çeneli kırıcıda sırası ile 5, 3 ve 1 aralıklarında kırılarak 0.5 cm'den daha küçük boyuta getirilmiştir. Kırılan ve istenilen boyuta getirilen bu örnekler daha sonra, VONMAK markalı halkalı değirmende 200 mesh elek altına geçebilecek boyuta getirilceye kadar öğütülmüştür. Öğütülen kayaç örnekleri numune kaplarına doldurularak gama spektroskopik ölçümlere hazır hale gelmesi için (7x3,86gün) yaklaşık 30 gün bekletilmiştir.

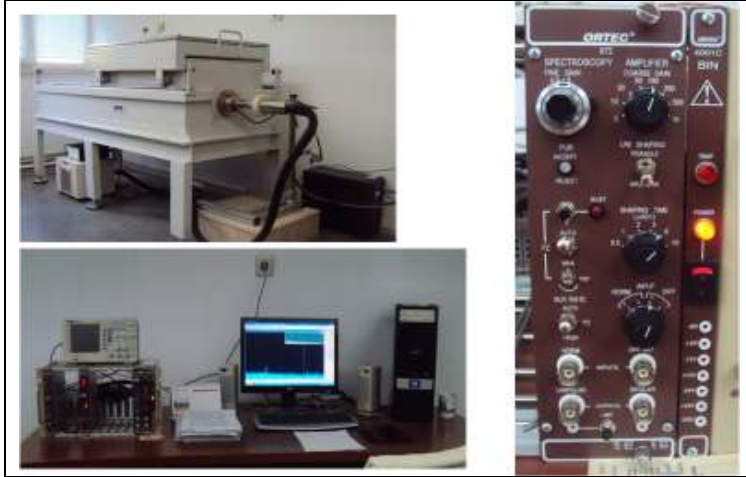
Kıyı sedimentlerinin örneklendiği istasyonlarda, kıyıdan 2 – 5m açıktaki, yaklaşık yüzeyden 0,5m derinlikte ve tabandan 1 m yükseklikten deniz suyu örnekleri ve çalışma alanında Şekil 3.3'te görüleceği üzere Boğsak, Berdan, Atakent-Kapız, Göksu, Babadil, Şehitler, Soğuksu, Bozyazı, Kocaçay ve Uçarıderelerinin drenaj kanallarından tatlı su örnekleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında toplanan örneklerin gama spektrometrik analizleri aşağıdaki bölümler altında detaylanmıştır.

3.3. Radyonüklit Analizleri

3.3.1. HPGe gama spektrometre sistemi

İncelenen materyallerin gamma spektroskopik ölçümleri A.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü Gama Spektroskopi Laboratuvarında bulunan p-tipi, koaksiyel, elektrik soğutmalı, bağıl verimi %40 ve ^{57}Co için 122 keV'de 768 eV FWHM ve ^{60}Co için 1332 keV'de 1.85 keV FWHM değerlerine sahip AMETEK-ORTEC, GEM40P4 model yüksek saflıkta Germanyum dedektörü ile MAESTRO32 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gama spektrometre sistemi dedektör, ön yükselteç, spektroskopi yükselteci, analog dijital dönüştürücü (ADC) sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır. Şekil 3.4'te çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi verilmiştir.



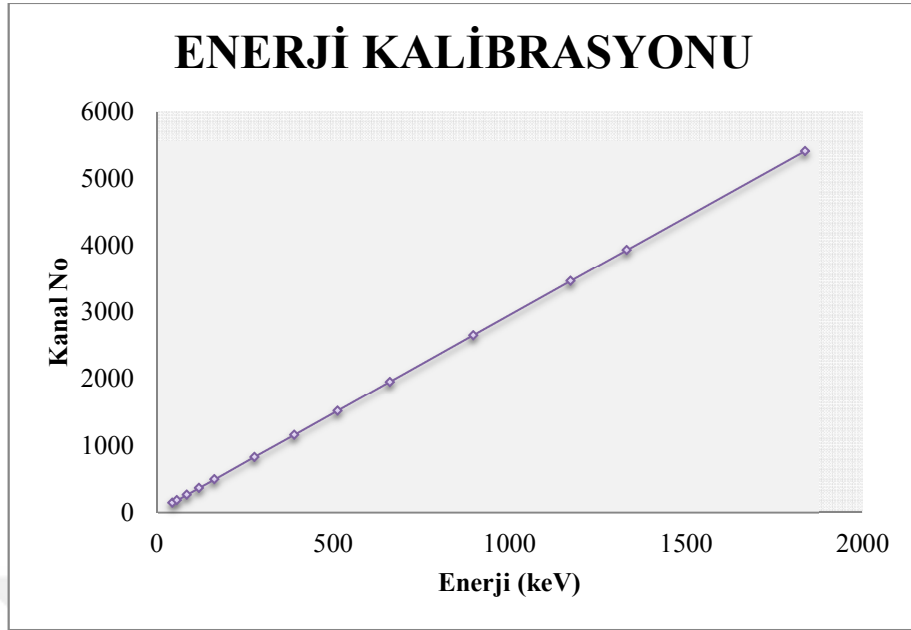
Şekil 3.4. Gama spektrometre sistemi

3.3.2. Sisteminin enerji ve verim kalibrasyonu

Ölçüm sonucunda elde edilen spektrumların analiz edilebilmeleri için, enerji ve verim kalibrasyonu yapılması gerekir. Söz konusu kalibrasyon, ilgili gama enerjilerini kapsayacak şekilde enerjileri ve aktiviteleri bilinen radyonüklitleri içeren standart referans kaynaklar kullanılarak yapılmaktadır. Çalışmada gama spektrometre sisteminin enerji ve verim kalibrasyonu TAEK-ÇNAEM den tedarik edilen enerjileri 47–1836 keV arasında değişen (^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ve ^{60}Co) radyoizotopları içeren UAEA1364-43-2 kodlu (Marinelli geometrisinde) karma kaynak ile yapılmıştır (Çizelge 3.1). HPGe gama spektrometre sistemi için elde edilen enerji ve verim kalibrasyon eğrileri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kalibrasyon kaynağının karakteristik özellikleri

Radyoizotoplar	Enerji (keV)	Yarı ömür(gün)	Yayınlanma oranı (%)
210-Pb	47	8139.5	4.18
241-Am	60	157742.1	36
109-Cd	88	462.6	3.63
57-Co	122	271.8	85.6
139-Ce	166	137.7	79.9
203-Hg	279	46.6	81.5
113-Sn	392	115.1	64.9
85-Sr	514	64.8	98.4
137-Cs	662	11012.1	85.1
88-Y	898	38919.9	94
60-Co	1173	1923.6	99.86
60-Co	1332	1923.6	99.98
88-Y	1836	38919.9	99.4

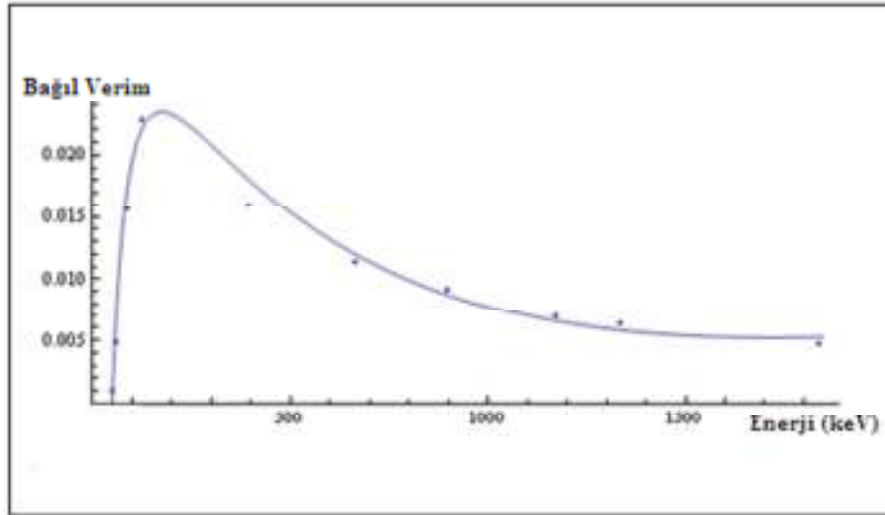


Şekil 3.5. Enerji kalibrasyon eğrisi

Verim Kalibrasyonu: Dedektör verimi, dedektör tarafından işlenerek sayılabilen fotonların sayısının, dedektöre ulaşan fotonların sayısına oranıdır. Dedektörün saydığı gama ışınlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim kalibrasyonunun yapılması gerekir. Dedektörün verimi ölçüm geometrisine bağlıdır. Bu nedenle verim tayininde ölçülecek örnek aynı geometride tek enerjili çoklu radyonüklit içeren standart kaynakların kullanımı tercih edilir. Örnek ve kaynak geometrileri farklı olursa verim düzeltmesi yapılmalıdır. Belirli enerjilerdeki detektör verimleri Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Verim}(\epsilon) = \frac{N}{A \times I_\gamma \times t} \quad (3.1)$$

Burada ϵ ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, N; ilgilenilen enerjideki toplam sayım (sayım), t; sayım süresi (saniye), A; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın aktivitesi (boz/s), I_γ ; gama ışınının bolluğu'dur.



Şekil 3.6. Verim kalibrasyon eğrisi

3.3.3. Minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA)

Minimum dedekte edilebilen aktivite, belli koşullar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum dedekte edilebilen aktivite (MDA) Denklem 3.2'deki (Curie 1968) ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MDA = \frac{2,71 + 4,65 \times \sqrt{N}}{\epsilon \times Y \times t \times m} \quad (3.2)$$

Burada N; art-ortam sayımı, t; sayım zamanı, Y; yayınlanma olasılığı, m; kütle ve ϵ ; tam enerji pik verimdir.

Çizelge 3.2. HPGe gama spektrometre sisteminin MDA değerleri

Ana Nüklit	Ürün Nüklit	Enerji (keV)	MDA (Bq/kg)
²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	351.9	0.36
²²⁶ Ra	²¹⁴ Bi	609.3	0.41
²³² Th	⁵⁸³ Tl	583.8	0.35
²³² Th	²²⁸ Ac	911.2	0.36
⁴⁰ K		1460.1	4.61
¹³⁷ Cs		661.6	0.04

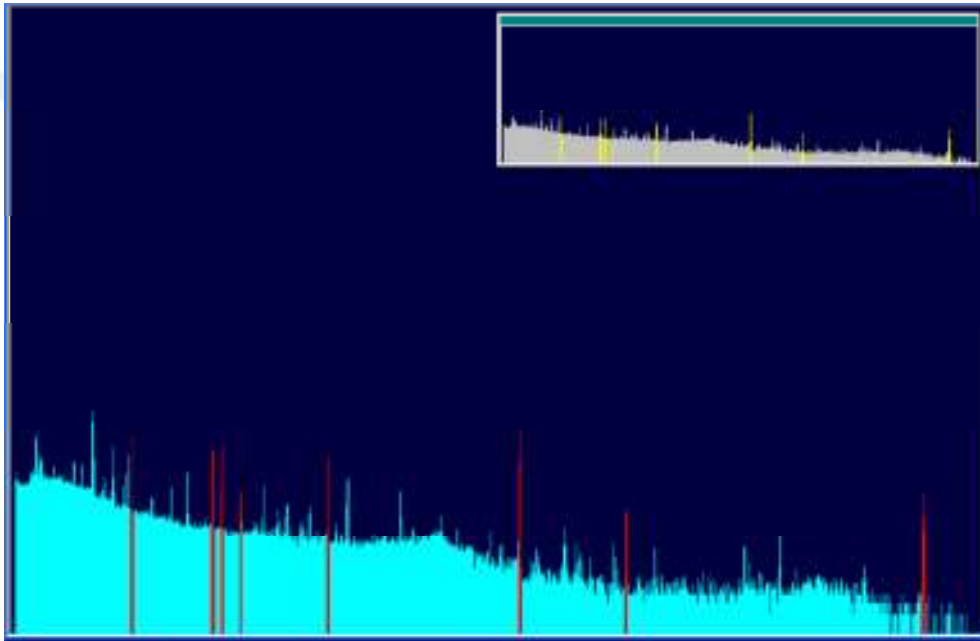
3.3.4. Spektrum analizi

Örneklerin gama spektrumlarında, ²²⁶Ra ve ²³²Th aktivite konsantrasyonları ²³⁸U ve ²³²Th bozunum serilerindeki ürün radyonüklitlerden yayımlanan ²¹⁴Pb; 352 keV, ²¹⁴Bi; 609 keV, ²²⁸Ac; 911 keV, ²⁰⁸Tl; 583 ve 2615 keV enerjili pikler, ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla 662 keV ve 1461 keV enerjili pikler kullanılarak

belirlenmiştir (Şekil 3.7). Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları Denklem 3.3 kullanılarak tayin edilmiştir.

$$A = \frac{N/t}{\epsilon \times I_\gamma \times m} K \quad (3.3)$$

Burada A; ilgilenilen radyonüklitin aktivitesi (Bq/kg), N; ilgilenilen enerjideki toplam net sayım (Piknet alanları, toplam alandan art-ortam alanı çıkarılarak elde edilmiştir), t; sayım süresi (saniye), ϵ ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, I_γ ; gama ışınının bolluğu ve m; örnek kütlesidir. K ise öz soğurma (K_o), doğru zamanlı çakışma (K_k), radyoaktif bozunma (K_b), ölçüm süresi (K_c) ve rastgele yığılma (K_r) düzeltme faktörlerini içeren düzeltme katsayısıdır. K düzeltme katsayısı, K_o ve K_k ile doğru K_b , K_c ve K_r ile ters orantılıdır.



Şekil 3.7. 1 nolu toprak örneğinin gama spektrumu

3.4. Radyolojik risk parametreleri

Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq}): ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K in çevrede dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktivitelerinden radyasyona maruz kalmayı standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}) aşağıdaki ifade ile tanımlanmaktadır (Beretka ve Mathew 1985).

$$Ra_{eq} = C_U + 1.43 C_{Th} + 0.07 C_K \quad (3.4)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg olarak spesifik aktiviteLERİDİR.

Soğurulan Gama Doz Hızı (D): Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır (UNSCEAR 2000).

$$D = 0.621 C_{Th} + 0.462 C_U + 0.0417 C_K \quad (3.5)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir.

Yıllık Etkin Doz (AED): Soğurulan doz için dönüşüm faktörü (0.7 Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0.2) (UNSCEAR 2000) dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\text{Etkin Doz Hızı (mSv/y)} = \text{Doz Hızı (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte doz dönüşüm katsayısı 0.7 Sv/Gy ve bina dışı ortamda maruz kalma faktörü 0.2 olarak alınmıştır.

Dış Zarar İndeksi (H_{ex}): Beretka ve Mathew (1985) tarafından tanımlanan dış zarar indeksi;

$$H_{ex} = C_U/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \quad (3.7)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için H_{ex} değeri 1'den küçük olmalıdır.

3.5. Yüzey Gama Doz Hızı Ölçümleri

Toprak, kayaç, kıyı sedimenti ve su örneklerinin alındığı noktalarda, TAEK ÇNAEM'den alınan portatif Geiger Sayacı ile yerden 1m yüksekte toplam gama doz hızı ölçülmüştür. Her bir ölçüm 5 kez tekrarlanarak ortalama gama doz hızı belirlenmiştir.

3.6. Sıvı Numunelerinin Toplam Alfa-Beta Ölçümleri

Çalışmada incelenen 30 adet deniz suyu ve 10 adet tatlı su örneğinin toplam (Gross) alfa ve toplam beta aktivite ölçümü için (Bitlis Eren Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan) dört dedektörlü düşük seviye α/β sayacı kullanılmıştır (Şekil 3.8). Dedektörler ultra ince pencere, gaz akışlı pencere tipidir. Alfa ve beta enerji kalibrasyonu için sırasıyla ^{241}Am (3,78 kBq) ve ^{90}Sr (3,76 kBq) standartları kullanılmıştır. Sistemin ortalama sayım verimi (alfalar için) %33–40, (betalar için) % 95 – 98 aralığındadır.



Şekil 3.8. Protean marka Gross Alfa-Beta cihazı

Toplam alfa ve toplam beta ölçümlerinde her bir sıvı örneği için (Krieger Metodu), 500 mL sıvı (yaklaşık 5mL kalana kadar) buharlaştırılmış ve elde edilen kalıntı ($<25\text{mg/cm}^2$) planşete aktarılarak orantılı sayaçta (600 dakika) sayılmıştır. Toplam alfa, beta ölçümleri için art-ortam sayım süresi 720 dakikadır. Her bir örnek 3 kez sayılmış ve ölçüm sonuçları istatistik hatasıyla birlikte ortalama değer olarak verilmiştir.

3.7. Jeokimyasal Analizler

Toprak/kaya jeokimyasına ilişkin bölgesel gözlemler yapay kontaminasyon kaynaklarının etki derecesini ve büyüklüğünü saptamak için kullanılır. Topraklardaki element konsantrasyonları, ana materyal (temel kayaç), atmosferik depozisyon, gübreleme, zirai kimyasallar, organik atıklar ve diğer inorganik kirleticilerden (maden yatakları ve atıkları) kaynaklanmaktadır. Çalışmanın amacı doğrultusunda Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve yakın çevresinden genel yapıyı temsil edecek şekilde alınan toprak ve kayaç örneklerinin jeokimyasal analizleri ACME (KANADA) Laboratuvarında hizmet alımı ile yaptırılmıştır. Bu kapsamda incelenen örneklerin majör (Al_2O_3 , CaO , FeO , K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_5 , SiO_2 , TiO_2) ve iz (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) element konsantrasyonları belirlenmiştir.

3.8. Toprak Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çalışma kapsamında toprak örneklerinde saptanan kararlı ve kararsız elementlerin aktivite konsantrasyonları ile toprak parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmak üzere Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve yakın çevresinden alınan 30 adet toprak örneğinin (toprak reaksiyonu (pH), kalsiyum karbonat (CaCO_3), eriyebilir toplam tuz ve bünye) fiziksel analizleri Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yaptırılmıştır.

Toprak Reaksiyonu (pH): Analize hazır hale getirilen toprak örneklerinin pH'ları 1:2.5 oranında toprak su karışımında Jackson (1967), tarafından bildirildiği şekilde 20 g toprak alınarak üzerine 50 ml saf su ilave edildikten sonra toprak su karışımı düzenli aralıklarla karıştırılmış ve 30 dakika sonra okuma yapılmıştır (Jackson 1967).

Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$): Toprak örneklerinin kalsiyum karbonat konsantrasyonları Çağlar (1949), tarafından bildirildiği şekilde Scheibler Kalsimetresi ile tayin edilmiştir (Çağlar 1949).

Eriyebilir Toplam Tuz: Jackson (1962), tarafından bildirildiği şekilde 20 g toprak alınarak üzerine 50 ml saf su ilave edildikten sonra toprak su karışımı düzenli aralıklarla karıştırılmış ve 30 dakika sonra elektrik iletkenlik kondaktivite aletiyle ölçülmüştür (Jackson 1962).

Bünye: Bouyoucos (1955), tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre % kum, silt ve kil miktarları belirlenerek sonuçlar bünye üçgenine uygulanmış ve toprak bünye sınıfları saptanmıştır (Bouyoucos 1955).



Şekil 3.9. Bünye Üçgeni

Çalışma alanındaki toprakların (pH, toplam tuz (%), kireç (%), kum (%), kil (%), mil (%) ve bünye) fiziko-kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri

Örnek No	pH	EC(dS/m)	% $CaCO_3$	%Kum	%Kil	%Mil	Bünye
1	8,5	96	4,87	23	21,44	55,56	Siltli Tın
2	7,7	117	1,30	55	21,44	23,56	Kumlu Killi Tın
3	8,2	82	4,06	47	21,44	31,56	Tın
4	8,1	388	20,12	53	21,44	25,56	Kumlu Killi Tın
5	8,5	85	3,25	49	17,44	33,56	Tın
6	8,3	201	40,41	11	51,44	37,56	Kil
8	8,1	182	43,33	11	37,44	51,56	Siltli Killi Tın
10	8,3	115	4,71	25	39,44	35,56	Killi Tın
11	8,3	146	48,68	51	29,44	19,56	Kumlu Killi Tın
16	8	288	28,89	45	17,44	37,56	Tın
19	8,3	182	35,70	41	29,44	29,56	Killi Tın
21	8,1	234	38,14	29	37,44	33,56	Killi Tın
24	7,9	314	19,47	63	13,44	23,56	Kumlu Tın

(Devamı arkada)

Çizelge 3.3' ün devamı

28	8,2	115	13,96	67	11,44	21,56	Kumlu Tın
32	7,1	42	0,81	69	15,44	15,56	Kumlu Tın
36	6,5	799	0,97	41	13,44	45,56	Tın
40	7,7	78	24,18	51	11,44	37,56	Tın
45	8,5	89	2,27	49	15,44	35,56	Tın
46	8,3	109	2,43	49	25,44	25,56	Kumlu Killi Tın
47	8,5	133	38,14	51	25,44	23,56	Kumlu Killi Tın
48	8,9	91	44,63	33	27,44	39,56	Tın
49	8,1	67	1,30	43	19,44	37,56	Tın
50	8,1	169	45,44	45	17,44	37,56	Tın
52	8,5	101	64,10	53	17,44	29,56	Tın
53	7,6	776	8,93	55	11,44	33,56	Kumlu Tın
54	8,3	121	40,57	53	17,44	29,56	Tın
55	8,1	181	64,91	27	25,44	47,56	Tın
65	8	165	29,21	55	15,44	29,56	Kumlu Tın
68	8,1	167	5,68	45	23,44	31,56	Tın
71	8,1	123	1,14	45	21,44	33,56	Tın

Çalışma alanındaki toprakların (pH, toplam tuz (%), kireç (%), kum (%), kil (%), mil (%) ve bünye) fizikokimyasal özellikleri incelendiğinde;

Toprak reaksiyonu (pH): Toprakların pH'ları incelendiğinde %7'sinin nötr, %10'unun hafif alkali, %63'ünün alkali ve %20'sinin kuvvetli alkali özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Kalsiyum karbonat (CaCO₃): Toprakların kireç içerikleri incelendiğinde %7'sinin az kireçli, %30'unun kireçli, %20'sinin orta ve fazla kireçli, %43'ünün ise çok fazla kireçli olduğu belirlenmiştir.

Eriyebilir toplam tuz: Toprakların tuz oranı incelendiğinde %93'ünün tuzsuz %7'sinin hafif tuzlu olduğu belirlenmiştir.

Bünye: Toprakların % kum, silt ve kil miktarları bünye üçgenine uygulandığında %47'sinin tınlı, %17'sinin kumlu tınlı, %17'sinin kumlu killi tınlı, %10'unun killi tınlı, %3'ünün killi, %3'ünün siltli tınlı ve %3'ünün siltli killi tınlı yapıda olduğu saptanmıştır.

3.9. Haritalama ve İstatistiksel Analizler

Radyoaktivite değerlerinin ölçüldüğü noktalarda El-GPS aleti kullanılarak nokta koordinat bilgileri de elde edilmiştir. Ölçülen coğrafik koordinat değerleri ED50 (European Datum 1950) ve UTM (Universal Transversal Mercator) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular Surfer 11.0 yazılımı kullanılarak ölçüm yapılan nokta koordinatları ile bu noktalara ait radyoaktivite ve element konsantrasyon değerleri interpolasyona tabi tutularak haritalanmıştır.

Çalışmada elde edilen verilerin aritmetik ve geometrik ortalaması, medyanı, minimum ve maksimum değerleri, standart sapmaları, skewness (çarpıklık) ve kurtosis (basıklık) değerleri, %25 ve %75 dağılım değerleri ile frekans dağılımlarını içeren tanımlayıcı istatistik analizleri SPSS 20 yazılımı ile yapılmıştır. Bu kapsamda çalışmada toplanan örneklerin radyoaktif ve kararlı element konsantrasyonları arasındaki olası ilişkiler Pearson korelasyonu ile incelenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Mersin İli Akkuyu mevkiine kurulacak ülkemizin ilk nükleer güç santralinin çevreye ve tesis çevresinde yaşayan insanlara olası etkilerini değerlendirmek için yüzey topraklarında, kayalarda, kıyı sedimentlerinde, tatlı su ve deniz suyu örneklerinde doğal ve yapay radyonüklit aktivite konsantrasyonları ile majör ve iz element konsantrasyonları saptanmıştır. Çalışmanın amacına uygun olan bu girişim, bölgelere ait radyolojik ve ekolojik veri tabanının oluşturulmasını sağlamıştır.

Mersin ili ve çevresinde gerçekleştirilen bu radyo-ekolojik çalışma kapsamında genel yapıyı yansıtacak şekilde belirlenen lokasyonlardan sistematik ve kapsamlı olarak toplanan 71 yüzey toprağı, 13 kayaç, 30 kıyı sedimenti, 30 deniz suyu ve 10 tatlı su örneğine ait doğal - yapay radyoaktivite ile majör ve iz element analizlerinde elde edilen bulgular aşağıdaki bölümler altında detaylandırılmıştır.

4.1. Toprak Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

4.1.1. Toprak örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları

Çalışma kapsamında bölgeyi temsil edilecek şekilde sistematik olarak toplanan 71 adet yüzey toprağı örneğinde HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülen doğal ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ve yapay ^{137}Cs radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları ^{226}Ra için 39,53 (9,75 – 258,58) Bq/kg, ^{232}Th için 43,92 (9,18 – 104,88) Bq/kg, ^{40}K için 558,38 (163,95 – 1949,53) Bq/kg ve ^{137}Cs için 8,96 (0,36 – 43,29) Bq/kg olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Toprak örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	AKTİVİTE	KONSANTRASYONU (Bq kg ⁻¹)		
ÖRNEK TÜRÜ: TOPRAK	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
N	71	71	71	60
Ortalama	40	44	558	9
±Ortalama Std	4	3	40	1
Medyan	30	43	459	6
Standart Sapma	36	21	334	9
Geometrik Ortalama	31	39	478	6
Skewness	3,66	0,49	1,59	2
Skewness±Std	0,28	0,28	0,28	0,3
Kurtosis	18,42	-0,23	3,53	4,26
Kurtosis±Std	0,56	0,56	0,56	0,61
Minimum	10	9	164	0,36
Maksimum	259	105	1950	43
Dağılım %25	20	25	311	4
Dağılım %75	44	59	740	12
Frekans Dağılımı	Log-normal	Normal	Log-normal	Log-normal

Akkuyu nükleer güç santrali çevresindeki yüzey topraklarında gözlenen aktivite konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri, standart sapmaları, skewness ve kurtosis değerleri, %25 ve %75 dağılım değerleri ile frekans dağılımları SPSS 20.0 istatistik programı ile derlenerek ilgili tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen dünya ortalamaları ve tipik aralıklar; ^{226}Ra için 35 (17-60) Bq/kg, ^{232}Th için 30 (11-64) Bq/kg ve ^{40}K için 400 (140-840) Bq/kg ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmektedir.

4.1.2. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indeksleri

Yüzey topraklarında ölçülen “ ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ” radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak hesaplanan karasal gama doz hızları, ortalama 68,71 nGyh⁻¹ ile 17,57 - 167,65 nGyh⁻¹ arasında değiştiği gözlenmiştir. Benzer şekilde etkin doz eşdeğeri için soğrulan doz için dönüşüm katsayısı “0.7 Sv/Gy” ve dış ortamda maruz kalma faktörü “0.2” alındığında doz değerleri, 84,26 (22,55 - 205,60) µSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Öte yandan toprak örneklerinin R_{eq} ve dış zarar indeksleri de hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de radyolojik zarar indeksleri ile birlikte yerden 1m yüksekte toplam (yüzey) gama ölçüm sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik verilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprak örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN		RADYOLOJİK	ZARAR	İNDEKSLERİ	
ÖRNEK TÜRÜ: TOPRAK	D (nGy/h)	R_{eq} (Bq/kg)	AED (µSv/y)	H_{ex}	YÜZEY D (nGy/h)
N	71	71	71	71	71
Ortalama	69	145	84	0,39	146
±Ortalama Std	4	8	5	0,02	5
Medyan	66	141	81	0,38	139
Standart Sapma	32	67	39	0,18	45
Geometrik Ortalama	62	131	76	0,35	139
Skewness	0,93	0,92	0,93	0,91	0,71
Skewness±Std	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Kurtosis	0,80	0,79	0,80	0,75	0,77
Kurtosis±Std	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Minimum	18	37	22	0,10	61
Maksimum	168	345	206	0,93	296
Dağılım %25	44	93	54	0,25	113
Dağılım %75	89	188	109	0,51	174
Frekans Dağılımı	Normal	Normal	Normal	Normal	Log-normal

Toprak örnekleri için hesaplanan ortalama karasal doz hızı ile UNSCEAR 2000 raporunda yer alan ortalama doz hızı (60 nGyh⁻¹) mertebesinde olduğu ve normal

alanlar için verilen tipik aralığı ($20-200 \text{ nGyh}^{-1}$) geçmediği görülmektedir. Bulunan etkin doz eşdeğer ortalamasının, UNSCEAR 2000 raporunda verilen ortalama karasal dışsal maruz kalma etkin doz eşdeğeri (0.08 mSvy^{-1}) ile karşılaştırılabilir olduğu ve normal alanlar için verilen tipik aralık ($0.01-0.23 \text{ mSvy}^{-1}$) sınırlarında yer aldığı saptanmıştır. Bu sonuçlar ışığında çalışma bölgesinin normal alanlar içinde yer aldığı saptanmıştır.

Ayrıca doğal hesaplanan Radyum eşdeğer aktivite ($<370 \text{ Bq/kg}$) ve dış zarar indekslerinin (<1) Beretka ve Mathew (1985)'te belirtilen limit ve aralıklarda olduğu ve bu bölgede yaşayan popülasyon için sağlık açısından risk teşkil edecek değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

4.2. Kayaç Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

4.2.1. Kayaç örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları

Çalışma kapsamında bölgenin jeolojik yapısını temsil edecek şekilde toplanan 13 adet kayaç örneğinin HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülen doğal ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ortalamalarının ^{226}Ra için 25,86 ($11,28 - 79,54$) Bq/kg, ^{232}Th için 21,87 ($8,02 - 45,57$) Bq/kg, ^{40}K için 512,02 ($210,70 - 1377,46$) Bq/kg olduğu gözlenmiştir. Kayaç örneklerinde analiz edilen radyonüklitlere ilgili tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kayaç örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	AKTİVİTE	KONSANTRASYONU	(Bq kg ⁻¹)
ÖRNEK TÜRÜ: KAYAÇ	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
N	13	13	13
Ortalama	26	22	512
±Ortalama Std	5	3	89
Medyan	25	23	460
Standart Sapma	18	11	320
Geometrik Ortalama	24	19	441
Skewness	2,38	0,54	1,76
Skewness±Std	0,62	0,62	0,62
Kurtosis	6,62	-0,41	3,87
Kurtosis±Std	1,19	1,19	1,19
Minimum	11	8	211
Maksimum	80	46	1377
Dağılım %25	17	12	281
Dağılım %75	30	30	649
Frekans Dağılımı	Normal	Normal	Log-normal

Yapılan ölçümler sonucunda kayaç örneklerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite değerlerinin UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen dünya ortalamaları ve tipik

aralıkların altında, ^{40}K aktivitesinin ise bu değerler ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmektedir.

4.2.2. Kayaç örneklerinin radyolojik zarar indeksleri

Kayaçlarda ölçülen “ ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ” radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak hesaplanan karasal gama doz hızları, ortalama $47,24 \text{ nGyh}^{-1}$ ile $24,85 - 99,24 \text{ nGyh}^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Benzer şekilde etkin doz eşdeğeri için soğrulan doz için dönüşüm katsayısı “ 0.7 Sv/Gy ” ve dış ortamda maruz kalma faktörü “ $0,2$ ” alındığında doz değerleri, $57,93 (30,48 - 121,71) \mu\text{Svy}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Öte yandan kayaç örneklerinin R_{eq} ve dış zarar indeksleri de hesaplanarak radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kayaç örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	RADYOLOJİK		ZARAR	İNDEKSLERİ
ÖRNEK TÜRÜ: KAYAÇ	D (nGy/h)	R_{eq} (Bq/kg)	AED ($\mu\text{Sv/y}$)	H_{ex}
N	13	13	13	13
Ortalama	47	98	58	0,26
±Ortalama Std	6	13	8	0,03
Medyan	46	92	57	0,25
Standart Sapma	22	45	27	0,12
Geometrik Ortalama	43	89	53	0,31
Skewness	1,09	1,03	1,09	1,03
Skewness±Std	0,62	0,62	0,62	0,62
Kurtosis	1,10	0,81	1,10	0,79
Kurtosis±Std	1,19	1,19	1,19	1,19
Minimum	25	51	30	0,14
Maksimum	99	201	122	0,54
Dağılım %25	26	55	32	0,15
Dağılım %75	58	119	71	0,32
Frekans Dağılımı	Normal	Log-normal	Normal	Normal

Kayaç örnekleri için hesaplanan ortalama karasal doz hızı ile UNSCEAR 2000 raporunda yer alan ortalama doz hızı (60 nGyh^{-1}) altında olduğu ve normal alanlar için verilen tipik aralığı ($20-200 \text{ nGyh}^{-1}$) geçmediği görülmektedir. Bulunan etkin doz eşdeğer ortalamasının, UNSCEAR 2000 raporunda verilen ortalama karasal dışsal maruz kalma etkin doz eşdeğeri (0.06 mSvy^{-1}) ile karşılaştırılabilir olduğu ve normal alanlar için verilen tipik aralık ($0.01-0.23 \text{ mSvy}^{-1}$) sınırlarında yer aldığı saptanmıştır. Ayrıca doğal hesaplanan Radyum eşdeğer aktivite ($<370 \text{ Bq/kg}$) ve dış zarar indekslerinin (<1) Beretka ve Mathew (1985)’te belirtilen limit ve aralıklarda olduğu ve bu bölgede yaşayan popülasyon için sağlık açısından risk teşkil edecek değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

4.3. Kıyı Sedimenti Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

4.3.1. Kıyı sedimenti örneklerinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonları

Çalışma kapsamında bölgeyi temsil edilecek şekilde sistematik olarak toplanan 30 adet kıyı sedimenti örneğinde HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülen doğal ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ve yapay ^{137}Cs radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları ^{226}Ra için 12,16 (4,05 – 21,45) Bq/kg, ^{232}Th için 9,02 (1,83 – 27,9) Bq/kg, ^{40}K için 157,68 (18,97 – 590,31) Bq/kg ve ^{137}Cs için 0,36 (0,07 – 1,00) Bq/kg olduğu gözlenmiştir. Kıyı sedimenti örneklerinde analiz edilen radyonüklitlere ilişkin tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kıyı sedimenti örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	AKTİVİTE	KONSANTRASYONU	(Bq kg ⁻¹)	
ÖRNEK TÜRÜ: KIYI SEDİMENTİ	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
N	30	30	30	30
Ortalama	12	9	158	0,36
±Ortalama Std	1	1	24	0,04
Medyan	12	7	120	0,31
Standart Sapma	4	6	129	0,20
Geometrik Ortalama	11	8	120	0,31
Skewness	0,02	1,88	2,02	1,53
Skewness±Std	0,43	0,43	0,43	0,43
Kurtosis	-0,37	3,91	4,65	3,02
Kurtosis±Std	0,83	0,83	0,83	0,83
Minimum	4	2	19	0,07
Maksimum	21	28	590	1,00
Dağılım %25	9	5	76	0,23
Dağılım %75	15	10	205	0,47
Frekans Dağılımı	Normal	Normal	Log-normal	Log-normal

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen dünya ortalamalarının altında olduğu görülmektedir.

4.3.2. Kıyı Sedimenti örneklerinin radyolojik zarar indeksleri

Kıyı sedimentlerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak hesaplanan karasal gama doz hızları, ortalama 17,76 nGyh⁻¹ ile 7,82 - 51,71 nGyh⁻¹ arasında değiştiği gözlenmiştir. Benzer şekilde etkin doz eşdeğeri için soğrulan doz için dönüşüm katsayısı “0.7Sv/Gy” ve dış ortamda maruz kalma faktörü “0.2” alındığında doz değerleri, 21,78 (9,59 - 63,42) µSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Öte yandan kıyı sedimenti örneklerinin R_{eq} ve dış zarar indeksleri de hesaplanmıştır. Çizelge 4.6’da radyolojik zarar indeksleri ile birlikte yerden 1m

yüksekte toplam (yüzey) gama ölçüm sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kıyı sedimenti örneklerinin radyolojik zarar indekslerine ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	RADYOLOJİK		ZARAR	İNDEKSLERİ	
ÖRNEK TÜRÜ: KIYI SEDİMENTİ	D (nGy/h)	R _{aqq} (Bq/kg)	AED (μSv/y)	H _{ex}	YÜZEY D (nGy/h)
N	30	30	30	30	30
Ortalama	18	37	22	0,10	107
±Ortalama Std	2	4	2	0,01	7
Medyan	15	32	18	0,09	111
Standart Sapma	10	21	12	0,06	40
Geometrik Ortalama	16	33	19	0,09	98
Skewness	2,13	2,11	2,13	2,13	0,17
Skewness±Std	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Kurtosis	5,19	5,13	5,19	5,26	0,58
Kurtosis±Std	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Minimum	8	17	10	0,04	30
Maksimum	52	107	63	0,29	209
Dağılım %25	11	23	13	0,06	85
Dağılım %75	22	46	27	0,12	130
Frekans Dağılımı	Log-normal	Log-normal	Log-normal	Log-normal	Normal

Kıyı sedimenti örnekleri için hesaplanan ortalama karasal doz hızı ile UNSCEAR 2000 raporunda yer alan ortalama doz hızı (60 nGy h^{-1}) karşılaştırıldığında yaklaşık üçte biri olduğu ve normal alanlar için verilen ($20\text{-}200 \text{ nGy h}^{-1}$) değer aralığında kaldığı görülmektedir. Bulunan etkin doz eşdeğer ortalamasının (0.02 mSv y^{-1}), UNSCEAR 2000 raporunda verilen ortalama karasal dışsal maruz kalma etkin doz eşdeğerinin (0.07 mSv y^{-1}) üçte biri olduğu ve normal alanlar için verilen tipik aralık ($0.01\text{-}0.23 \text{ mSv y}^{-1}$) sınırlarında yer aldığı saptanmıştır. Bu sonuçlar ışığında çalışma bölgesinin normal alanlar içinde yer aldığı saptanmıştır.

Ayrıca doğal hesaplanan Radyum eşdeğer aktivite ($<370 \text{ Bq/kg}$) ve dış zarar indekslerinin (<1) Beretka ve Mathew (1985)'te belirtilen limit ve aralıklarda olduğu ve bu bölgede yaşayan popülasyon için sağlık açısından risk teşkil edecek değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

4.4. Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Beta Aktiviteleri

Kıyı sedimentlerinin örneklendiği istasyonlarda, kıyından 2 – 5m açıktaki, yaklaşık yüzeyden 0,5m derinlikte ve tabandan 1 m yükseklikten deniz suyu örnekleri alınmıştır. Çizelge 4.7'de verilen deniz suyu örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivitelerine ilişkin tanımlayıcı istatistik incelendiğinde, toplam alfa ve toplam beta aktivite ortalamalarının sırası ile $0,287 \text{ Bq/L}$ ve $2,484 \text{ Bq/L}$ olduğu gözlenmiştir.

Çalışma alanında Şekil 3.3'te görüleceği üzere Boğsak, Berdan, Atakent-Kapız, Göksu, Babadil, Şehitler, Soğuksu, Bozyazı, Kocaçay ve Uçarı derelerinin drenaj kanallarından tatlı su örnekleri alınmıştır. İncelenen tatlı su örneklerinin toplam-alfa aktivitesi, minimum 7 mBq/L (Babadil) ve maksimum 32 mBq/L (Göksu) olup ortalaması $15,4 \pm 2,4$ mBq/L'dir. Söz konusu örneklerin toplam-beta aktivitesinin ise ortalama $15,9 \pm 4,4$ mBq/L ile (4-40) mBq/L arasına değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.7. Deniz suyu örnekleri toplam alfa ve beta aktivitelere ilişkin tanımlayıcı istatistik

ÇALIŞMA ALANI: MERSİN	TOPLAM ALFA	TOPLAM BETA
ÖRNEK TÜRÜ: DENİZ SUYU	(Bq/L)	(Bq/L)
N	30	30
Ortalama	0,29	2,48
±Ortalama Std	0,02	0,14
Medyan	0,29	2,58
Standart Sapma	0,10	0,79
Geometrik Ortalama	0,27	2,53
Skewness	-0,29	-0,42
Skewness±Std	0,43	0,43
Kurtosis	-0,19	0,61
Kurtosis±Std	0,83	0,83
Minimum	0,06	0,60
Maksimum	0,45	4,09
Dağılım %25	0,22	1,99
Dağılım %75	0,35	2,95
Frekans Dağılımı	Normal	Normal

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Korunma Ajansı (EPA) ve T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından içme suları için tavsiye edilen maksimum radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0,5 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L dir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin belirtilen limitler dâhilinde olduğu ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılabilir olduğu görülmektedir.

4.5. Jeokimyasal Analiz Sonuçları

4.5.1. Toprak ve kayaç örneklerinin majör ve iz element analizleri

Toprak/kaya jeokimyasına ilişkin bölgesel gözlemler yapay kontaminasyon kaynaklarının etki derecesini ve büyüklüğünü saptamak için kullanılır. Topraklardaki element konsantrasyonları, ana materyal (temel kayaç), atmosferik depozisyon, gübreleme, zirai kimyasallar, organik atıklar ve diğer inorganik kirleticilerden (maden yatakları ve atıkları) kaynaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve yakın çevresinden toplanan 30 adet toprak örneğine ait majör (Al_2O_3 , CaO, FeO, K_2O , MgO, MnO, Na_2O , P_2O_5 , SiO_2 , TiO_2) ve iz (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) element konsantrasyonları

ACME KANADA laboratuvarında (ICP-OES metodu kullanılarak) hizmet alımı yolu ile belirlenmiştir. Bu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Toprak örneklerinin majör ve iz element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik

E	N	Ortalama± Std Hata	Medyan	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Al ₂ O ₃	30	14,66 ± 1,55	12,00	8,48	2,06	32,31
CaO	30	5,43 ± 0,90	3,24	4,91	0,30	14,67
FeO	30	5,98 ± 0,58	6,06	3,20	1,74	17,38
K ₂ O	30	4,10 ± 0,34	3,45	1,86	0,94	7,61
MgO	30	2,18 ± 0,37	1,46	2,01	0,43	8,93
MnO	30	0,08 ± 0,03	0,05	0,16	0,01	0,90
Na ₂ O	30	0,23 ± 0,10	0,08	0,53	0,02	2,94
P ₂ O ₅	30	0,09 ± 0,01	0,06	0,08	0,02	0,33
SiO ₂	30	60,47 ± 2,09	61,59	11,45	42,97	77,33
TiO ₂	30	0,06 ± 0,01	0,05	0,07	0,00	0,36
As	30	11,52 ± 1,51	8,65	8,26	2,50	42,70
Cd	30	0,94 ± 0,21	0,58	1,16	0,07	5,12
Cr	30	55,91 ± 10,59	38,25	57,99	6,70	317,20
Cu	30	29,69 ± 3,33	26,74	18,23	6,35	82,31
Hg	30	0,04 ± 0,01	0,03	0,05	0,00	0,30
Ni	30	73,23 ± 10,99	56,00	60,19	10,10	319,10
Pb	30	43,90 ± 18,55	22,11	101,60	3,31	572,90
Zn	30	116,18 ± 36,41	75,90	199,42	19,20	1143,00

Majör elemen konsantrasyonları %, iz element konsantrasyonları ppm olarak verilmiştir.

Çalışma kapsamında Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve yakın çevresinden toplanan kayaç örneklerine ait majör ve iz element konsantrasyonları ACME KANADA laboratuvarında (ICP-OES metodu kullanılarak) hizmet alımı yolu ile belirlenmiştir. Elde edilen element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kayaç örneklerinin majör ve iz element konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik

E	N	Ortalama± Std Hata	Medyan	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Al ₂ O ₃	7	3.62±0.98	4,28	2,59	0,88	7,42
CaO	7	18.44±8.54	10,2	22,61	0,4	51,98
FeO	7	1.06±0.27	0,83	0,71	0,43	2,51
K ₂ O	7	1.37±0.46	0,75	1,26	0,17	3,4
MgO	7	0.75±0.25	0,45	0,66	0,14	2,07
MnO	6	0.04±0.01	0,03	0,03	0,01	0,07

(Devamı arkada)

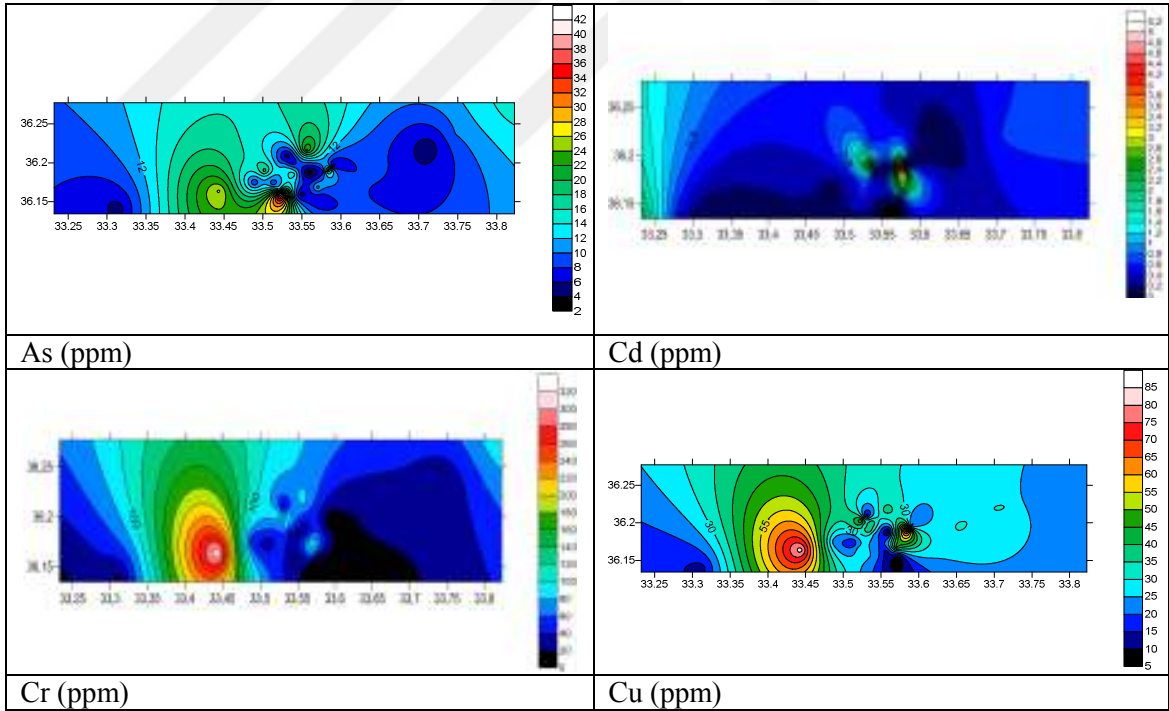
Çizelge 4.9'un devamı

Na ₂ O	7	0,38±0,23	0,06	0,60	0,02	1,6
P ₂ O ₅	7	0,09±0,03	0,08	0,07	0,01	0,21
TiO ₂	7	0,21±0,06	0,19	0,16	0,04	0,4
SiO ₂	7	58,49±14,22	70,57	37,61	2,36	88,29
As	6	4,77±1,46	3,8	3,58	1,2	10,3
Cd	2	0,40±0,20	0,4	0,28	0,2	0,6
Cr	5	0,004±0,001	0,003	0,001	0,003	0,005
Cu	7	14,57±4,61	9	12,20	5,4	39
Hg	2	0,02±0,01	0,02	0,01	0,01	0,03
Ni	7	7,70±1,86	5,5	4,91	1,8	16,7
Pb	7	6,50±3,25	3,6	8,59	0,8	24,6
Zn	7	22,71±11,12	15	29,41	5	87

Majör element konsantrasyonları %, iz element konsantrasyonları ppm olarak verilmiştir.

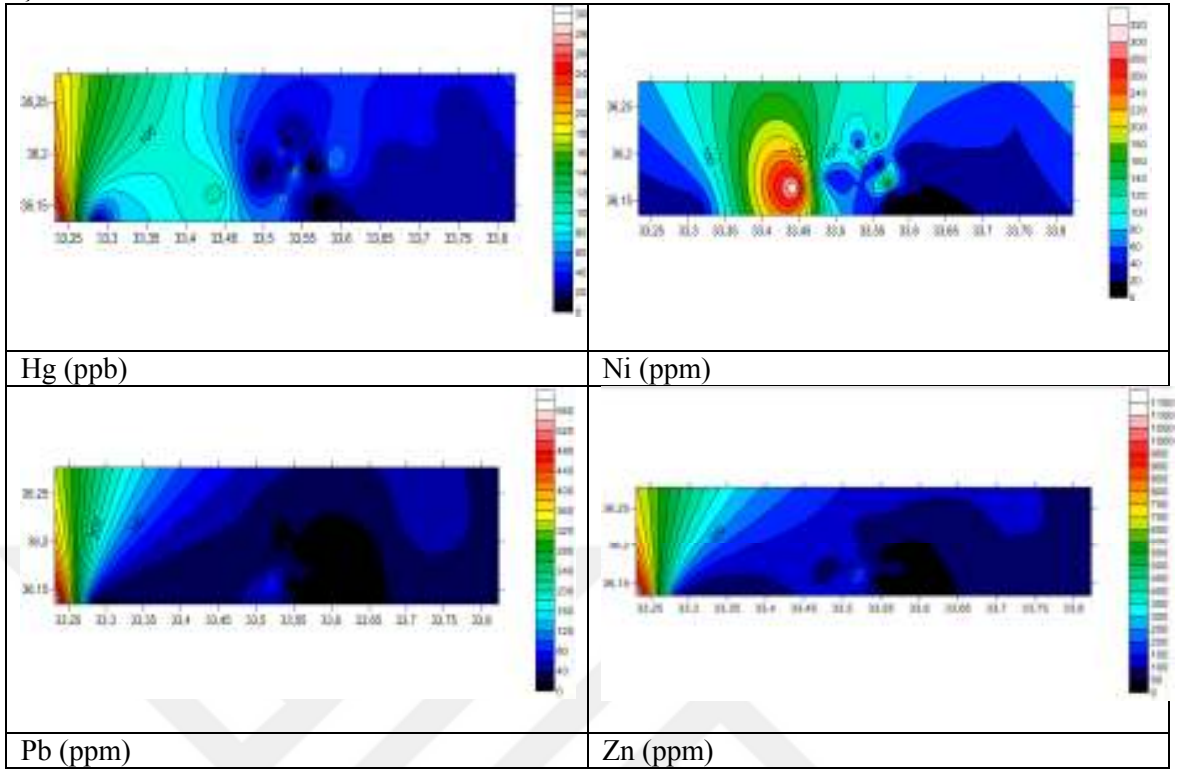
4.6. Toprak Örnekleri İz Element Dağılım Haritaları

Çalışma kapsamında Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve yakın çevresinden toplanan toprak örneklerinde gözlenen iz element konsantrasyonları Şekil 4.1 altında haritalanmıştır.



(Devamı arkada)

Şekil 4.1'in devamı

**Şekil 4.1.** Toprak örneklerinde gözlenen iz element konsantrasyonları

Topraklarda ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde; As konsantrasyonun (11,5) 2,5 - 42,7 mg/kg, Cd konsantrasyonun (0,9) 0,07 - 5,12 mg/kg, Cr konsantrasyonun (55,9) 6,7 - 317,2 mg/kg, Cu konsantrasyonun (29,7) 6,4 - 82,3 mg/kg, Ni konsantrasyonun (73,2) 10,0 - 319,1 mg/kg, Pb konsantrasyonun (43,9) 3,3 - 572,9 mg/kg ve Zn konsantrasyonun (116,2) 19,2 - 1143,0 mg/kg aralığında değiştiği gözlenmektedir.

Ağır metal dağılım haritaları Bozyazı – Aydınçık arasında As, Cu, Cr ve Ni konsantrasyonlarının yoğunlaştığını göstermektedir. Bu zenginleşmenin sebebinin Şekil 4.2'de verilen Mersin ili maden haritasından görülebileceği gibi çalışma alanındaki CuPbZn, Fe ve Dolomit yatakları olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Mersin ili maden haritası (Anonim 5)

5. SONUÇ

Nükleer tesis çevresinde radyolojik gözlem programlarının, tesis işletmeye açılmadan veya radyoaktif madde gelmeden önce minimum 1 yıl, tercihen 2-3 yıl önce başlaması önerilmektedir. Herhangi bir nükleer tesis çevresinde gerçekleştirilen radyolojik gözlem programının insan ve çevrenin korunması ile ilgili kesin bir pragmatik amacı (sebep-sonuç arasındaki ilişkiyi ortaya koyan) olması ve

1. İşletme öncesi
2. İşletme sırasında
3. İşletim sonrasında (nükleer tesisin statüsüne bağlı olarak)

olmak üzere 3 programla yürütülmesi önerilmektedir. Bu doğrultuda 2023 yılında faaliyete geçmesi hedeflenen Akkuyu Nükleer Güç Santralinin çevreye olası etkilerinin ortaya konması için işletim öncesi bölgede gerçekleştirilen bu radyoekolojik gözlem programı çerçevesinde;

- Toprak/kayaç ve kıyı sedimentlerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklit analizleri yapılmış,
- Radyolojik risk parametreleri hesaplanmış,
- Bölgenin radyolojik karakteristiklerini yansıtan doğal/yapay radyonüklit dağılım haritaları oluşturulmuş,
- Jeokimyasal analizler (majör ve iz element) gerçekleştirilmiş,
- Bölgenin jeolojik background'unu yansıtan majör/iz element dağılım haritaları hazırlanmış,
- Çalışma alanında mevcut tatlı su kaynaklarının toplam alfa, toplam beta aktiviteleri hesaplanmış ve
- Mersin kıyı şeridi boyunca alınan deniz suyu örneklerinde radyometrik ölçümler yapılmış,
- Elde edilen veriler arasındaki olası korelasyonlar istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Mersin ili ve çevresinde gerçekleştirilen bu kapsamlı radyo-ekolojik gözlem programında genel yapıyı yansıtacak şekilde belirlenen örnekleme noktalarından 71 adet yüzey toprağı, 13 adet kayaç, 30 adet kıyı sedimenti, 30 adet deniz suyu ve 10 adet tatlı su örneğı inceleme altına alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır.

5.1. Toprak Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

Çalışma kapsamında bölgeyi temsil edecek şekilde sistematik olarak toplanan 71 adet toprak örneğinin HPGe gama spektrometre sistemi ile ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının tipik aralıkları ve ortalamaları, Çizelge 5.1'de verilmiştir. Öte yandan, Türkiye'de ve yurt dışında değişik bölgelerde yapılan çalışmalarda karşılaştırılmak üzere Çizelge 5.2'de özetlemiştir.

Çizelge 5.1. Mersin ili toprak örneklerinin radyolojik karakteristikleri

Mersin Toprak	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)				D (nGy/h)	Raeq (Bq/kg)	AED (µSv/y)	Hex
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs				
Ortalama± Std	40±4	44±3	558±40	9±1	69±4	145±8	84±5	0,39±0,02
Medyan	30	43	459	6	66	141	81	0,38
Geometrik Ortalama	31	39	478	6	62	131	76	0,35
Tipik Aralık	10-259	9-105	164-1950	0,36-43	18-168	37-345	22-206	0,10-0,93

Çizelge 5.2. Toprak örneklerinin radyoaktivite ve doz değerlerine ilişkin literatür

Çalışma Alanı	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)				D (nGy/h)	AED (µSv/y)	Literatür
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs			
Kars, Iğdır	13 – 47	5 – 17	272 – 949	7.00–52.0	5.20 – 13		Topçuoğlu vd 2003
Şanlıurfa	20,8	24.95	144 - 401	4.47–20.3	15.7–73.7	61	Bozkurt vd 2007
Adana	0.60–80.9	0.60–56.9	9.6 - 814	0.10–30.6	0.10–8.60	67	Degerlier vd 2008
Kastamonu	14.6–65.7	17.1 -35.6	156 - 869	0.75–16.9	28.7–96.2	60	Kam ve Bozkurt 2007
Rize	11.0 - 188	10.0 - 105	105- 1235	19.0 - 232	19.1 - 150	23.4 - 183	Kurnaz vd 2007
İstanbul	21	37	117- 1204	1.76–50.5	15.2–79.8	18.6–97.9	Karahan ve Bayulken 2000
Çanakkale	82.3 - 167	152 - 276	1015-1375	0.37–36.0	190 - 272	234 - 333	Merdanoğlu ve Altınsoy 2006
Bursa, Orhaneli	2.00-88.0	3.00-83	34-1011				Yaprak ve Gür 2007
Manisa	22 - 35	18 - 36	210 - 470		54	66	Ereeş vd 2006
Yunanistan	25	21	360		56		UNSCEAR 2000
Bulgaristan	45	30	400		70		UNSCEAR 2000
İran	28	22	640		71		UNSCEAR 2000
Dünya Ort*	35 (17-60)	30 (11-64)	400 (140-840)		57		UNSCEAR 2000

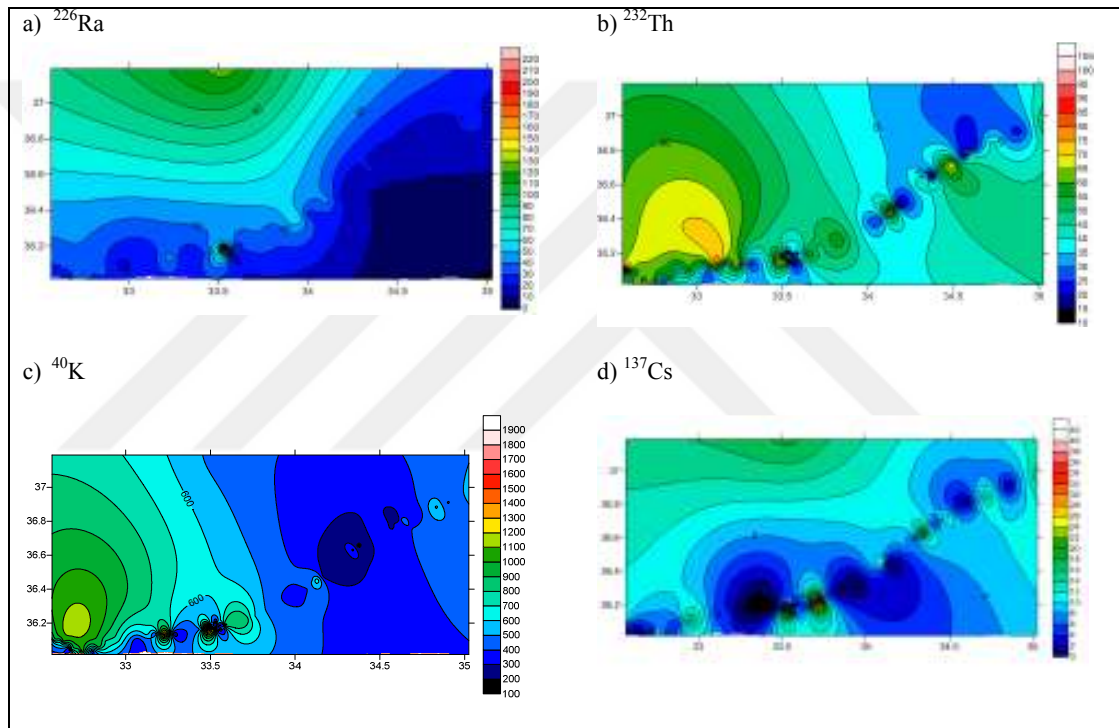
*Ortalama ve tipik aralıklar

İlgili çizelgeler incelendiğinde, Mersin ili topraklarında gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının, Türkiye ve yurt dışında yapılan diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ve UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen dünya ortalamaları ve tipik aralıkları ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Daha önce sözü edildiği üzere, Çernobil kazasında açığa çıkan çeşitli radyonüklitler arasında, ¹³⁷Cs, insanların aldığı efektif doza olan önemli katkısı, uzun yarı ömrü ve ölçüm kolaylığı nedenleri ile toprak kontaminasyonu için referans radyonüklit olarak seçilmiştir. Çernobil sonrası, atmosferdeki temel radyoaktif bileşen olan ¹³⁷Cs aktivitesinin 70 PBq olduğu ve ilk yıl bu kaynaktan maruz kalınan etkin doz eşdeğerinin Bulgaristan için 760µSv, Yunanistan için 590 µSv, Romanya için 570 µSv, İtalya için 300 µSv ve Türkiye için 290 µSv olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR 1988). Çernobil sonrası, 30 Nisan – 9 Mayıs 1986 tarihlerinde radyoaktif bulutlar Trakya ve Doğu Karadeniz sahil kesimini yoğun bir şekilde kontamine etmiştir. Genellikle yaş depozisyonunun olduğu Doğu Karadeniz dağlarında, TAEK, Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi 1988 yılında yüzey topraklarında (0-5 cm) ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun 4000-4500 Bq/kg ve daha az kontamine olan Karadeniz

dağlarının batısında ve iç kısımda ^{137}Cs aktivitesinin 500-1000 Bq/kg olduğunu rapor etmektedir (Ünlü vd 1995). Uzun bir yarı ömrü (30.2 yıl) olan ^{137}Cs , atmosferdeki yağışlar ve hava hareketleri ile uzun mesafelere kadar taşınmış ve Türkiye'deki diğer bölgeleri de kuru ve yaş depozisyonla kontamine etmiştir. Bu doğrultuda, Mersin ili çalışma alanında, Çernobil'den yaklaşık 30 yıl sonra topraklarda ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun, $8,96 \text{ Bq kg}^{-1}$ ortalama ile $0,36 - 43,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında değiştiği saptanmıştır. Bu aktivite konsantrasyon değerleri, Ege Bölgesinde yapılan diğer çalışmalarda bulunan sonuçlar ile örtüşmektedir (Aslani vd 2003; Yaprak vd 2003, 2005, 2014).

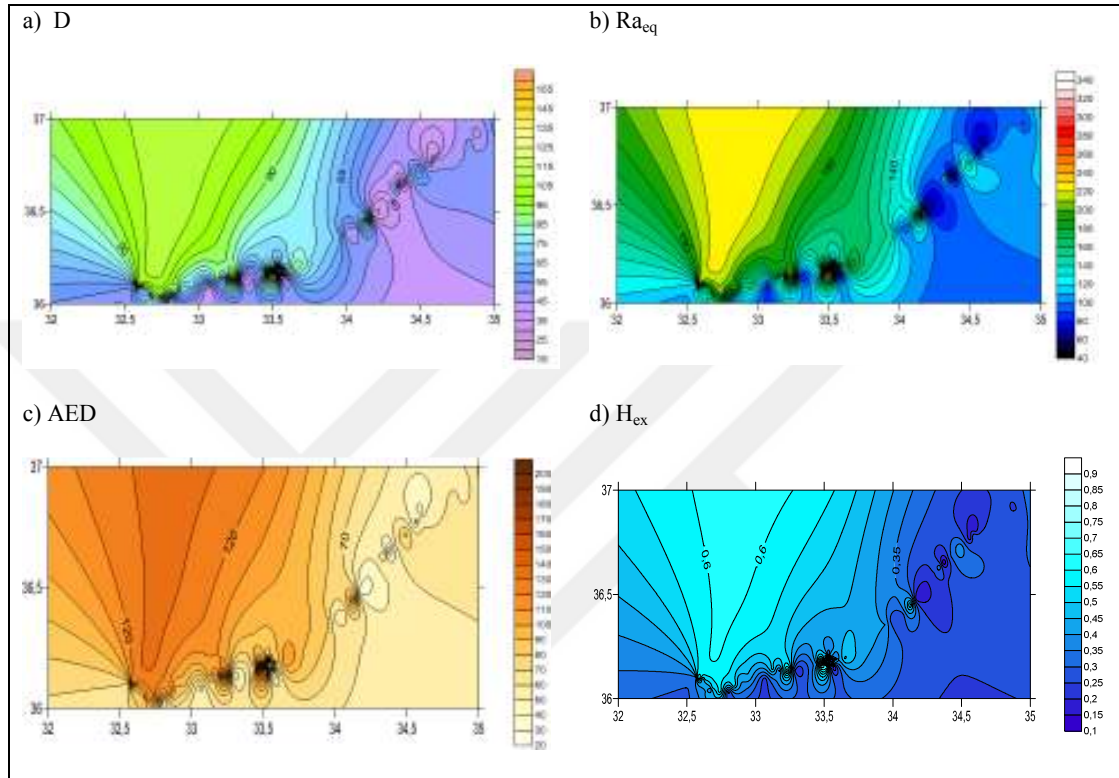
Mersin ili ve çevresinde yüzey topraklarında gözlenen doğal ve yapay radyonüklit aktivite dağılımları Surfer 11.0 yazılımı kullanılarak haritalanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Toprak örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs dağılım haritaları

Şekil 5.1 incelendiğinde, Mersin bölgesindeki topraklarda doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları dağılımlarının %75'nin normal alanlar için UNSCEAR (2000) Raporunda verilen sınırlar içinde kaldığını, kalan %25'in ise göreceli olarak, normal alanların üzerinde olduğu gözlenmektedir. Ana kaya jeolojisinin topraklarda gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları için baskın bir parametre olduğu bilinmektedir. Genel olarak, Mersin topraklarında gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit dağılımları değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların bölge jeolojisini yansıttığı (Bölüm 5.2) ve bunun dışında farklı bir eğilim göstermediği anlaşılmaktadır. Öte yandan çalışma alanındaki ^{137}Cs dağılımının %75'nin 12 Bq/kg 'ın altında kaldığı ve refere edilen önceki çalışmalarda bulunan sonuçlar ile paralellik sunduğu gözlenmektedir.

Çalışmada elde edilen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak hesaplanan zarar indekslerine ilişkin radyolojik risk dağılım haritaları Şekil 5.2’de sunulmuştur. Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2 radyolojik risk açısından incelendiğinde, karasal gama doz hızlarının, yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ve diğer radyolojik zarar indekslerinin, UNSCEAR raporlarında (UNSCEAR 1982, 1993, 2000) verilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Toprak örneklerine ilişkin radyolojik risk dağılım haritaları

5.2. Kayaç Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

Çalışma kapsamında bölgenin jeolojik yapısını temsil edecek şekilde toplanan beyaz ve krem renkli kumtaşı, krem renkli kireç taşı, şeyl, krem renkli kuvarstik kumtaşı, fillit ve breş (13 adet) örneklerinin Gama spektrometre sistemi ile ölçülen doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) radyonüklit aktivite konsantrasyon ortalamalarının ^{226}Ra için 25,86 (11,28 – 79,54) Bq/kg, ^{232}Th için 21,87 (8,02 – 45,57) Bq/kg, ^{40}K için 512,02 (210,70 – 1377,46) Bq/kg olduğu gözlenmiştir.

Genelde, U, Th ve K radyo elementlerinin metamorfik ve sedimenter (fosfatlı kayaçlar hariç) kökenli kayaçlardaki aktivite konsantrasyonları, magmatik kayaçlara oranla oldukça düşüktür. Bu genel olguyu destekleyecek şekilde, incelenen alandan toplanan sedimanter tip kayaçlar için hesaplanan karasal doz hızları ve etkin doz eşdeğerlerinin radyolojik risk oluşturacak düzeyde olmadığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.3. Kayaç örneklerinin radyolojik karakteristikleri

Mersin Kayaç	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)			D (nGy/h)	Ra _{eq} (Bq/kg)	AED (μSv/y)	H _{ex}
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K				
Ortalama± Std	26±5	22±3	512±89	47±6	98±13	58±8	0,26±0,03
Medyan	25	23	460	46	92	57	0,25
Geometrik Ortalama	24	19	441	43	89	53	0,31
Tipik Aralık	11-80	8-46	211-1377	25-99	51-201	30-122	0,14-0,54

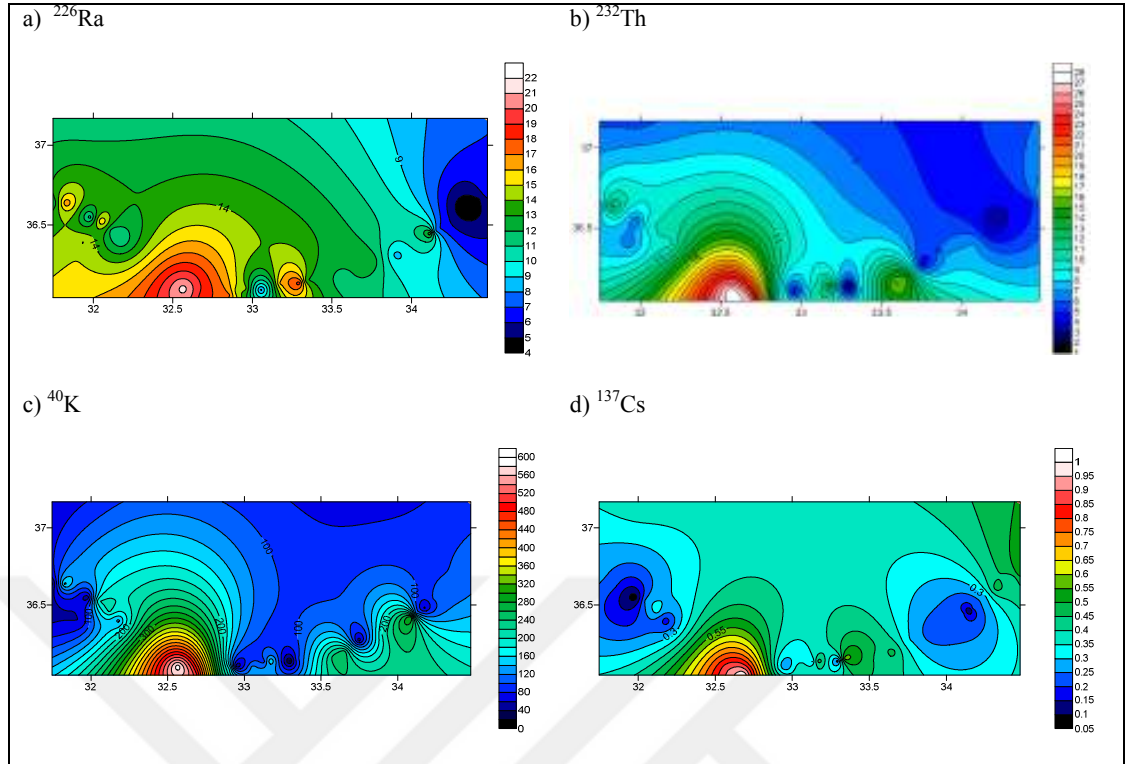
5.3. Kıyı Sedimenti Örneklerinin Radyolojik Karakteristikleri

Çalışma kapsamında bölgeyi temsil edecek şekilde, topografya elverdiği ölçüde sistematik olarak 5 km aralıklarla toplanan 30 adet kıyı sedimenti örneğinin gama spektroskopik olarak saptanan ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyonüklit aktivite konsantrasyonları; ²²⁶Ra için 12,16 (4,05 – 21,45) Bq/kg, ²³²Th için 9,02(1,83 – 27,9) Bq/kg, ⁴⁰K için 157,68 (18,97 – 590,31) Bq/kg ve ¹³⁷Cs için 0,36(0,07 – 1,0) Bq/kg olduğu gözlenmiştir (Çizelge5.4). Diğer taraftan, kıyı sedimentlerine ilişkin doğal ve yapay radyonüklit aktivite dağılımları ile radyolojik risk dağılımları sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4’te verilmiştir.

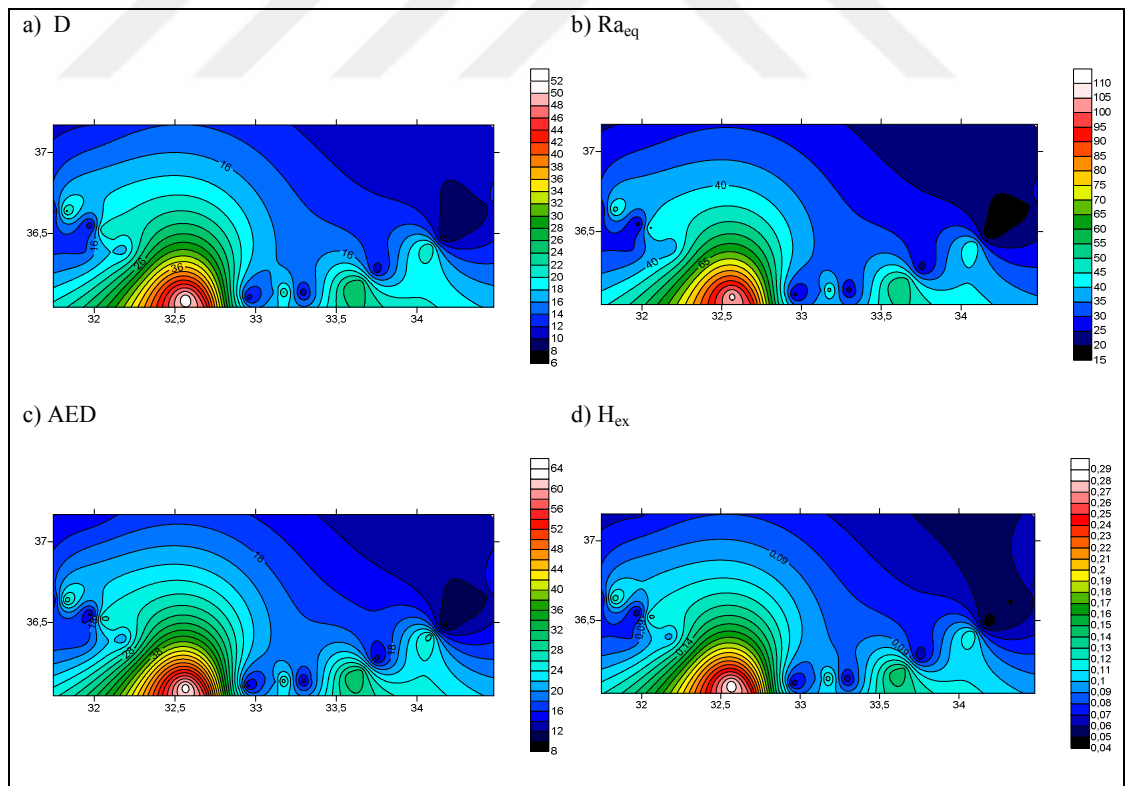
İlgili Çizelge ve şekiller incelendiğinde, kıyı sedimentlerinde gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının ve radyasyon dozlarının jeolojik background ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu ve bu değerlerin UNSCEAR 2000 raporunda normal alanlar için belirtilen dünya ortalamalarının altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca, incelenen kıyı sedimentlerinde ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun gama spektrometre sisteminin dedeksiyon sınırlarında olduğu ve 1Bq/kg’ı aşmadığı görülmektedir.

Çizelge 5.4. Kıyı sedimenti örneklerinin radyolojik karakteristikleri

Mersin Kıyı sedimenti	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)				D (nGy/h)	Ra _{eq} (Bq/kg)	AED (μSv/y)	H _{ex}
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs				
Ortalama± Std	12±1	9±1	158±24	0,36±0,04	18±2	37±4	22±2	0,1±0,01
Medyan	12	7	120	0,31	15	32	18	0,09
Geometrik Ortalama	11	8	120	0,31	16	33	19	0,09
Tipik Aralık	4-21	2-28	19-590	0,07-1,00	8-52	17-107	10-63	0,04-0,29



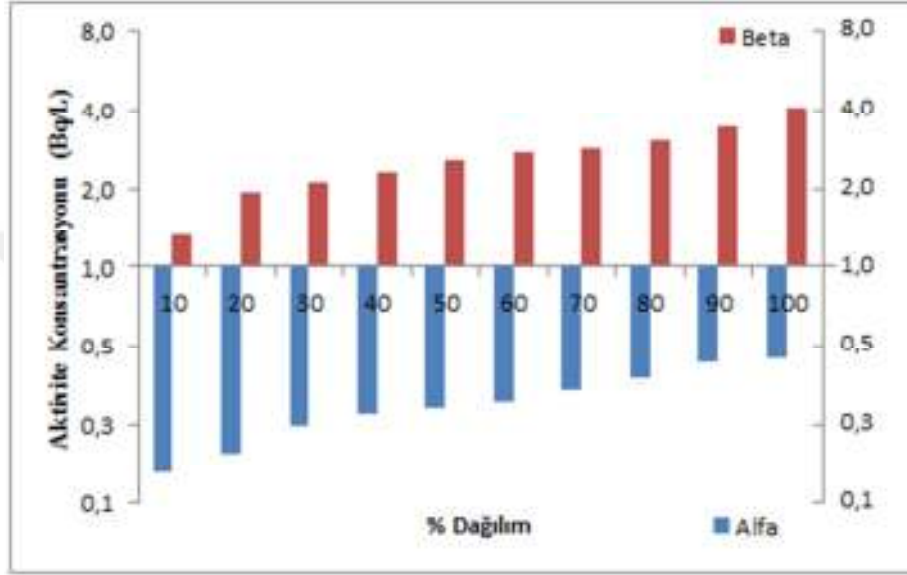
Şekil 5.3. Kıyı sedimenti örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs dağılım haritaları



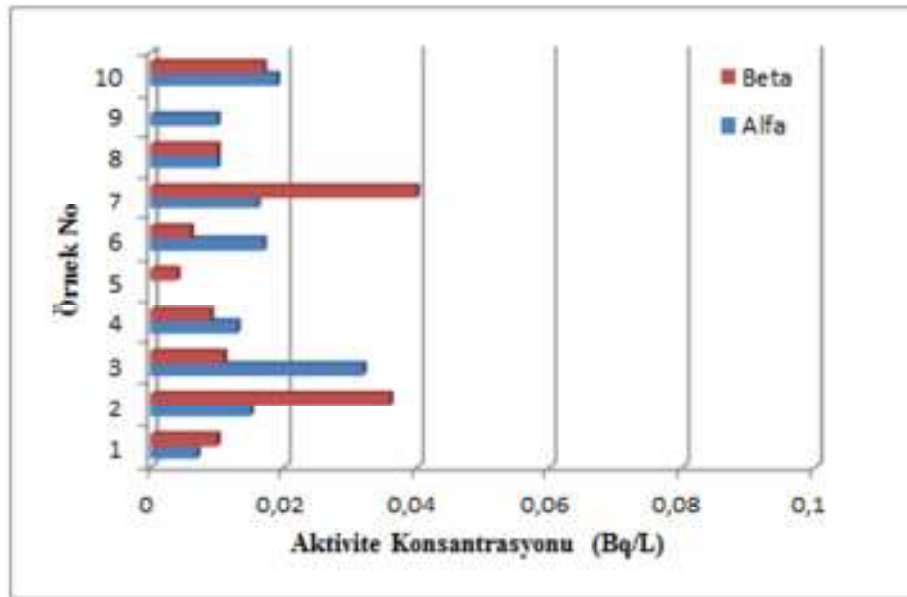
Şekil 5.4. Kıyı sedimenti örneklerine ilişkin radyolojik risk dağılım haritaları

5.4. Su Örneklerinin Radyoaktivite Düzeyi

Canlılar için hayati öneme sahip olan sudaki radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi sağlık açısından çok önemlidir. Çalışma kapsamında toplanan 30 adet tuzlu su ile 10 adet tatlı su örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitelerinin ortalama değerleri sırası ile; tuzlu sular için 0,259 Bq/L ve 2,737 Bq/L iken tatlı sular için 0,015 Bq/L ve 0,016 Bq/L'dir.



Şekil 5.5. Tuzlu su örneklerinin aktivite konsantrasyon dağılımları



Şekil 5.6. Tatlı su örneklerinin aktivite konsantrasyon dağılımları

Çizelge 5.5. Sularda tavsiye edilen*/izin verilen** maksimum aktivite değerleri

Radyoaktivite	EPA	TSE	WHO	WHO
Yıl	1976**	1984**	1984*	2006*
Toplam Alfa (Bq/L)	0,55	0,1	0,1	0,5
Toplam Beta (Bq/L)	-----	1,0	1,0	1,0

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından toplam alfa aktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1,0 Bq/L olarak tavsiye edilen radyoaktivite limitleri, toplam gösterge dozu kavramı çerçevesinde yeniden düzenlenerek 2006 yılında yayımlanan içme suyu kalitesi ile ilgili kılavuzunun 9. Bölümünde (Radiological aspects), alfa yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak (toplam alfa aktivitesi) 0,5 Bq/L, beta yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak ise (toplam beta aktivitesi) 1,0 Bq/L olarak kabul edilmektedir (Anonim 6). Çalışma altındaki tatlı sularda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen aktivitelerin Çizelge 5.5'te verilen ulusal ve uluslararası sınırlanmış/tavsiye edilen değerleri aşmadığı Şekil 5.6'dan açıkça gözlenmektedir.

5.5. Jeokimyasal Analiz Sonuçları

Toprak ve kayaç örneklerinin majör ve iz element analiz sonuçları: İncelenen toprak/kayaç örneklerinde ICP-OES analiz sonuçlarına göre gözlenen ortalama (%) majör element konsantrasyonları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, çalışılan materyallerdeki majör element konsantrasyonlarının yer kabuğu ortalamasını veren Clark ve diğer araştırmacıların (Rudnick ve Gao 2003) değerleri ile örtüştüğü gözlenmiştir.

Çizelge 5.6. Üst kıta kabuğunun majör element konsantrasyonları (Rudnick ve Gao 2003)

Majör Element	Bu çalışma		Clarke	Goldschmidt	Shaw	Condie	Gao	Borodin
	Toprak	Kayaç	1889	1933	1967	1993	1998	1998
Al ₂ O ₃	14,66	3,62	15,27	16,63	15,05	15,14	14,17	15,53
CaO	5,43	18,44	5,45	3,23	4,24	3,64	3,44	3,51
FeO	5,98	1,06	7,26	6,99	4,09	4,76	5,33	4,94
K ₂ O	4,1	1,37	2,99	4,13	3,19	2,76	2,68	3,01
MgO	2,18	0,75	4,59	3,47	2,3	2,45	2,62	2,1
MnO	0,08	0,04	0,1	0,12	0,07	---	0,1	0
Na ₂ O	0,23	0,38	3,29	2,15	3,56	3,55	2,86	3,21
P ₂ O ₅	0,09	0,09	0,23	0,23	0,15	0,12	0,16	0
SiO ₂	60,47	58,49	60,2	62,22	66,8	67	67,97	67,12
TiO ₂	0,06	0,21	0,57	0,83	0,54	0,56	0,67	0,6

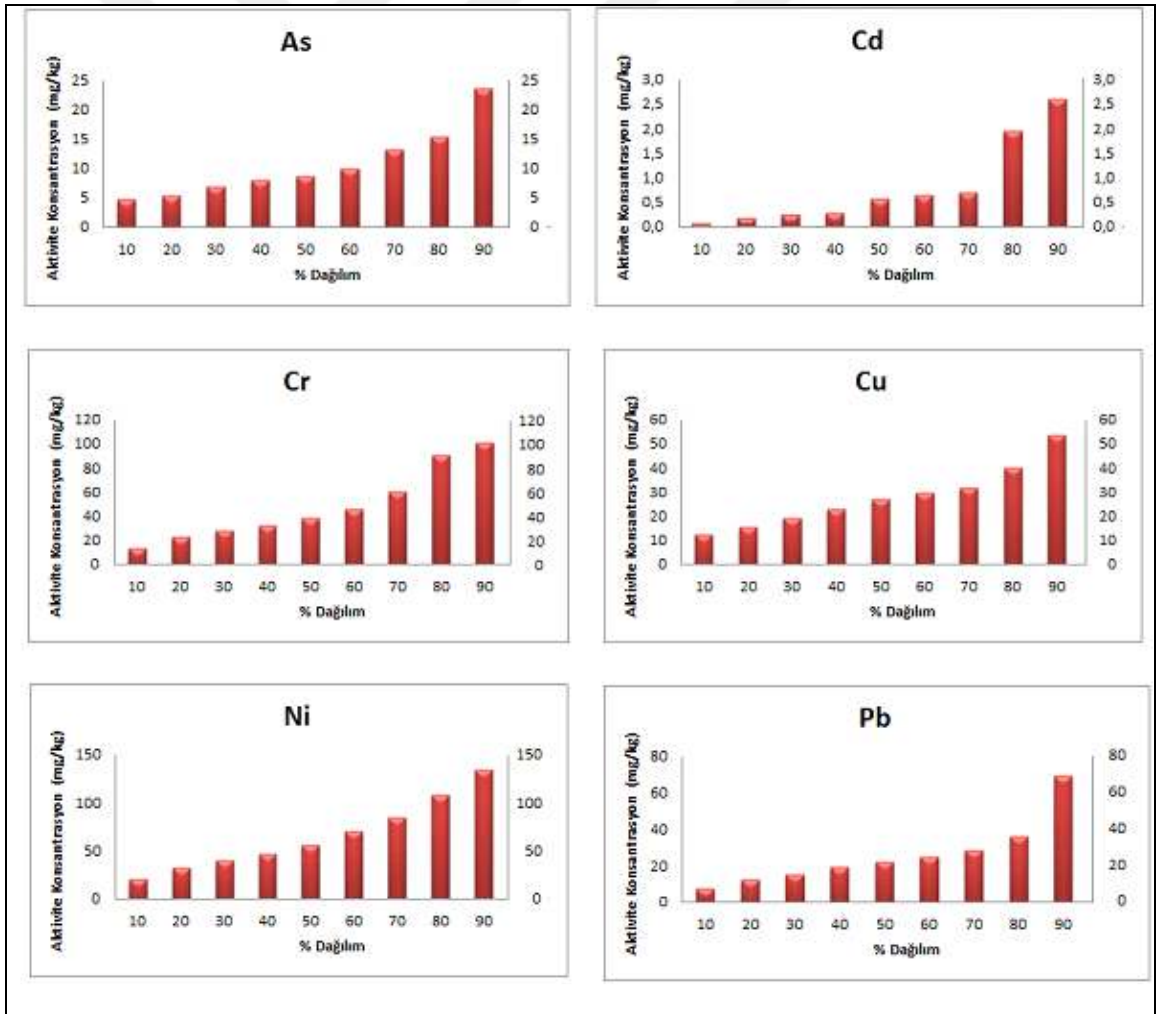
Konsantrasyonlar % olarak verilmiştir.

Çizelge 5.7'de toprak ve kayaçların ağır metal analiz sonuçları verilmiştir. Söz konusu çizelgede, kayaçlara nazaran topraklarda ağır metal konsantrasyonlarının

göreceli olarak daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Ancak bu değerler ulusal ve uluslararası limit değerlerin altında kalmaktadır (Çizelge 5.8 ve Şekil 5.7). Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, çevredeki ağır metal zenginleşmesi için daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

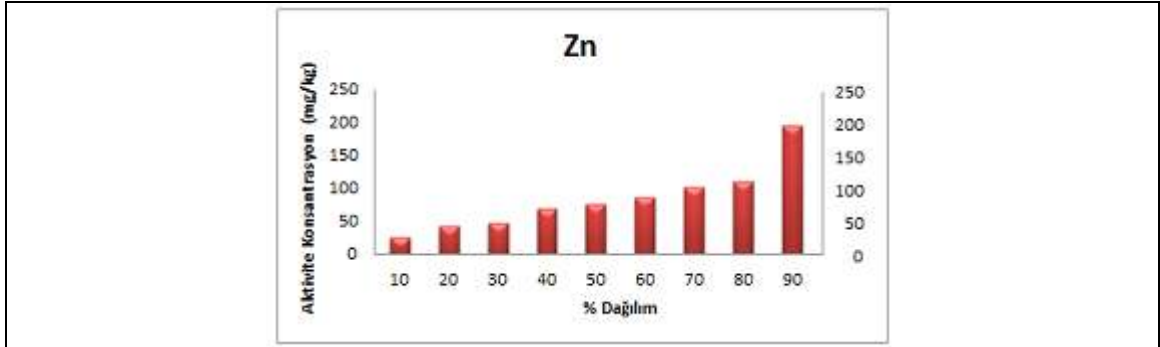
Çizelge 5.7. Toprak/kayaç örneklerinin ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

Ağır metaller (mg/kg)	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Literatür
Trakya	1,9-5,1	0,03-1,7	20-830	1,8-167	2,6-249	4,8-968	6-165	Coşkun vd 2006
Edirne	-	-	-	6,64-25,81	53,31-272,1	0,88-12,38	161,5-485,6	Aktaş ve Kocabaş 2010
İzmit Körfezi	-	-	40-195	27-55	16-120	19-82	55-116	Yılmaz vd 2003
İzmit	-	0,05-0,08	-	35-307,10	3,5-17,8	28,6-157,7	23,1-83,4	Canbay 2010
Dünya Ort.	6	0,35	70	30	50	35	90	Bowen 1979
	11,5	0,9	55,9	29,7	73,2	43,9	116,2	
Toprak	(2,5-42,7)	(0,07-5,12)	(6,7-317,2)	(6,4-82,3)	(10,0-319,1)	(3,3-572,9)	(19,2-1143,0)	Bu çalışma
	4,8	0,4	28,6	14,6	7,7	6,5	22,7	
Kayaç	(1,2-10,3)	(0,2-0,6)	(30-50)	(5,4-39)	(1,8-16,7)	(0,8-24,6)	(5,0-87)	Bu çalışma



(Devamı arkada)

(Şekil 5.7'nin devamı)



Şekil 5.7. Toprak örnekleri ağır metal konsantrasyon dağılımları

Şekil 5.7'de özetlenen çalışma altındaki toprakların iz element dağılımlarının %90'ında; As konsantrasyonun 23,6 mg/kg, Cd konsantrasyonun 2,6 mg/kg, Cr konsantrasyonun 100,5 mg/kg, Cu konsantrasyonun 53,4 mg/kg, Ni konsantrasyonun 133,9 mg/kg, Pb konsantrasyonun 69,1 mg/kg ve Zn konsantrasyonun 195,1 mg/kg olup Çizelge 5.8'de listelenen ulusal ve uluslararası ağır metal konsantrasyon limitlerinin altında kaldığı görülmektedir. Burada As konsantrasyonunun uluslararası limitlerin altında olmasına rağmen TSE limitlerinin üstünde olması dikkat çekmektedir.

Çizelge 5.8. Toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyon limitleri (mg/kg)

Toprak Kirliliği Kontrolü Sınır Değerleri (mg/kg)							
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
(TSE) pH<5-6	20	1	100	50	30	50	150
(TSE) pH>6	20	3	100	140	75	300	300
CLEA 2009	32	10	130	--	130	450	--
CLEA 2017	37	22	130	--	130	200	--
EC 86/278/EEC*	50	3	400	200	110	300	450

* Tarımsal ve arıtma uygulanmış topraklar pH>7.1

5.6. Elde Edilen Verilere İlişkin Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Sonuçları

Deneye dayalı bir bilimsel çalışma doğru ekipman, kalibrasyon ve teknikle birlikte doğru ölçüm yapma ve elde edilen verilerin uygun yöntemlerle analiz edilerek yorumlanmasına dayanmaktadır. Çok değişkenli (multivariate) istatistiksel analiz, incelenen olay ve çevresindeki çok sayıda içsel ve dışsal faktörleri dikkate alarak, problemi doğasındaki yapısına ilişkin bilgilere göre (gerçek oluşumuna göre) incelemek ve çözümlere ulaşmak için geliştirilmiş yöntemler bütünüdür (Özdamar 2004). Bu doğrultuda, çalışmada elde edilen verilerin çok değişkenli istatistiksel analizleri SPSS 20.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kayaç ve topraklarda gözlenen radyoelement/elementler arasındaki ilişki Pearson Korelasyonu yapılarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, olası korelasyonlar

Çizelge 5.9 – 5.13 altında verilmiştir. Temel olarak söz konusu elementlerin Al ile farklılığı, antropojenik kaynaklı olduklarını ifade etmektedir (Alvarez-Iglesias, 2007). İlgili çizelgelerde korelasyon için renk yelpazesi kullanılarak anlamlılık katsayıları özelleştirilmiştir.

Toprak örneklerinin radyonüklit konsantrasyonları arasında ilişkiler incelendiğinde ^{232}Th ile ^{40}K arasında (0,7**) kuvvetli pozitif bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Toprak örnekleri radyonüklitleri arasındaki korelasyonlar

Radyonüklit	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
^{226}Ra	1,0	0,3	0,0	0,4*
^{232}Th	0,3	1,0	0,7**	0,2
^{40}K	0,0	0,7**	1,0	-0,1
^{137}Cs	0,4*	0,2	-0,1	1,0

** Korelasyonlar 0.01 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

* Korelasyonlar 0.05 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

Çizelge 5.10. Toprak örnekleri elementleri arasındaki korelasyonlar

	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Al_2O_3	1,0	-,5*	-,5**	-,8**	0,1	-,5*	-0,4	0,2	-,4*	-,5**	0,2	-,8**	-,6**	-,8**	-0,1	0,0
CaO	-,5*	1,0	-,7**	-,4*	0,0	-0,4	0,0	0,2	0,1	-,4*	0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3
Fe_2O_3	-,5**	-,7**	1,0	-,4*	0,0	-,6**	-0,4	-0,1	0,0	-,4*	0,1	0,4	0,3	0,3	-,7**	-,8**
K_2O	-,8**	-,4*	-,4*	1,0	0,0	0,3	-,4*	0,1	-,5*	-,4*	0,3	0,4	0,3	-,4*	0,0	0,1
MgO	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	-,4*	-0,1	0,1	0,0	-,4*	-0,2	0,3	0,2	0,3	-0,1	-0,1
MnO	-,5*	-0,4	-,6**	0,3	-,4*	1,0	-0,3	0,1	0,2	-,7**	-0,1	-,5**	0,3	-,4*	-,6**	-,6**
Na_2O	-0,4	0,0	-0,4	-,4*	-0,1	-0,3	1,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
P_2O_5	0,2	0,2	-0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	1,0	0,3	-0,1	-,4*	0,1	0,3	0,1	-0,1	-0,1
TiO_2	-,4*	0,1	0,0	-,5*	0,0	0,2	-0,1	0,3	1,0	0,1	-,7**	-,4*	-,5**	-,4*	-0,1	-0,1
As	-,5**	-,4*	-,4*	-,4*	-,4*	-,7**	-0,1	-0,1	0,1	1,0	-0,1	-,4*	-,4*	-,4*	0,0	0,1
Cd	0,2	0,3	0,1	0,3	-0,2	-0,1	0,0	-,4*	-,7**	-0,1	1,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Cr	-,8**	-0,3	0,4	0,4	0,3	-,5**	-0,2	0,1	-,4*	-,4*	0,1	1,0	-,7**	1,0**	-0,1	-0,1
Cu	-,6**	-0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	-0,2	0,3	-,5**	-,4*	0,3	-,7**	1,0	-,7**	-0,1	-0,1
Ni	-,8**	-0,2	0,3	-,4*	0,3	-,4*	-0,2	0,1	-,4*	-,4*	0,2	1,0**	-,7**	1,0	-0,1	-0,1
Pb	-0,1	-0,3	-,7**	0,0	-0,1	-,6**	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	1,0	1,0**
Zn	0,0	-0,3	-,8**	0,1	-0,1	-,6**	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	1,0**	1,0

** Korelasyonlar 0.01 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

* Korelasyonlar 0.05 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

Topraklar için kirlenici metallerin birbiriyle korelasyonları incelenmiş ve incelenen kirlenici metaller için pozitif/negatif yönlü korelasyonlar saptanmıştır. Al'un Cr, K, N, Cu, Fe, Mn ve As ile pozitif Ca ile negatif; Cu'un Ti, Cr, Ni ve Al ile; Zn'nun ise Mn, Fe ve Pb ile korelasyon oluşturduğu görülmektedir. Ni'in Hg, Al ve Cr ile;

Cr'un Mn, Cu, Al ve Ni ile; Cd'un, Ti ile; Pb'un ise Mn, Fe ve Zn ile korelasyon oluşturduğu belirlenmiştir. Yine aynı şekilde As'in Al ve Mn ile pozitif ve anlamlı korelasyon verdiği saptanmıştır.

Diğer yandan Çizelge 5.11'den incelenen kayaç örneklerinin radyonüklit konsantrasyonları arasında pozitif ya da negatif anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.

Çizelge 5.11. Kayaç örnekleri radyonüklitleri arasındaki korelasyonlar

Radyonüklit	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
²²⁶ Ra	1,0	-0,1	-0,2
²³² Th	-0,1	1,0	0,6
⁴⁰ K	-0,2	0,6	1,0

Çizelge 5.12. Kayaç örnekleri elementleri arasındaki korelasyonlar

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Al ₂ O ₃	1,0	-0,7	0,4	0,6	-0,7	-0,2	0,6	0,0	,9**	0,6	-0,2	0,7	-0,4	0,2	-0,6	-0,5
CaO	-0,7	1,0	-0,3	-0,4	0,6	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7	-1,0**	-0,2	-0,3	-0,2	-0,4	,9*	-0,2
Fe ₂ O ₃	0,4	-0,3	1,0	-0,3	-0,3	0,6	,9**	0,4	0,1	0,3	0,7	0,5	0,3	,9*	-0,4	0,0
K ₂ O	0,6	-0,4	-0,3	1,0	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2	,9*	0,4	-0,7	-0,2	-0,6	-0,2	-0,4	-0,5
MgO	-0,7	0,6	-0,3	-0,5	1,0	-0,2	-0,5	-0,2	-0,7	-0,6	-0,1	-0,4	0,0	-0,3	0,3	0,2
MnO	-0,2	-0,3	0,6	-0,5	-0,2	1,0	0,4	0,8	-0,4	0,4	,9*	-0,5	,8*	0,8	-0,2	0,7
Na ₂ O	0,6	-0,4	,9**	-0,2	-0,5	0,4	1,0	0,3	0,2	0,3	0,6	0,7	0,1	0,7	-0,4	-0,2
P ₂ O ₅	0,0	-0,7	0,4	-0,2	-0,2	0,8	0,3	1,0	0,0	0,7	0,7	-0,2	,8*	0,7	-0,6	0,7
TiO ₂	,9**	-0,7	0,1	,9*	-0,7	-0,4	0,2	0,0	1,0	0,6	-0,5	0,4	-0,5	0,0	-0,6	-0,5
SiO ₂	0,6	-1,0**	0,3	0,4	-0,6	0,4	0,3	0,7	0,6	1,0	0,2	0,0	0,3	0,4	-,8*	0,2
As	-0,2	-0,2	0,7	-0,7	-0,1	,9*	0,6	0,7	-0,5	0,2	1,0	-0,2	0,7	0,8	-0,1	0,5
Cr	0,7	-0,3	0,5	-0,2	-0,4	-0,5	0,7	-0,2	0,4	0,0	-0,2	1,0	-0,2	0,0	-0,6	-0,4
Cu	-0,4	-0,2	0,3	-0,6	0,0	,8*	0,1	,8*	-0,5	0,3	0,7	-0,2	1,0	0,5	0,0	,9**
Ni	0,2	-0,4	,9*	-0,2	-0,3	0,8	0,7	0,7	0,0	0,4	0,8	0,0	0,5	1,0	-0,6	0,3
Pb	-0,6	,8*	-0,4	-0,4	0,3	-0,2	-0,4	-0,6	-0,6	-,8*	-0,1	-0,6	0,0	-0,6	1,0	0,0
Zn	-0,5	-0,2	0,0	-0,5	0,2	0,7	-0,2	0,7	-0,5	0,2	0,5	-0,4	,9**	0,3	0,0	1,0

** Korelasyonlar 0.01 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

* Korelasyonlar 0.05 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

Kayaçlar için kirletici metallerin birbiriyle korelasyonları incelenmiş ve incelenen kirletici metaller için pozitif/negatif yönlü korelasyonlar saptanmıştır. Al'un Ti ile; Zn'nun Cu ile; Ni'in Fe ile; Cu'nun ise küçükten büyüğe Mn, P ve Zn ile korelasyon oluşturduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde As'in Mn ile; Pb'un ise Ca ile pozitif Si ile negatif korelasyon oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer yandan Si'un Ca ve Pb ile negatif ve anlamlı korelasyon verdiği görülmektedir.

Toprak/kaya jeokimyasına ilişkin bölgesel gözlemler yapay kontaminasyon kaynaklarının etki derecesini ve büyüklüğünü saptamak için kullanılır. Topraklardaki element konsantrasyonları, ana materyal (temel kayaç), atmosferik depozisyon, gübreleme, zirai kimyasallar, organik atıklar ve diğer inorganik kirleticilerden (maden yatakları ve atıkları) kaynaklanmaktadır.

Topraklarda gözlenen radyoelement/element konsantrasyonlarının zenginleşmesinin kayaçlardan mı yoksa farklı kirleticilerden mi kaynaklandığını belirlemek için kayaç/toprak örneklerinin aynı element konsantrasyonları arası korelasyonlar Çizelge 5.13'te listelenmiştir.

Çizelge 5.13. Kayaç/toprak örnekleri elementler arasındaki korelasyonlar

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Subst
SiO ₂	1,0	0,1	-0,1	-0,4	-0,9	0,4	0,3	0,1	,6*	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	0,1	-0,1	-0,3	0,0	-0,2
Al ₂ O ₃	0,1	1,0	1,0**	0,4	-0,6	0,0	,7**	1,0**	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	,7**	,6*	,6*	,8**
Fe ₂ O ₃	-0,1	1,0**	1,0	,6*	-0,4	-0,1	0,5	,9**	0,2	,6*	0,4	,7**	,6*	,6*	,8**	,7**	,7**	,9**
MgO	-0,4	0,4	,6*	1,0	0,0	-0,4	0,2	0,5	0,1	,8**	0,2	,8**	0,3	0,2	0,3	,8**	,6*	,6*
CaO	-0,9	-0,6	-0,4	0,0	1,0	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1	-0,4	-0,3
Na ₂ O	0,4	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	1,0	-0,2	-0,1	0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3
K ₂ O	0,3	,7**	0,5	0,2	-0,6	-0,2	1,0	,8**	-0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,2	0,4	0,4	,6*
TiO ₂	0,1	1,0**	,9**	0,5	-0,6	-0,1	,8**	1,0	0,1	0,5	0,5	,6*	0,5	0,4	,7**	,6*	,6*	,8**
P ₂ O ₅	,6*	0,1	0,2	0,1	-0,6	0,2	-0,2	0,1	1,0	0,3	0,2	0,3	0,1	,6*	0,2	0,0	0,3	0,1
MnO	-0,1	0,4	,6*	,8**	-0,3	0,0	0,2	0,5	0,3	1,0	0,1	1,0**	0,3	0,4	0,3	,8**	,8**	0,5
Cr ₂ O ₃	-0,1	0,4	0,4	0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,5	0,2	0,1	1,0	0,2	0,4	0,2	,8**	0,2	0,2	,7**
As	-0,1	0,5	,7**	,8**	-0,3	0,0	0,2	,6*	0,3	1,0**	0,2	1,0	0,4	0,4	0,4	,9**	,8**	,6*
Cd	-0,3	0,5	,7*	0,3	-0,1	-0,2	0,0	0,5	0,1	0,3	0,4	0,4	1,0	,7**	,8**	0,3	0,3	0,5
Cu	0,1	0,4	,6*	0,2	-0,3	0,0	-0,1	0,4	,6*	0,4	0,2	0,4	,7**	1,0	,6*	0,3	0,5	0,4
Ni	-0,1	,7**	,8**	0,3	-0,3	-0,2	0,2	,7**	0,2	0,3	,8**	0,4	,8**	,6*	1,0	0,3	0,4	,7**
Pb	-0,3	,6*	,7**	,8**	-0,1	-0,3	0,4	,6*	0,0	,8**	0,2	,9**	0,3	0,3	0,3	1,0	,9**	,7**
Zn	0,0	,6*	,7**	,6*	-0,4	-0,2	0,4	,6*	0,3	,8**	0,2	,8**	0,3	0,5	0,4	,9**	1,0	,6*
Subst	-0,2	,8**	,9**	,6*	-0,3	-0,3	,6*	,8**	0,1	0,5	,7**	,6*	0,5	0,4	,7**	,7*	,6*	1,0

** Korelasyonlar 0.01 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

* Korelasyonlar 0.05 seviyesinde anlamlıdır (çift yönlü).

Kaya/toprak örneklerinde birçok element (Al, Fe, Mg, K, Ti, Cr, As, N, Pb ve Zn) ile kayaç (Subst) arasında tespit edilen kuvvetli korelasyonların pozitif yönlü/doğru orantılı olması kayaç ve toprak örneklerinin element konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin birbirine paralel olduğunu ve element geçişlerinin kayaçlardan toprağa doğru olduğunu göstermektedir (Çizelge 5.13).

5.7. Öneriler

Yapılan çalışma sonrası elde edilen bulgular ışığında çalışma bölgesinin radyoaktivite açısından normal alanlar sınıfına girdiği görülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen bu veriler literatürde ilk olması açısından bölge için referans olma özelliği taşımaktadır. Bu veriler ışığında gelecekte olabilecek herhangi bir nükleer serpintinin bölgeye ulaşp ulaşmadığı, ulaştı ise bölgeye etkisini hesaplanması mümkün olacaktır. Bu bağlamda çalışmada elde edilen bulgular Antalya'ya 300 km mesafede inşa edilen Akkuyu Nükleer Güç Üretim Santralinin bölgeye olası etkilerinin değerlendirilebilmesi açısından da büyük öneme sahiptir. Mevcut çalışmanın her yıl ya da iki yılda bir kez tekrarlanması ve Akkuyu Nükleer Güç Üretim Santrali enerji üretim faaliyetine başlamadan bir veri bankası oluşturulması faydalı olacaktır.

Elementler arasında saptanmış/saptanamamış korelasyon bulguları ile genel-evrensel bir yargıya gidebilmek için ileride çok daha geniş örneklem boyutlarıyla yapılacak çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu sayede hem bu çalışmada bulunan korelasyonların varlığı kanıtlanmış, hem de tespit edilemeyen korelasyonlar saptanmış olacaktır.

Ayrıca çalışma kapsamında toplanan bölgeye ait toprak, kayaç, kıyı sedimenti, tatlı ve tuzlu su örneklerinin yanında biyomonitör olarak kullanılabilecek bitki ve hayvan örneklerinin toplanması ve şahit numune olarak saklanması da ileride yapılacak çalışmalar için gerekli olduğunu düşünmekteyiz.

6. KAYNAKLAR

Aktaş, Y.K. ve Kocabaş, A. 2010. Heavy metal content of roadside soil in Edirne, Turkey. *Analytical Letters*, 43: 1869-1878.

Alvarez-Iglesias, P., Quintana, B., Rubio, B. and Perez-Arlucea, M. 2007. Sedimentation rates and trace metal history in intertidal sediments from San Simon Bay (Ria de Vigo, NW Spain) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. *Journal of Environmental Radioactivity*, 98, 229 – 250.

Anonim 1: <http://www.akkunpp.com/projenin-tarihcesi> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonim 2: <http://www.akkunpp.com/nukleer-guc-sanrali-ngs> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonim 3: www.mersinkulturturizm.gov.tr/TR,73136/genel-bilgiler.html [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonim 4: <http://docplayer.biz.tr/3279705-Maden-tetkik-ve-arama-genel-mudurlugu-dogu-akdeniz-bolge-mudurlugu-icel-ili-jeolojik-ozellikleri.html> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonim 5: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/Mersin.pdf> [Son erişim tarihi : 13.11.2017]

Anonim 6: <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> [Son erişimtarihi:13.11.2017]

Anonymous 1: World Energy Outlook, IEA 2012
<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2012/> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonymous 2: Ülkelere göre nükleer reaktör sayıları.
<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonymous 3: Yapımı devam eden nükleer reaktör sayıları.
<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx> [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Anonymous 4: Yüksek Güçlü Kanal Tipi Reaktörler (RBMK).
[Http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/appendices/rbmk-reactors.aspx](http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/appendices/rbmk-reactors.aspx) [Son erişim tarihi: 13.11.2017].

Aslani, M.A.A., Ayatş, Ş., Akyıl, S., Yaprak, G., Yener, G. ve Eral, M. 2003. Activity concentration of caesium-137 in agricultural soils. *Journal of environmental Radioactivity*, 65, 131-145.

- Baeza, A., Corbacho, J.A., Rodriguez, A., Galvan, J., Garcia-Tenorio, R., Manjon, G., Mantero, J., Vioque, I., Arnold, D., Grossi, C., Serrano, I., Vallés, I. and Vargas, A. 2012. Influence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident on Spanish environmental radioactivity levels. *J. Environ. Radioactivity*, 114, 138-145.
- Barsanti, M., Conte, F., Delbono, I., Iurlaro, G., Battisti, P., Bortoluzzi, S., Lorenzelli, R., Salvi, S., Zicari, S., Papucci, C. and Delfanti, R. 2012. Environmental radioactivity analyses in Italy following the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *J. Environ. Radioactivity*, 114, 126-130.
- Beretka, J. and Mathew, P.J. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys*, 48-87.
- Bolsunovsky, A. and Dementyev, D. 2011. Evidence of the radioactive fallout in the center of Asia (Russia) following the Fukushima Nuclear Accident. *J. Environ. Radioactivity*, 102, 1062-1064.
- Bouyoucos, G.J. 1955. A Recalibration of The Hydrometer Metod for Making Mechanical Analysis of The Soil. *Agronomy Journal*, 4 (9): 434.
- Bowen, H.J.M. 1979. Elements in lithosphere and biosphere. Environmental Chemistry of the Element. Academic Press, pp. 174-208, Beijing.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlioğlu, A.E. 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiation Measurement*, 42, 1387-1391.
- Canbay, M. 2010. Investigation of the relation between heavy metal contamination of soil and its magnetic susceptibility. *International Journal of Physical Sciences* 5(5): 393- 400.
- Coşkun, M., Steinnes, E., Frontasyeva, M.V., Sjobakk, T.E and Demkina, S. 2006. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assesment*, 119: 545-556.
- CFR 1983. Code of Federal Regulations (CFR). 1983. Title 10, Energy, Part 50, Appendix I.
- Curie, L.A. 1968. Limits for Qualitative Detection and Quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40(3): 586-693.
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Ün. Zir. Fak. Yayınları, Sayı:10
- Davis, W. 1977. "Carbon-14 Production in Nuclear Reactors". Oak Ridge National Laboratory Report, ORNL/NUREG/TM-12, Tenesse.

- Değerlier, M., Karahan, G. ve Ozger, G. 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *J. Environ. Radioactivity*, (doi:10.1016/j.jenvrad.2007.12.015).
- Demirtaşlı, E. 1975. Stratigraphic Correlation of the Lower Paleozoic Rocks of Iran, Pakistan and Turkey: Congress of Earth Sciences 50 th year of the Turkish Republic, Alpan S. (editor), 204-222, Ankara.
- Demirtaşlı, E., Çatal, E., Dil, N., Kırışlı, C. ve Salancı, A. 1978. Carboniferous of the Silifke area in: Guide Book of field excursions on the Carboniferous stratigraphy in Turkey: Spec. Publ., MTA, 31-37, Ankara
- Denham, D. H. 1982. "Planning Environmental Monitoring Programs" in *Handbook of Environmental Radiation*, A. W. Klement, Jr., Ed. CRC Press, pp 117 –127, Boca Raton.
- Eichholz, G. G. 1978. Planning and Validation of Environmental Surveillance Programs at Operating Nuclear Power Plants. *Nuclear Safety*, 19: 486.
- Ereş, F.S., Aközcan, S., Parlak, Y. ve Çam, S. 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation Measurement*, 41, 598-601.
- Erdman, C.A. and Reynolds, A.B. 1975. Radionuclide Behavior During Normal Operation of Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactors. *Nuclear Safety*, 16:43.
- Gaso, M.I., Segovia, N., Morton, O., Cervantes, M.L., Godinez, L., Pena, P. and Acosta, E. 1998. ¹³⁷Cs and relationships with major and trace elements in edible mushrooms from Mexico. *Sci. Total Environ*, 262, 73-89.
- Gedikoğlu, A. ve Sipahi, B.L. 1989. Chernobyl radioactivity in Turkish tea. *Health Phys*, 56/1, 97-101
- Gökmen, İ. G., Akgöz, M. ve Gökmen, A. 1996. Chernobyl radioactivity on the Black Sea coast of Turkey. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 355, 736-738.
- Hernández-Ceballos, M.A., Adame, J.A., Casas-Ruiz, M., Sorribas, M., SanMiguel, E.G. and Bolívar, J.P. 2011. Radioactive impact of Fukushima accident on the Iberian Peninsula: evolution and plume previous pathway. *Environment International*, 37(7): 1259-1264.
- Hoffman, F.O., Miller, C.W., Shaeffer, D.L. and Garten, C.T. 1977. Computer Codes for the Assessment of the Radionuclides Released to Environment. *Nuclear Safety*, 18:339.
- ICRP 1990. Recommendations of the International Commission on radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. Pergamon Pres, ICRP 21 (1-3), Oxford.

- Jackson, M.L. 1962. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall Inc., pp. 183-219-284, Englewood cliffs, N.J.
- Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Kam, E. ve Bozkurt, A. 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl. Radiat. Isotopes*, 65, 440-444.
- Karahan, G. ve Bayulken, A. 2000. Assessment of gamma dose rates around İstanbul (Turkey). *J. Environ. Radioactivity*, 47, 213-221.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U. 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Appl. Radiat. Isotopes*, 65, 1281- 1289.
- Kathren, L. R. 1984a. Radioactivity in the Environment. Harwood academic publishers, pp. 137-170, Amsterdam.
- Kathren, L. R. 1984b. Radioactivity in the Environment. Harwood academic publishers, pp. 283-300, Amsterdam.
- Kouts, H. and Long, J. 1973. Tritium Production in Nuclear Reactors in Tritium. A. A. Moghissi and M.W. Carter, Eds. Messenger Graphis, Phonix.
- Köse, A., Topcuoglu, S., Varinlioglu, A., Kopya, A. I., Azar, A., Uzun, O. ve Karal, H. 1994. The levels of cesium radionuclides in lichens in the Eastern Black Sea Area of Turkey. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 45, 221-224.
- Manolopoulou, M. vd. 2011. Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to the Fukushima nuclear accident. *J. Environ. Radioact.* 102, 796-797.
- Merdanoğlu, B. ve Altınoy, N. 2006. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from Kestanbol Granite Area. *Radiat. Prot. Dosim*, 121 (4), 399-405.
- Mishra, U. C. 2001, Environmental radioactivity research-expectations in the new millenium. *J. Environ. Radioactivity*, 57, 1-5.
- Mokhov, V.A. 2010. Advanced Designs of VVER Reactor Plant VVER-2010 Experience&Perspectives. 01-03 November 2010, Prague, Czech Republic.
- NGS. Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı. Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye Raporu, Yayın No:2, Ankara.

- Özdamar, K. 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-2 (Çok Değişkenli Analizler), Kaan Kitabevi, 5.Baskı, Eskişehir.
- Özgül, N. 1971. Orta Toroslar'ın kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerinin önemi. TJK Bült., 14,1, 85-101.
- Palabıyık, H. ve Yavaş, H. 2006. Başlamayan Senfoni: Türkiye'nin Nükleer Santral Serüveninin Üzerine. *Yönetim Bilimleri Dergisi* Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Cilt 4, Sayı 2, 17-25.
- Rudnick, R.L. and Gao, S. 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, pp. 1-64.
- TEF 2001. Türkiye'nin yeni enerji stratejileri. Türkiye Enerji Forumu Raporu, Ankara.
- TEİAŞ 2013. Türkiye Elektrik Enerjisi Kuruluş ve Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç, TEİAŞ Raporu, Ankara.
- Temuçin, K. ve Aliağaoğlu, A. 2003. Nükleer enerji ve tartışmalar ışığında Türkiye'de nükleer enerji gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1 (2), 25-39.
- TEPCO 2011a. Nuclear Emergency Response Headquarters, Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, June 2011.
- TEPCO 2011b. Nuclear Emergency Response Headquarters, Nuclear Emergency Response Headquarters, Additional Report of the Japanese Government to the IAEA: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations (Second Report), September 2011.
- Thakur, P., Ballard, S. and Nelson, R. 2012. Radioactive fallout in the United States due to the Fukushima nuclear plant accident. *J. Environ. Monit.* 14(5), 1317-1324.
- Tombakoğlu, M., Ergün, Ş., Atak, H., Çelikten, O.Ş., Duman, V., Kayrın, K., Tiftikçi, A., Türkmen, M., Ayhan, H., Aksoy, B., Ayanoğlu, M., Güler, A., Pınarbaşı, B., Taş, F.B. ve Bayraktar, B.N. 2011. Nükleer enerji raporu 2011, TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Topcuoglu, S., Güven, K. C., Bulut, A. M. ve Sauer, E. 1993. Chernobyl-derived radiocesium in mosses in the Black Sea Area. *J. Radionucl. Nucl. Chem., Letters* 175/1, 9-15.
- Topcuoglu, S., Van Dawen, A.M. ve Güngör, N. 1995. The natural depuration rate of ¹³⁷Cs radionuclides in a lichen and moss species. *J. Environ. Radioactivity*, 29/2, 157-162.
- Topcuoğlu, S., Türer, A., Güngör, N. ve Kırbaşoğlu, Ç. 2003. Monitoring of

anthropogenic and natural radionuclides and gamma absorbed dose rates in eastern Anatolia. *J. Radioanal. Nucl. Ch.*, 258 (3), 547-550.

Ulu, Ü. 1998. İçel ve civarının jeolojisi, MTA Raporu.

UNSCEAR 1977. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiations. United Nations Publication E.77.IX.1, New York.

UNSCEAR 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations, New York.

UNSCEAR 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources Effects and Risks of Ionizing Radiations. United Nations, New York.

UNSCEAR 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiations. United Nations, New York.

UNSCEAR 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiations. United Nations, New York.

USNRC 1975. United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC). Programs for Monitoring Radioactivity in the Environs of Nuclear Power Plants. Regulatory Guide 4.1, Revision 1.

USCG 1977. United States Comptroller General (USCG). Cleaning Up the Remains of Nuclear Facilities- A Multibillion Dollar Problem. Report to the Congress EMD-77-46, Washington.

USNRC 1979 United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC). Radioactive Materials Released from Nuclear Power Plants. Report NUREG-0521.

Ünlü, M. Y., Topçuoglu, S., Küçükcezzar, R., Varinlioglu, A., Güngör, N., Bulut, A.M., ve Güngör, E. 1995. Natural Effective Half-Life of ¹³⁷Cs in Tea Plants. *Health Phys.* 68/1, 94-99.

Varinlioglu, A., Topcuoglu, S., Köse, A., Kopya, A. I., Uzun, O., Azar, A. ve Karal, H. 1994. Levels of cesium radionuclides in mosses in the eastern Black Sea area of Turkey. *J. Radional. Nucl. Chem. Letters*, 187/6, 435-440.

Yaprak, G. 1999. Çevresel Radyoaktivite I ve II Ders Notları (yayınlanmamış), E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.

- Yaprak, G., Köktürk, U., Gür, F. ve Yılmaz, H. 2003. Tarımsal Topraklardaki Kil ve Organik Madde İçeriğinin Radyosezyum Davranışı Üzerine Etkisi. XI. Ulusal Kil Sempozyumu, ss.315-321, İzmir.
- Yaprak, G., Gür, F., Camgöz, B., Candan, O. and Köseoğlu, K. 2004. Küçük Menderes bölgesinde Cs-137 dağılımının incelenmesi, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No: 2000 NBE 006).
- Yaprak, G., Gür, F., Camgöz, B., Candan, O. ve Köseoğlu, K. 2005. Küçük Menderes Bölgesinde Cs-137 Dağılımının İncelenmesi. Ege Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi (Proje No: 2000 NBE 006).
- Yaprak, G. ve Gür, F. 2007. Batı Anadolu termik santralleri çevresinde radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin biyomonitörlerle izlenmesi. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No: 2003 NBE 007).
- Yaprak, G., Özel, E., Sert, İ., Şahin, Ş., İncaoğlu, F., Yılmaz, B. 2014.Çandarlı körfezi ve kıyı şeridinde denizel ve karasal bazı örneklerde doğal ve yapay radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No: 2011 NBE 008).
- Yılmaz, F., Yılmaz, Y.Z., Ergin, M., Erkol, Y., Müftüoğlu, A.E ve Karakelle, B. 2003. Heavy metal concentrations in surface soils of İzmit Gulf Region, Turkey. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 21(3): pp. 523-531.

ÖZGEÇMİŞ

SÜLEYMAN FATİH ÖZMEN

fatihozmen@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Selçuk Üniversitesi
2005-2008	Eğitim Fakültesi, Orta Öğretim Fen ve Matematik Eğitimi, Konya
Lisans	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
1997-2002	Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2013- Devam Ediyor	Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Nükleer Teknoloji ve Radyasyon Güvenliği Programı, Antalya
Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2010-2013	Fen Fakültesi, Fizik Bölümü Antalya

ESERLER:

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Hadynska-Klek, K., Napiorkowski, P.J., Zielinska, M., Srebrny, J., Maj, A., Azaiez, F., et al. (2016). Superdeformed and Triaxial States in Ca-42. Physical Review Letters, vol.117, 062501.
- 2- Yavuz, M., Ozmen, S.F., Tunç, M.R. ve Boztosun, I. (2016). *Microtus guentheri* (Danford & Alston, 1880) (Rodentia: Cricetidae) as a biomonitor for radionuclides in Mersin Province of Turkey. Turkish Journal Of Zoology, vol.40, pp.561-573.
- 3- Erkül S.T., Ozmen S.F., Erkül F. ve Boztosun, I. (2016). Comparison between natural radioactivity levels and geochemistry of some granitoids in western Turkey. Turkish Journal Of Earth Sciences, vol.25, pp.242-255.
- 4- Boztosun, I., Dapo, H., Karakoç, M., Ozmen, S.F., Çeçen, Y., Coban A. , et al. (2015). Photonuclear reactions with zinc: A case for clinical linacs. European Physical Journal Plus, vol.130, Issue 9, article 185.
- 5- Mutlu, S., Djapo, H., Ozmen, S.F., Selim, C. ve Tuncel, N. (2015). Gamma-ray irradiation induces useful morphological variation in bermudagrass. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, vol.43, pp.515-520.
- 6- Ozmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I. ve Yavuz, M. (2014). Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey. Radiation Physics And Chemistry, vol.103, pp.37-44.
- 7- Ağar, O., Boztosun, I., Korkmaz, M.E. ve Ozmen, S.F. (2014). "Measurement Of Radioactivity Levels And Assessment Of Radioactivity Hazards Of Soil Samples In Karaman, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, vol.162, pp.630-637.
- 8- Ozmen, S.F., Boztosun, I., Yavuz ve M., Tunç, R. (2013). Determination of gamma radioactivity levels and associated dose rates of soil samples of the Akkuyu/Mersin using high-resolution gamma-ray spectrometry. Radiation Protection Dosimetry, vol.158, pp.461-465.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Yalçın, M.G., Paksu, E., Ünal, S., Özmen, S.F. ve Nyamsari, D.G. (2015). Bucak İlçesi mermerlerinin uranyum aktivite konsantrasyonu ve insan sağlığı üzerine etkisi. 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı. (Özet Bildiri/Davetli Konuşmacı)
- 2- Özmen S.F. (2015). Linear working principle of electron accelerator, will be given information about and some application areas. 3rd Charged particle optics (special theme : charged particle optics applications”) applied winter school. (Davetli Konuşmacı)

- 3- Ertugay, C., Boztosun, I., Özmen, S.F. ve Dapo, H. (2014). Qualitative Elemental Analyses of a Meteorite Sample Found in Turkey by Photo-activation Analysis Method. 1st NUBA International Conference on Nuclear Physics and Astrophysics.
- 4- Özmen S.F. (2014). Use of Particle Accelerators in Industry : Food Sterilization , 2nd Charged particle optics (special theme : charged particle analyzer of simulation, design and applications), applied winter school. (Davetli Konuşmacı)
- 5- Ağar, O., Boztosun, I., Korkmaz, M.E. ve Ozmen, S.F. (2014). Environmental Assesment of Heavy Metal in Soils by X-Ray Flourences Spectroscopy. 31st Turkish Physical Society Conference.
- 6- Cecen, Y., Dapo, H., Boztosun, I., Caner, T. ve Ozmen, S.F. (2013). Lineer Hızlandırıcılarda Oluşan Fotonötronların Hasta Üzerine Etkisinin Nötron Aktivasyon Analizi ile İncelenmesi. 14. Medikal fizik Kongresi.
- 7- Ozmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I. ve Yavuz, M. (2013). Environmental Radioactivity Analysis In Mersin, Turkey Following The Fukushima Dai-Ichi Nuclear Accident. 2nd International Conference on Water Energy and Environment.