

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Ahmet Ş. AYKAMIŞ

**TÜRKİYE’DE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN BAZI DOĞAL
TAŞLARDAKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENEREK,
KİMYASAL VE MİNERALojİK BİLEŞİM İLİŞKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN BAZI
DOĞAL TAŞLARDAKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN
BELİRLENEREK, KİMYASAL VE MİNERALojİK BİLEŞİM
İLİŞKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Ş. AYKAMIŞ
DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29/12/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Oy birliği/ Oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza.....	İmza.....	İmza.....
Prof. Dr. Mesut ANIL	Prof. Dr. Fikret İŞLER	Doç. Dr. Sedat BİLGİN
JÜRİ BAŞKANI	ÜYE	ÜYE
İmza.....	İmza.....	
Doç. Dr. Ahmet M. KILIÇ	Doç. Dr. Özen KILIÇ	
DANIŞMAN	ÜYE	

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF 2005D8

Bu Çalışma TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Tarafından Desteklenmiştir.

Protokol No: Çukurova Üniversitesi’nin B.30.2.ÇKO.0.47.00.00/125.1346 sayılı yazısında belirtilen ve 08.03.2004 tarihinde yürürlüğe giren 5 yıllık protokol.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

ÖZ
DOKTORA TEZİ

**TÜRKİYE’DE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN
BAZI DOĞAL TAŞLARDAKİ RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN
BELİRLENEREK, KİMYASAL VE MİNERALojİK BİLEŞİM
İLİŞKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Ş. AYKAMIŞ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Yıl : 2008, **Sayfa:**204
Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL
Prof. Dr. Fikret İŞLER
Doç. Dr. Sedat BİLGEN
Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Doç. Dr. Özen KILIÇ

Özet: Bütün yapı malzemeleri değişik miktarlarda doğal radyonüklitler içermektedir. Kayalardan ve topraktan elde edilen malzemeler genellikle Uranyum(²³⁸U) ve Toryum (²³²Th) serilerinin doğal radyonüklitleri ile Potasyum (⁴⁰K) radyoaktif izotopunu içermektedir. Uranyum serilerinde ²²⁶Ra ile başlayan bozunma serisi önem arz ettiğinden, referanslar genellikle Uranyum yerine Radyuma yapılmaktadır. Yapı malzemelerindeki radyoaktivitenin kontrol amacı, maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin bu malzemeler nedeniyle artmasının önlenmesidir. Toplum üyelerinin alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulması esastır. Ancak, yapı malzemelerinin kullanım alanının genişliği nedeniyle bunlardan kaynaklanan radyasyonun tamamen önlenmesi mümkün değildir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de mermer, granit, bazalt, traverten ve benzeri yapı malzemelerine, hammadde oluşturacak yapıtaşlarının çıkarıldığı belli başlı maden ocaklarında, yerinde numune alma metodlarıyla numuneler alıp, daha sonra bu numunelerin radyonüklit-alfa-gama ışımasına bağlı olarak, kimyasal özelliklerini belirleme işlemlerine tabi tutmak ve radyoaktif element-jeolojik formasyon ilişkilerini belirlemektir. Çalışmanın sonucunda elde edilen verileri ilgili kurum ve kuruluşlar ile paylaşarak yapı malzemeleri ile ilgili standartların hazırlanmasında doğru ve güvenilir bilgi oluşturmak ve Türkiye geneline yapılacak aynı tür çalışmalar için hem donanım hem de bilgi açısından alt yapı sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğaltaş; Radyoaktivite; Yapı malzemeleri; Granit; Gamma

ABSTRACT

PhD THESIS

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS IN TURKISH STONES USED AS BUILDING MATERIALS AND INVESTIGATION OF THEIR RADIOACTIVITY RELATIONS WITH MINERALOGIC AND CHEMICAL COMPOSITIONS

Ahmet Ş. AYKAMIŞ

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

Year: 2008, **Page:** 204

Jury : Prof.Dr. Mesut ANIL

Prof.Dr. Fikret İŞLER

Assoc. Prof. Dr. Sedat BİLGEN

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ

Abstract: All building materials consist of natural radio nuclides in varying amounts. Materials produced from rocks and soil generally contain natural radionuclide series, as ^{238}U (Uranium) and ^{232}Th (Thorium) with radioactive isotope as ^{40}K (potassium). In U series, ^{226}Ra series have an important place in radioactive half life series. Therefore, references are made for Radium series rather than Uranium. The aim of controlling the radioactivity in building materials is to prevent the increase in the natural radiation doses taken due to use of these materials. Unfortunately, it is not possible to prevent the radiation from the stones completely, because, the extent of use areas of them is very broad.

The aim of this study is to measure the radio activities of the stone samples, such as granite, marble, basalt, travertine, ect. taken from the main stone mines and to determine their relation between their radio activities and chemical compositions and geological formations.

This thesis could provide useful information to set the standards, for the building materials from the radioactivity point of view.

Key words: Stone; Radioactivity; Building materials; Granite; Gamma

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında yapmış olduğum Doktora tez çalışmasının her aşamasında beni yönlendiren ve destek veren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapmış olduğum Doktora çalışmasına imkan sağlayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a ve doktora tez izleme komitesinde yer alan, Sayın Prof. Dr. Fikret İŞLER'e, tez savunmamda jüri üyeliğini kabul eden, Sayın Doç. Dr. Sedat BİLGİN ve Sayın Doç. Dr. Özen KILIÇ'a teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği ile yapılan protokolle, bu tezde tavsiyeleri, destekleri ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na ve çalışılan projede kurumca görev alan, Sayın Doç. Dr. Şeref TURHAN, Sayın Doç. Dr. Haluk YÜCEL ve Sayın Doç. Dr. Halil DEMİREL'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tezin literatür ve fikir bazlı çalışma esnasında gerek fikirlerinden gerekse eserlerinden çok defa faydalandığım, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nden, merhum, çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gülten GÜNEL ve Sayın Uzm. Dr. Aysun UĞUR'a teşekkür ederim.

Araştırmalarım sırasında numune temini-üretimi ve tezin yürütülmesi esnasında büyük kolaylık gösteren, kurumum, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'ne ve şu anki MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü'nü yürüten Sayın Şahin TAŞKIN ve Bölge Müdür Yardımcısı Sayın Memduh KUŞÇU'ya, Sayın Nilda YALÇIN ve Sayın Afitap TAŞ'a teşekkür ederim.

Doğal taş örneklerini bize temin etmekte yardımcı olan, tüm kurum ve kuruluşlara ve son olarak sürekli manevi desteklerini her zaman hissettiğim, aileme ve adını burada saymadığım değerli arkadaş ve hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	14
3.1. Radyasyon	15
3.1.1. Radyasyon Dozu	17
3.1.2. Radyasyon Birimleri.....	18
3.1.2.1. Işınlama Birimi	18
3.1.2.2. Soğurulan Doz Birimi	19
3.1.2.3. Eşdeğer Doz Birimi.....	19
3.1.2.4. Etkin Doz Birimi.....	20
3.1.2.5. Aktivite Birimi.....	20
3.1.3. Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları.....	20
3.1.3.1. Radyasyon Görevlileri İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları	20
3.1.3.2. Toplum Üyesi Kişiler için Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı.....	21
3.2. Radyasyon Kaynakları	21
3.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	22
3.2.1.1. Kozmik Radyasyon.....	22
3.2.1.2. Gamma Radyasyonu	23
3.2.1.3. Radon	24
3.2.1.4. Vücuttaki Radyoaktivite.....	24
3.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	25

3.2.2.1. Tıbbi Uygulamalar	26
3.2.2.2. Tanısal Radyoloji	26
3.2.2.3. Nükleer Tıp	26
3.2.2.4. Radyoterapi.....	26
3.2.2.5. Endüstriyel Uygulamalar.....	27
3.2.2.6. Nükleer Serpinti	27
3.2.2.7. Nükleer Güç Santralleri.....	27
3.2.2.8. Tüketici Ürünleri.....	28
3.3. İyonlaştırıcı Radyasyon	28
3.3.1. Alfa Parçacığı.....	28
3.3.2. Beta Parçacığı.....	31
3.3.3. X-Işınları.....	31
3.3.4. Gamma Işınları.....	32
3.3.5. Nötronlar	32
3.4. İyonlaştırıcı Radyasyonu Ölçme Birimleri.....	32
3.5. Normal Olarak İyonlaştırıcı Radyasyon ile Işınlanma Miktarları	33
3.6. İyonlaştırıcı Radyasyonun Tehlikeleri	35
3.7. Radyasyonun Sağlık Riskleri.....	36
3.8. İyonlaştırıcı Radyasyonun Yarar ve Riskleri.....	38
3.9. Radon Gazının Sağlık Etkileri	40
3.9.1. Radonun Problem Olarak Görülmesi	41
3.9.2. Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Belirleyen Unsurlar	42
3.10. Risk Karşılaştırmaları.....	42
3.11. Radyasyondan Korunmanın Temel Prensipleri	43
3.11.1. Gerekçelendirme.....	43
3.11.2. Optimizasyon	44
3.11.3. Özel Durumlar İçin Planlanan Işınlanmalar.....	44
3.11.4. Tıbbi Işınlanmalar İçin Doz Kısıtlamaları	44
3.12. Radyoaktif Bozunma.....	45
3.12.1. Karasal Radyasyon	45
3.12.1.1. Doğal Radyoaktif Seriler	46

3.12.1.2. Doğada Tek Başına Bulunan Radyoaktif Elementler	48
4. RADYOAKTİVİTE İÇEREN KAYAÇLAR.....	50
4.1. Magmatik Kayaçlar.....	50
4.2. Tortul Kayaçlar	51
4.3. Metamorfik Kayaçlar.	53
4.4. Yer kabuğundaki Potasyum, Uranyum Oranının Önemi	54
4.5. Toprak ve Kayalardaki Radyoaktivite.....	56
4.6. Toprak ve Kayalardaki Uranyum, Radyum ve Radon	60
4.7. Radonun Oluşumu ve Yayılımı.	62
4.7.1. Radonun Kaynağı.....	62
4.7.2. Derinliklere Bağlı Olarak Radon Konsantrasyonları	63
4.7.3. Ana Kayadaki Fay ve Kırık Bölgelerinden Radon Yayılımı	64
4.7.4. Bina dışı ve içi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri	66
4.8. Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları	69
4.9. İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler	71
4.10. Doğal taş Türlerinde Radyoaktif Minerallerin Tayinine Yardımcı Olacak Petrografik ve Mineralojik Bilgiler.....	71
4.10.1. İzomorfizm.....	73
4.10.2. Magmatik Kayaçlarda Senjenetik Radyoaktif Mineraller	75
4.10.3. Derinlik Magmatik Kayaçlarında Senjenetik Radyoaktif Mineraller.....	76
4.10.3.1. Jeokimyasal Veriler.....	76
4.10.4. Magmatik Kayaçlarda Uranyum ve Toryumun Bulunuşu.....	78
4.10.5. Uranyum, Toryum ve Magmanın Kristalleşmesi.....	79
4.10.6. Magmatik Kayaçlardaki Uranyum ve Toryumun Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	80
5. MATERYAL ve METOD.....	82
5.1. Materyal.....	82
5.1.1. Analizlerin Yapılmasına Yönelik Çalışmalar	82
5.1.2. Örneklerin Toplanması ve Radyometrik Ölçüme Hazırlanması.....	83

5.1.2.1. Analizlerde Kullanılan Doğal Taş Türleri Hakkında	
Genel Bilgiler	86
5.1.2.1.(1). Mermerler	86
5.1.2.1.(2). Granitler	89
5.1.2.1.(3). Bazı Bazalt ve Bazaltik Pomza Türleri.....	91
5.1.2.1.(3).(a). Bazaltlar	91
5.1.2.1.(3).(b). Bazaltik Pomza	93
5.1.2.1.(4). Diğer Bazı Endüstriyel Hammaddeler.....	96
5.1.2.1.(4).(a). Kalker (Kireçtaşı).....	96
5.1.2.1.(4).(b). Kireç.....	98
5.1.2.1.(4).(c). Kuvars	100
5.1.2.1.(4).(d). Kuvarsit	102
5.1.2.1.(4).(e). Kuvars Kumu.....	103
5.1.2.1.(4).(f). Traverten.....	104
5.2. Metod	106
5.2.1. Örneklerin Toplanması	106
5.2.2. Örneklerin Kırılması ve Öğütülmesi	110
5.2.3. Örneklerin SANAEM-TAEK 'e Gönderilmek Üzere	
Hazırlanması	111
5.3. Doğal Ortam Sayımı (Background)	112
5.4. Toprak ve Kayalarda Radyoaktivite Tayini	113
5.5. Örneklerin Radyoaktivite Seviyesinin Tayini (Gamma Spektroskopik	
Sistem	115
5.6. Analizlerin Yapılması	117
5.6.1. Doğal Taş Türlerinin Gamma Spektrometrik Analizi	117
5.6.2. Doğal Taşlarda Radyoaktivite Tehlike İçeren, Doz ve Tehlike	
İndekslerinin Hesaplanmasına Yönelik Çalışmalar	118
5.6.2.1. Aktivite Konsantrasyon İndeksi	119
5.6.2.2. Temsili Aktivite Konsantrasyon İndeksi.....	120
5.6.2.3. Soğurulmuş Doz Hızı.....	120
5.6.2.4. Etkin Doz Hızı	121

5.6.2.5. Eşdeğer Radium Aktivite Değeri.....	121
5.6.2.6. Dış Tehlike İndeksi	122
5.6.2.7. İç Tehlike İndeksi	122
5.6.3. Doğal Taş Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analizleri.....	123
5.6.3.1. Kimyasal Analiz (XRF)	123
5.6.3.2. Kalitatif ve Yarı Kantitatif Analiz (XRD).....	124
5.6.3.3. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS).....	124
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	125
6.1. Radyoaktivite Analizlerinden Elde Edilen Bulgular.....	125
6.2. Mermer Türleri	125
6.2.1. Analizlerde Kullanılan Mermer Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri.....	127
6.2.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Mermer Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması.....	133
6.3. Granit Türleri.....	140
6.3.1. Analizlerde Kullanılan Granit Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri	140
6.3.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Granit Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması	147
6.4. Bazalt ve Bazaltik Türler.....	154
6.4.1. Analizlerde Kullanılan Bazaltik Türlerin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri	154
6.4.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Bazaltik Türlerin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması.....	161
6.5. Diğer Bazı Endüstriyel Hammadde Türleri.....	168
6.5.1. Analizlerde Kullanılan Endüstriyel Hammadde Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri.....	168

6.5.2. Analizlerde Kullanılan Endüstriyel Hammadde Türlerinin	
Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması.....	175
6.6. Bulguların Sentezi.....	179
6.6.1. Doğal Taş Türlerinden Elde Edilen Radyoaktiflik Hesaplamalar	
ve Sonuçları.....	179
6.6.2. Doğal Taş Türlerinden Elde Edilen Kimyasal ve Mineralojik	
Analiz Sonuçlarının Radyoaktivite ile İlişkisinin Yorumlanması	184
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	188
KAYNAKLAR.....	192
ÖZGEÇMİŞ.....	204

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.	21
Çizelge 3.2. Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar	29
Çizelge 3.3. Değişik meslekler için yıllık ortalama etkin dozlar	29
Çizelge 3.4. Radyasyon kaynakları ve dozları.....	43
Çizelge 3.5. Radyasyonla çalışanların kanserde ölme riski ile endüstriyel kazalar nedeni ile ölüm risklerinin karşılaştırılması.....	44
Çizelge 3.6. Doğada tek başına bulunan bazı radyonüklitler	48
Çizelge 3.7. Periyodik cetvel	49
Çizelge 4.1. Magmatik kayaç türleri.	50
Çizelge 4.2. Tortul kayaçların sınıflandırılması.....	52
Çizelge 4.3. Metamorfik kayaçların sınıflandırılması.....	53
Çizelge 4.4. Potasyumun değişik kayaç türlerindeki ortalama dağılımı	55
Çizelge 4.5. Uranyumun çeşitli elemanlarda bulunma oranları.....	55
Çizelge 4.6. Doğada bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ' nin yarı ömürleri, spesifik aktivite değerleri ve bozunum başına yayınladıkları foton sayısı.....	56
Çizelge 4.7. Farklı kaya türlerine ilişkin yıllık doz değerleri.....	57
Çizelge 4.8. Doz katsayıları ve yıllık efektif dozlar ile birlikte ^{222}Rn , ^{220}Rn ve onların bozulma ürünlerinin dünya genelindeki ortalama konsantrasyonları	67
Çizelge 4.9. Uranyum ve toryum minerallerinde izomorfizm.....	74
Çizelge 4.10. Değişik tipteki magmatik kayaçlarda uranyum ve toryum miktarları.	76
Çizelge 5.1. Analizlerde kullanılan doğal taş türleri	84
Çizelge 5.2. Türkiye mermer yatakları.....	89
Çizelge 5.3. Travertenlerin illere göre rezerv tablosu	105
Çizelge 5.4. Aktivite konsantrasyon indeksi limitleri.	119
Çizelge 6.1. Analizlerde kullanılan mermer türleri.....	126
Çizelge 6.2. Analizleri yapılan mermer türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri	128

Çizelge 6.3. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren mermer türlerine ait kimyasal analiz sonuçları.	135
Çizelge 6.4. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren mermer türlerine ait tali element analiz sonuçları.	135
Çizelge 6.5. Analizlerde kullanılan granit türleri.....	140
Çizelge 6.6. Analizleri yapılan granit türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri.....	142
Çizelge 6.7. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren granit türlerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	148
Çizelge 6.8. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren granit türlerine ait tali element analiz sonuçları.....	148
Çizelge 6.9. Analizlerde kullanılan bazaltik doğal taş türleri.....	154
Çizelge 6.10. Analizleri yapılan bazaltik türlerin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri	156
Çizelge 6.11. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazaltik türlere ait kimyasal analiz sonuçları.	162
Çizelge 6.12. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazaltik türlere ait tali element analiz sonuçları.	162
Çizelge 6.13. Analizlerde kullanılan endüstriyel hammadde türleri.....	168
Çizelge 6.14. Analizleri yapılan endüstriyel hammadde türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri.	170
Çizelge 6.15. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait kimyasal analiz sonuçları	177
Çizelge 6.16. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait tali element analiz sonuçları.....	177

Şekil 3.1. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları	14
Şekil.3.2. Atom	16
Şekil 3.3. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	22
Şekil 3.4. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi	23
Şekil 3.5. İnsan vücudunun radyasyona maruz kaldığı bölgeler.....	25
Şekil 3.6. Alfa, beta ve gamma radyasyonlarının birbirlerine göre giricilik gücü.....	25
Şekil 3.7. Radyoaktif bozunma	30
Şekil 3.8. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları	33
Şekil.3.9. Doğadaki radyoaktif maddelerin insanlara geçiş yolları.....	34
Şekil 3.10. DNA yapısının radyasyona karşı onarım mekanizması.....	36
Şekil 3.11. Radon gazı'nın akciğer'e etkileri.....	40
Şekil 3.12. Binalarda radon girişleri.....	41
Şekil 3.13. Uranyum serisinin bozunum şeması	46
Şekil 3.14. Toryum serisinin bozunum şeması	47
Şekil.3.15. Aktinyum serisinin bozunum şeması.	47
Şekil 4.1. Granit magmanın yeryüzü kabuğuna yukarı yönlü bir zorlaması gösterilmiştir. Kubbeye benzer kısmın üst tarafı K, U ve Th elementleri bakımından zengindir.	60
Şekil 4.2. Radon derişjminin yan ömrüne bağlı olarak değişimi.	63
Şekil 4.3. Farklı derinliklerdeki radon konsantrasyonundaki değişimler.....	64
Şekil 4.4. Bina dışı radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri.....	66
Şekil 4.5. Bina dışı radon konsantrasyonunun günlük değişimleri.....	66
Şekil 4.6. Almanya'da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi.....	68
Şekil 4.7. Hindistan'da bina içi radon seviyelerinin yıllık değişimi.	69
Şekil 5.1. Analizlerde kullanılan örnek yerleri	85

Şekil 5.2. Analizlerde kullanılan örneklerin analiz-akım şeması.....	107
Şekil 5.3. Katı hal detektörü	114
Şekil 5.4. Gamma spektroskopi sisteminin çalışma düzeneği.....	116
Şekil 6.1. 35 mermer türüne ait radyasyon aktivite değerleri.....	129
Şekil 6.2. 35 mermer türüne ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri.	130
Şekil 6.3. Analizi yapılan mermer türlerine ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indeksleri	131
Şekil 6.4. Ra_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon.....	132
Şekil 6.5. Analizi yapılan mermer türlerine ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri	132
Şekil 6.6. Analizi yapılan mermer türlerine ait dahili ve harici etkin doz değerleri.....	134
Şekil 6.7. Kapadokya Bej mermerine ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar). 136	
Şekil 6.8. Afyon Kaplan Postu 1 mermerine ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar).....	137
Şekil 6.9. Afyon Kaplanpostu 1 mermerine ait XRD diyagramı.....	138
Şekil 6.10. Kapadokya Bej mermerine ait XRD diyagramı	139
Şekil 6.11. 7 Farklı granit türüne ait radyasyon aktivite değerleri.....	143
Şekil 6.12. 7 Farklı granit türüne ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri.	143
Şekil 6.13. Analizi yapılan granit türlerine ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri.....	145
Şekil 6.14. Ra_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon.....	145
Şekil 6.15. Analizi yapılan granit türlerine ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri.....	146
Şekil 6.16. Analizi yapılan granit türlerine ait dahili ve harici etkin doz değerleri	147
Şekil 6.17. Bandırma Granit türüne ait XRD diyagramı	150
Şekil 6.18. Bandırma Granit türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)....	151
Şekil 6.19. Giresun Vizon türüne ait XRD diyagramı	152
Şekil 6.20. Giresun Vizon granit türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)	153

Şekil 6.21. 5 Farklı bazaltik türe ait radyasyon aktivite değerleri	157
Şekil 6.22. 5 Farklı bazaltik türe ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri.....	157
Şekil 6.23. Analizi yapılan bazaltik türlere ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri	159
Şekil 6.24. Ra_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon.....	159
Şekil 6.25. Analizi yapılan bazaltik türlere ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri.....	160
Şekil 6.26. Analizi yapılan bazaltik türlere ait dahili ve harici etkin doz değerleri.....	160
Şekil 6.27. Osmaniye Bazaltik Pomza türüne ait XRD diyagramı	164
Şekil 6.28. Osmaniye Bazaltik Pomza türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 3. noktalar)	165
Şekil 6.29. Diyarbakır Bazalt 3 bazalt türüne ait XRD diyagramı	166
Şekil 6.30. Diyarbakır Bazalt 3 bazalt türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar).....	167
Şekil 6.31. 6 Farklı endüstriyel hammadde türüne ait radyasyon aktivite değerleri	171
Şekil 6.32. 6 Farklı endüstriyel hammadde türüne ait Ra_{eq} (eşdeğ. radyum akt.) değerleri.	171
Şekil 6.33. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri	173
Şekil 6.34. Ra_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon.....	173
Şekil 6.35. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri.....	174
Şekil 6.36. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait dahili ve harici etkin doz değerleri.....	175
Şekil 6.37. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'na ait örneklerden bir XRD diyagramı.....	178
Şekil 6.38. Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'na ait örneklerden bir XRD diyagramı	179
Şekil 6.39. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif konsantrasyonlarının şematik olarak karşılaştırılması	180

Şekil 6.40. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, eşdeğer radyum aktivite değerleri (R_{eq}) açısından şematik olarak karşılaştırılması.....	181
Şekil 6.41. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, dış (H_{ex}) ve iç (H_{in}) tehlike indeksleri açısından şematik olarak karşılaştırılması.....	181
Şekil 6.42. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, aktivite konsantrasyon indeksleri (I_{yr} ve I).....	182
Şekil 6.43. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, soğurulmuş doz hızları (dahili ve harici).	183
Şekil 6.44. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, etkin doz hızları (dahili ve harici).	183
Şekil 6.45. Radyoaktivite analizleri yapılan tüm doğal taş türlerini oluşturan kimyasal bileşik ve elementlerin % ortalama değerleri.....	186
Şekil 6.46. Doğal taş türlerinin içerdiği radyoaktifliğe neden olan elementler	187

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

SAYFA

Foto 5.1. Sistematik örnek alımı (Ovacık Kuvars İşletmesi doğu kesimi üretim basamakları (Kargıcak).	108
Foto 5.2. Sistematik örnek alımı (Ceyhan Yöresi Kireçtaşı Ocağı).....	108
Foto 5.3. Laboratuara getirilen örnekler (1 ve 2).....	109
Foto 5.4. Boyutlandırma ve etiketleme (1 ve 2).	109
Foto 5.5. Örneklerin kırılması ve öğütülmesi işlemi (1-Kırma, 2- Öğütme).....	110
Foto 5.6. Örneklerin SANAEM-TAEK ‘e gönderilmek üzere hazırlanması (1-2).....	111
Foto 5.7. Örneklerin analiz kaplarına alınışı (Marinelli kaplarında kataloglama).....	112
Foto 5.8. Canberra Model 767 gama spektrometre cihazı (1-2-3-4)	116

SİMGELER VE KISALTMALAR

SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EEC	Equilibrium Equivalent Concentration
EPA	United States Environmental Protection Agency
HPGe	Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE-TS	Türk Standartları Enstitüsü
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
RESA	Radyasyon Erken Uyan Sistem Ağı
HV	Yüksek Voltaj Kaynağı
D	HPGe Dedektör
PA	Ön Yükseltici
MA	Ana Yükseltici
ADC	Sayısal- Örneksele Dönüştürücü
MCA	Çok Kanallı Analizör
PC	Bilgisayar
PR	Bilgisayar Yazıcısı
PL	Bilgisayar Grafik Çizicisi
eV	Elektron volt
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama parçacığı
Gy	Gray, soğurulmuş doz birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi
ppm	1 mg/kg veya 1 mg/lt
Bq	Becquerel, aktivite birimi

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin engel tanımadığı dünyamızda, gelişen teknolojiyle birlikte, her türlü meslek dalında sağlıklı şartlarda çalışmanın önemi bir kez daha artmıştır. Özellikle önemi yeni yeni anlaşılan ve sadece nükleer bilim dalında zararları olduğu yaygın kanı olarak bilinen radyasyonun, aslında doğal ve kapalı çalışma ortamlarında, insan ve işçi sağlığını, sinsice, ne derece tehdit ettiği, yapılan çalışmalarla henüz anlaşılabilmektedir.

Radyasyon insan ve çevre açısından görünmez bir tehdittir. Onun zararlarını ancak daha sonradan ölümcül tecrübeler yaşayarak öğrenebiliriz. Toplumlarda ortaya çıkan çevre bilinciyle beraber, bu tip olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi ile ilgili hassas çalışmalar son 10 yılda daha da artmıştır. Hayatta yaşamak için, fark edemediğimiz ama etkilendiğimiz, göremediğimiz ama kullandığımız, bilemediğimiz ama ürettiğimiz her şeyin yararlarının olduğu kadar zararlarının da olduğunu unutmamalıyız.

Yer kabuğundan çıkarılarak kullanılan "Endüstriyel Hammaddeler" içinde "Taşlar"ın önemli bir yeri vardır. Taş, tarihsel çağlar boyunca insan ile bütünleşen bir malzemedir. İnsan yaşamı, barınmadan, korunmaya, duygularını, mesajlarını geleceğe aktarmadan, sonsuza yolculuğunda bedenini emanet etmeye kadar, sağlamlığın, güvenin simgesi olan taş ile iç içedir (TUMMER, 2005).

Taş, ilkel insandan, günümüzün çağdaş insanına kadar onun yaşamında şekil ve işlev değiştirerek sürekli kullanılagelmiştir. Dünyadaki bilimsel ve teknolojik gelişmeye paralel olarak yaşam anlayışı da, beklentiler de değişmektedir. Günümüzde, daha sakin ve huzurlu doğal ortamlarda yaşama isteği giderek artmaktadır. Çağdaş insan bu özlemini, olabildiğince doğal taşlarla bezenmiş mekanlarda yaşamını sürdürerek gidermeye, en azından buna katkı sağlamaya çalışmaktadır (TUMMER, 2005).

Yapıda genellikle yüzeyleri düzeltilerek parlatılmış doğal taş ürünleri kullanılır. Özel işlemlerle yüzeyi pürüzlü hale getirilmiş ve parlatılmadan kullanılan cephe kaplaması uygulamaları da son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Yapıların düşey yüzeylerinde (iç ve dış), taban döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif

amaçlarla gerçekleştirilen pürüzlü yüzey uygulamaları da kaplama amaçlıdır (TUMMER, 2005).

Yapıtaşı sözcüğü, yol ve kaldırım döşemesi, bordür taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir kullanım alanını belirtmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür kullanımlar için yerinde kesme, doğal süreksizliklerden yararlanma ve patlayıcı madde kullanımı yoluyla ocak üretimi yapılmaktadır. Ürün boyutu ve özellikleri kullanım alanına göre farklılıklar gösterir. Doğal taş ocaklarında blok boyutu küçük olan malzemeden genellikle yapıtaşı olarak yararlanılır. Bazı durumlarda ise doğal süreksizlikleri boyunca plaka şeklinde ayrılan yapıtaşları kaplama ve örtü amacıyla kullanılmaktadır. Gnays, fillat, grafit şist gibi dekorasyon ve çatı örtüsü amaçlı olarak kullanılan metamorfik taşlar bu gruba girmektedir.

Son yıllarda "Taş - Toprak Endüstrisi" olarak isimlendirilen ve çimento, seramik, cam gibi sektörlerin içine yukarıda tanımlanan "Yapıtaşları" da alınmıştır. Başka bir deyişle, yapıtaşları çağdaş anlamda bir endüstriyel hammadde türü olarak benimsenmiştir (TUMMER, 2005).

İnşaatta kullanılan yapıtaşları kendi içinde:

- Yontulmamış (ham) taşlar,
 - Gelişigüzel yontulmuş taşlar,
 - Kırılmış elenmiş taşlar (Agrega),
 - Soyutlandırılmış blok taşları,
 - Kesilmiş, boyutlandırılmış levha (plaka), fayans vb hale getirilerek, "İşlenmiş Taşlar",
- olarak sınıflandırılmaktadır.

Tüm bu taşlar, yer kabuğunda açılan "Taş Ocakları'ndan elde edilmektedir. Taşların kullanılacağı yerlere göre, uygulanan "İşletme Yöntemleri" de değişmektedir.

Uluslararası piyasada da rastlanan bu isimlendirme karmaşasının önüne geçmek için son yıllarda Soyutlandırılmış Doğal Bloктаş (Natural Dimension Stones) Sektöründeki Sınıflama

- Gerçek (bilimsel tanıma uygun) Mermerler,
- Renkli Doğal Taşlar,
- Traverten ve Oniksler,
- Sert taşlar

(Magmatik ve Volkanik) olarak 4 ana grup adı altında yapılmaktadır.

Bu sınıflamaya göre taşın çıkarıldığı yörenin isminin yanı sıra, renginin ya da türünün belirtilmesi yeterli olmaktadır.

Ülkemiz zengin mermer ve diğer renkli doğal taş rezervlerine sahiptir. Jeolojik rezerv içinde işletilebilir (görünür) rezervin oranı ülke geneli için kesin olarak belli değildir. Bu amaçla yapılacak ayrıntılı araştırmalar gerekmektedir. Türkiye’de masif niteliği gösteren metamorfik temeller içinde küçük ya da büyük yayılımlı mercek şeklinde mermer yatakları bulunmaktadır. Buna ek olarak ülkeye dağılmış durumda Devoniyen, Triyas, Jura, Kretase ve Paleojen yaşlı kireçtaşları yüzeylenmektedir. Traverten ve oniks rezervleri ülkemizin bilinen kırık hatları boyunca gelişmiştir. Ayrışma, kırıklı yapı, anklav içeriği, renk ve homojenlik yönünden sorunlu olan magmatik taş (serttaş) rezervlerimiz için de ayrıntılı araştırma yapılmamıştır (TUMMER, 2005).

İçinde bulunduğumuz yıllarda dünyanın 60 milyon tonu aşan yıllık doğal taş üretiminin, 10 yıl içerisinde 150 milyon tonun üzerine çıkacağı ve 2025’de bugünkü miktarının 5’e katlanarak 300 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Halen ülkemizde sektörün başta İtalya olmak üzere önde sayılan ülkeleri ile rahatlıkla boy ölçüşebilecek teknolojik düzeyde 20 dolayında entegre tesis, 40 dan fazla orta büyüklükte işletme, 1500 dolayında ise küçük ölçekli taş işleme atölyeleri bulunmaktadır. sayıları 1000’e yaklaşan doğal taş ocağından son yıllarda toplam 1.5 milyon m³ (4 milyon ton) dolayında üretim yapılmaktadır (TUMMER, 2005).

Yer kabuğu orijinli ham yapı malzemelerinde veya işleminden geçirilmiş yapı ürünlerinde, ²³⁸U (yer kabuğundaki derişimi; yaklaşık 2-4 ppm) ile başlayan uranyum-radyum ve ²³²Th (yer kabuğundaki derişimi; yaklaşık olarak 10-12 ppm) ile başlayan toryum serilerine ait radyonüklitler ve ⁴⁰K radyoizotopu (doğal potasyumdaki bolluk oranı % 0,0118) mevcuttur. Çoğu alfa yayınlayıcısı olarak da bilinen bu radyonüklitlerin miktarları veya derişimleri, alındıkları bölgeye ve jeolojik

şartlara göre değişebilmektedir. Radyonüklitlerden yayınlanan gamma radyasyonu, tüm vücut dozuna, bazı durumlarda da beta radyasyonu, deri dozuna katkıda bulunur. Ayrıca uranyum ve radyumun zehirli olmasının yanında özellikle ^{226}Ra (radyum)'nın ürün çekirdeği ^{222}Rn (radon) asal gazı, serbest kalması sonucunda solunum yoluyla vücuda girerek zarar verebilir. Dolayısıyla bireylerin maruz kaldıkları radyasyon dozları, radyoaktivitesi normal düzeyin üzerinde olan yapı malzemelerinin kullanıldığı meskenlerde ve iş yerlerinde yaşamaları halinde artabilir. Bu yüzden yapıtaşlarında, bu doğal radyoaktif serilere ait radyonüklitlerin ve ^{40}K (potasyum) radyoizotopunun özgün aktivite derişimlerinin belirlenmesi,

- Bu tür malzemelerin kullanımı sonucunda bireyler için mümkün radyolojik riskin ve biyolojik zararın değerlendirilmesi,
- Çalışma yerlerinde ve meskenlerde yaşayan bireylerin yıllık alması gereken doza, yapı malzemelerinden gelen katkının hesaplanması,
- Yapı malzemeleri endüstrisinde kullanılması zorunlu olan malzemeler ile ilgili standartların oluşturulması, geliştirmesi ve bu malzemelerin kullanımı ve yönetimi için yol gösterici bilgilerin hazırlanması açısından çok önemlidir.

Yapı malzemelerinde kullanılan yapıtaşlarındaki radyoaktivitenin belirlenmesi hem çevre hem de insan sağlığı açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Bugün yeni yeni önemi anlaşılan ve yapıtaşlarında bulunan radyonüklitlerin zamanla içinde bulundukları ortamlarda kansere etken yapıları bulunmakla beraber bunun sonucunda ölümle biten sonlara rastlamak olağan hale gelmiştir. Ayrıca son zamanlarda AB (Avrupa Birliği) ülkelerinde bu durum hassasiyetle ele alınmakla beraber bu konuda yurtiçi veya yurtdışından gelen doğal yapıtaşlarındaki radyoaktivite değerlerinin ölçülmesine yönelik azami bir dikkat gösterilmektedir. Bununla beraber son AB yasalarında da üstüne basa basa belirtilen, insan ve çevre açısından önemli bir yer teşkil eden doğal yapıtaşı kullanımının radyoaktivite değerlerinin mutlak ölçülmesi ve daha sonra kullanıma sunulması yönünde ısrarlı tutumudur. Nitekim Türkiye'den AB ülkelerine giden bazı ocaklardan hammadde olarak çıkarılan ve seramik yapımında kullanılan bazı kil ve kuvars bazlı yapı malzemelerinde aşırı radyoaktivite değerleri bulunduğu tespit edilmiş ve bu malzemeler Türkiye'ye geri gönderilmiştir.

Bugün bir çok ülkede yapıtaşlarındaki özgün aktivitenin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar tamamlanmış ve yapı malzemelerinin standartları belirlenmiştir. Ancak ülkemizde benzer çalışmalar, proje bazında bilimsel olarak ele alınmamış ve bugüne kadar ayrıntılı bir çalışma yapılamamıştır. Bu konu ile ilgili doğru ve güvenilir bilgiler mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı; gamma spektroskopi tekniği kullanılarak, Türkiye genelindeki belli başlı ocaklardan çıkarılan, endüstriyel hammadde veya meskenlerin, kamu binalarının yapımında ya da dekorasyon amaçlı yapıtaşı olarak kullanılan; kökeni farklı mermer, granit, bazalt, traverten, kireçtaşı, vb. doğaltaş türlerinin, ^{226}Ra (radyum) ve ^{232}Th (toryum) radyonüklitlerinin ve ^{40}K (potasyum) radyoizotopunun özgün aktivite derişimlerinin ölçülmesidir. Ölçülen aktivite derişim değerleri kullanılarak radyonüklitlerden kaynaklanan gamma dozları hesaplanmıştır.

Doğal taş türlerinin üretildiği, maden yataklarından, yerinde numune alma metotlarıyla örnek numuneler alınıp, daha sonra bu numunelerin radyonüklid alfa-gamma ışımasına bağlı, radyoaktif radyonüklid konsantrasyonları, eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra_{eq}), iç (H_{in}) ve dış (H_{ex}) tehlike indeksleri, aktivite konsantrasyon indeksleri (I_{yr}) ve (I), soğurulmuş doz hızları ve etkin doz hızları belirlenmiştir. Ayrıca, radyoaktiflikleri, anomali (aykırılık) gösteren doğal taş türlerinin, radyoaktif element-jeolojik formasyon ilişkileri ve buna bağlı olarak kimyasal ve mineralojik belirleme işlemlerine tabi tutulmak suretiyle belirlenmeye çalışılmıştır.

Ana hedef, çalışmanın sonucunda elde edilen verileri ilgili kurum ve kuruluşlar ile paylaşarak, radyoaktiflik gösteren yapı malzemeleri ile ilgili standartların hazırlanmasında doğru ve güvenilir bilgi oluşturmak ve Türkiye genelinde yapılacak aynı tür çalışmalar için hem donanım hem de bilgi açısından alt yapı sağlamaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye’deki yapı malzemesi olarak kullanılan kökeni farklı kum, çakıl, çimento (Portland), beton (ve uçucu kül karışımından oluşturulan beton), alçı, kireç, tuğla (ve uçucu kül karışımından oluşturulan tuğla), vb. ve dekorasyon amaçlı kullanılan mermer, granit, fayans, vb. malzemelerin ham maddesinde mevcut olan en önemli radyoaktif elementler uranyum (^{238}U , ^{235}U , ^{234}U), toryum (^{232}Th , ^{230}Th), radyum (^{226}Ra , ^{228}Ra), radon (^{222}Rn), kurşun (^{214}Pb , ^{210}Pb), polonyum (^{210}Po) ve potasyum (^{40}K) dur. Bu radyonüklitler, bozunum süreçleri sonucunda alfa, beta ve gamma radyasyonları yayınlarlar.

Radyonüklitlerin özgün aktivite derişimlerinin doğru olarak ölçülmesi, toplum bireylerinin, sindirim ve solunum yolu ile çevreden (su, toprak, bitki), gıdalardan aldığı doğal radyoizotopların yanı sıra teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılan yapay radyoizotoplardan aldığı yıllık doz miktarına, yaşadığı meskenlerdeki ve çalıştığı işyerlerindeki yapı malzemelerinden kaynaklanan ilâve dozun belirlenmesi ve yapı malzemeleri ile ilgili standartların hazırlanması, geliştirilmesi açısından çok önemlidir.

Özellikle radyumun derişimi çok kritiktir çünkü ürün çekirdeği olan radon gazı kolaylıkla insanların yaşadığı mekanlara nüfuz edebilir.

Bu tür yapıtaşlarındaki alfa, beta ışınlamalarının ölçümü ve çevreye etkisi hakkında pek az çalışma ortaya konmuştur.

Ülkemizde ise benzer çalışmalar, proje bazında bilimsel olarak ele alınmamış ve bugüne kadar ayrıntılı bir çalışma yapılamamıştır.

Aşağıdaki paragraflarda, literatür araştırması yapılan ve incelenen çalışmaların, yapıtaşlarında bulunan radyonüklitlerin özgün aktivite derişimleri ve insan sağlığı açısından önemli olan, radyasyon tehlike indeksleri ve dozları hakkındaki bulguları verilmiştir.

Nakoman (1979), yazmış olduğu kitabında radyoaktif parçalanma, radyoaktivite ve radyoaktif parçalanma ürünleriyle ilgili genel bilgiler olmak üzere, 90 dan fazla radyoaktif mineral, magmatik kayaçlarda, pegmatitlerde ve

karbonatitlerdeki uranyum ve toryum yığılımlarını ayrıntılı olarak incelemiş, pirometasomatik, hidrotermal ve sedimanter radyoaktif mineral yatakları, bu yataklara ait Türkiye ve dünyadan çok sayıda örnek vererek ele almıştır.

Gündüz (1988), yüksek lisans çalışmasında, Çubukludağ (Cumaovası) güneybatısında yer alan 25 km²'lik alandaki birimlerin genel radyoaktivite değerlerini araştırmıştır.

Aslaner (1989), kitabında magmatik ve piroklastik kayalar hakkında geniş bir bilgilendirme yapmış, petrografiyle maden yatakları arasında yakın akrabalığı göz önüne alarak, ekonomik jeoloji ile desteklemiştir.

Noyan (1989), yüksek lisans tez çalışmasında, çalışma sahasının güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanan bir radyoaktivite anomali hattı tespit etmiştir. Tortul birimlerde nispeten daha zengin olan epijenetik ve/veya senjenetik uranyum yığılımının kaynağının yapılan radyoaktif ölçümlerden sonra, Yuntadağ andezitik volkanitleri olduğu bulunmuştur.

Sayın (1989), yüksek lisans tez çalışmasında, İzmir iline bağlı Menderes ilçesinin güneybatısında yaklaşık 40 km² lik bir alanda yayılım gösteren genel radyoaktivite içeriklerini araştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu, bölgede önemli bir radyoaktivite anomalisi ve uranyum yığılımı tespit edilmemiştir.

Uğur (1992), yüksek lisans tezinde, İzmir'de konut inşaatlarında kullanılan 15 ayrı tür çimento, 27 tuğla ve 7 kiremit örneğindeki % K, eU(Ra) ve eTh konsantrasyonlarının gamma spektrum analizi ile hesaplanmasına dair çalışmalar yapmıştır. Bulunan sonuçların çeşitli ülkelerde verilen aktivite sınırlamalarına uyduğu belirlenmiştir.

Ahmad ve ark. (1997), makalelerinde gamma ışın spektrometresi tekniği kullanılarak Ürdün'deki mermerlerin doğal radiaktivitesini araştırmışlardır.

Hassan ve ark. (1997), yazmış oldukları makalelerinde Mısır'daki monzonitlerdeki Uranyum ve Toryum içeriklerinin gamma ışını spektrometresiyle belirlenmesine yönelik araştırmalar yapmışlardır.

Khan ve ark. (1998), çalışmalarında Pakistan'daki fosfatlı kayalarındaki ve gübrelerdeki radiaktiviteyi ölçmüşlerdir.

Kumar ve ark. (1999), makalelerinde Hindistan'da yapı malzemesi olarak kullanılan yan ürünlerin (kum, portland çimento, uçucu kül, tuğla yapımında kullanılan kil ve curuf) ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerlerinin gamma (γ) spektrometre yöntemiyle tespitini anlatmışlardır.

Iqbal ve ark. (2000), çalışmalarında, Pakistan'da dekoratif amaçlı olarak binalarda kullanılan mermerlerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri gamma spektrometre yöntemiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçülen değerler, 4-63, 9-40, 7-105 Bqkg⁻¹ olarak, dünyadaki kıstas alınan verilerin altında kalmıştır.

El-Dine ve ark. (2001), makalelerinde, Mısır ve yakın çevresinden alınan 60 adet mermer ve granit numunesinin, kuru olarak radyasyon yoğunluklarını gamma spektrometre yöntemiyle belirlemiştir. Ayrıca mermerler ve granitlerde temsili aktivite konsantrasyon indeksleri ve dış tehlike indeksleri de belirlenmiştir. Granitlerdeki radon salınımı mermerlerden bq/kg olarak daha düşük çıkmıştır.

Karaman (2002), yüksek lisans çalışmasında, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine ait 20 farklı mermer numunesinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi tayini için, uygun iki farklı eğim düzeneği kullanmış ve kalibrasyon eğrilerinden yararlanarak radyoaktivite seviyelerini tayin etmiştir.

Abbady (2003), çalışmasında yukarı Mısır'dan toplanan toplam 103 numune üzerinde ölçülen radyolojik sayımları, eşdeğer radium aktivite, soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve temsili aktivite konsantrasyon indeksi değerlerini sunmuştur. Buna göre G.Sarai ve Ganz bölgesindeki değerler, Buna göre eşdeğer radium aktivite değeri her iki bölgede de, 299.4 ila 315.3 Bqkg⁻¹, soğurulmuş doz hızı 59.8 ila 358.2 nGy/h, etkin doz hızı ise 77.5 ila 413 nGy/h arasında ölçülmüştür.

Stoulos ve ark. (2003), çalışmalarında çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılan granüler yapıdaki taneciklerin radon emisyonunun ölçülmesine yönelik araştırmalar yapmışlardır.

Tzortzis ve ark. (2003), makalelerinde, Kıbrıs Rum Kesimine ithal edilen ve bina inşaatlarında kullanılan, granit türü malzemelerin, yüksek yoğunluklu gamma spektroskop cihazıyla, radyasyon konsantrasyonlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda numunelerin büyük bir çoğunlukla yüksek değerler ortaya koyduğu, ve uluslar arası ölçeklerin üstünde olduğu yapılan eşdeğer radium aktivite değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve harici tehlike indeksi değerleri ile ortaya konmuştur.

Turhan ve ark. (2003), makalelerinde Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM)'de kurulan PGNAA ünitesinde (sisteminde), hem nötron akısı hem de dedektör verimi açısından optimal bir ışınlama ve dedektör konumu tespit etmeye çalışmışlardır.

Anjos ve ark. (2004), çalışmalarında, Brezilya'da binalarda kullanılan, 200 e yakın granit türünün doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca, mineralojik kompozisyonlarını belirleyerek, radyoaktif aktivitelerin hangi mineral veya minerallerden geldiğini ortaya koymaya çalışmışlardır. Numunelere ait soğurulmuş doz hızlarını, yıllık etkin doz hızlarını ve aktivite konsantrasyon indekslerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak hesaplanan değerler, genel olarak kabul edilen uluslar arası değerlerin altında olmasına rağmen, Cafe Crown adı verilen granitlerde aktivite konsantrasyon indeksi $I > 7.5$ hesaplanmıştır ki bu eşdeğer doz oranı olarak yıllık 1mSv 'in üzerindedir. Bu değerlere, Cafe Crown yapısındaki siyenitler olarak bilinen; alkali feldspatlar, hornblend bileşimleri ve ojitler sebep olmuştur.

Bikit ve ark. (2005), makalelerinde, Vojvodina ve Danube çevresinden 18 lokasyondan alınan toplam 54 numunenin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerlerini yüksek çözünürlüklü gamma spektroskopi tekniği ile hesaplamaya çalışmışlardır. Çernobil kazasıyla meydana gelen ^{137}Cs içerikli bileşiklerin oluştuğu ve daha sonra bu bileşiklerin normal seviyesine geldiği, Danube 'de bulunan nehirdeki ekosistemin alınan sonuçlarla eski halini aldığı belirtilmiştir.

Rani ve Singh (2005), çalışmalarında Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesindeki toprak numunelerinin radyoaktif derişimleri, yıllık etkin doz hızı, dış tehlike endeksi ve eşdeğer radium aktivitesi ölçülmüştür.

Uğur (2005), doktora tezinde, Türkiye'nin 4 farklı kil yatağına ait kil örnekleri üzerinde sezyum adsorpsiyonunun özelliklerini ve sezyum 137 izotopu kullanılarak radyoaktif izleme tekniğini incelemiştir.

Yang ve ark. (2005), yayınlarında, Çin'in güneyinde bulunan, Xiazhuang granitlerinin radyoaktif ölçümlerini değerlendirmişlerdir. Ayrıca, eşdeğer radium aktivite değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve harici tehlike endeksi değerleri hesaplanmışlardır. Sonuçlar, birkaç numunenin dışında, uluslararası normlara uygun çıkmıştır.

Kam ve Bozkurt (2006), makalelerinde, Kastamonu İlindeki toprak ve içme suyu numunelerindeki, radon emisyonunu, dış ve iç soğurulmuş doz oranlarını gamma spektrometre yöntemiyle ölçmeye çalışılmışlardır. Burada toprakta ölçülen ^{222}Rn konsantrasyonu 98.4 Bq/m^3 olup yıllık etkin doz değeri 2.48 mSv'dir . Su numunelerinde ise yıllık etkin doz değeri $1.83 \mu\text{Sv'dir}$

Pavlidou ve ark. (2006), çalışmalarında Yunanistan'da binalarda kullanılan ve genellikle Brezilya ve İspanya'dan ithal edilen, 16 çeşit granitte gamma spektrometre yöntemiyle radyasyon aktivitelerini, soğurulmuş doz hızlarını ve etkin doz hızlarını ölçmüşlerdir. Bazı granit numunelerinde, yıllık etkin doz oranı, 1mSv^{-1} 'in üzerinde çıkmıştır.

Turhan ve ark. (2006), makalelerinde Türkiye 'nin değişik yerlerindeki bulunan ve hammadde olarak kullanılan pomza yataklarından alınan örneklerin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerlerinin ölçümü, aktivite konsantrasyon indeksinin belirlenmesi ve dış tehlike indekslerinin saptanmasına yer vermişlerdir.

Xinwei and Xiaolan (2006), çalışmalarında Baoji Weihe kumsalından toplanan kum örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin doğal radyoaktivite seviyelerini, gamma (γ) spektrometre yöntemiyle tespit etmişlerdir.

Ayrıca bu çalışmada, eşdeğer radium aktivite değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve harici tehlike indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Aykamış ve ark. (2007), sempozyum bildirilerinde, dünyamızın oluşumunda beri var olan ve insan sağlığı açısından son derece önemli radyasyon, radyasyon kaynakları, radyasyon çeşitleri ve radyasyonun insan sağlığına ve çevreye zararlarını anlatmışlardır.

Bozkurt ve ark. (2007), makalelerinde Şanlıurfa İlinde 112 lokasyondan alınan veriler doğrultusunda, bu lokasyonların soğurulmuş doz hızlarını hesaplamıştır. Hesaplanan veriler yıllık 74.7 mSv etkin doz hızına bağlı olarak, 60.9 nGyh⁻¹'dir. Ayrıca 53 adet içme suyu kaynağından alınan su numunelerindeki doz oranlar belirlenmiştir. Diğer illerle karşılaştırıldığında, Şanlıurfa'daki doz oranları ve radyasyon konsantrasyonları öngörülen limitlerin altında olduğu gözlenmiştir.

Sakoda ve ark. (2007), makalelerinde, Japonya'daki Misasa ve Avusturya'daki Badgastein granitlerindeki kimyasal oluşumu ve buna bağlı olarak da radon salınımı hakkında incelemeler yapmışlardır. Misasa granitlerinde kuvars, albit ve microline minerallerine rastlanırken, Badgastein granitlerinde ise kuvars ve muscovite rastlanmıştır. Radon salınımı, Misasa granitlerinde, Badgastein granitlerine göre 1.9 kat yüksek olmasına rağmen, ²²⁶Ra konsantrasyon değerleri 7.9 kat daha düşüktür.

Turhan ve ark. (2007), çalışmalarında, 20 farklı malzemeden elde edilen 183 örnekle çalışılmış, bu örneklerin ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite değerlerinin ölçümü yapılmış, eşdeğer radium aktivite değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve harici tehlike indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Turhan (2007), makalesinde Türkiye'de üretilen çimento hammaddelerinin ve çimentoların örnekleme yapılmış ve ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, eşdeğer radium aktivite değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı, aktivite konsantrasyon indeksi ve iç tehlike indeksi değerleri hesaplanmıştır.

Turhan ve Gündüz (2007), çalışmalarında Türkiye'nin 11 değişik yöresinden toplanan ve radyasyon açısından tehlike arz eden pomzaların ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerlerinin ölçümü ile aktivite konsantrasyon indekslerini, soğurulmuş doz hızlarını ve etkin doz hızlarını hesaplamıştır.

Xinwei and Xiaolan (2007), makalelerinde Cuihua dağından alınan toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin doğal radyoaktivite seviyelerinin ölçümü ve gamma (γ) spektrometre yöntemiyle tespitini anlatmışlardır. Ayrıca bu çalışmada, eşdeğer radium aktive değeri, harici soğurulmuş doz hızı, etkin doz hızı ve harici tehlike indeksi değerleri hesaplanmıştır ve uluslararası değerlerle karşılaştırılmıştır.

Xinwei ve ark. (2007), çalışmalarında Wei nehrindeki çökellerin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarıyla, buna bağlı olarak dış tehlike indeksi, temsili aktivite konsantrasyon indeksi ve eş değer radium aktivite değerlerini hesaplanmışlardır.

Değerlier ve ark. (2008), makalelerinde Adana ili içerisinde alınan toprak numunelerini gamma spektroskopi yöntemiyle doğal radyasyon konsantrasyonlarını bulmaya çalışmışlardır. Havadaki gamma doz ölçümleri ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K derişimleri 67 nGyh^{-1} 'dir. Yıllık etkin doz oranı ise 82 mSv 'dir. Bulunan değerler literatürdeki değerlerin altında kalmaktadır.

Şimşek (2008), çalışmasında Manisa iline bağlı Köprübaşı ilçesindeki neojen yaşlı, kumtaşı ve konglemeradan oluşan uranium yatağındaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarına bağlı radyasyon seviyelerinin tespitine yönelik araştırmalar yapmıştır.

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K seviyeleri, sırasıyla, uranium cevherinde, 5369.75 , 124.78 , 10.0 Bqkg^{-1} , gnayslarda, 24.32 , 52.94 ve 623.38 Bqkg^{-1} , kumtaşı ve konglomerada, 46.24 , 45.13 and 762.26 Bqkg^{-1} ve diğer çökellerde ise 73.11 , 43.15 and 810.65 Bqkg^{-1} olarak ölçülmüştür. Tüm örneklerde, ^{226}Ra ve ^{40}K seviyeleri, dünya ortalamalarının üzerinde çıkmıştır.

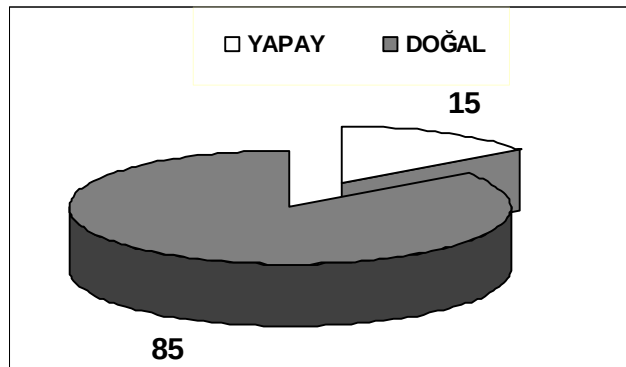
Bu malzemeler yapı inşasında ve tarımda da kullanıldığı için, eşdeğer radium aktiviteleri, yıllık etkin doz hızları, soğurulmuş doz hızları ve temsili aktivite konsantrasyon indeksleri(radyasyon tehlike indeksi) hesaplanmıştır.

Örneklerde, eşdeğer radium aktiviteleri 370 Bqkg^{-1} 'dan düşük çıkmakla beraber, yıllık etkin doz hızları, soğurulmuş doz hızları ve temsili aktivite konsantrasyon indeksleri(radyasyon tehlike indeksi) dünya ortalamalarının üzerindedir.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER

İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (^aTAEK, 2007).

İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile doz almaktadır. Yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte dünya genelinde kişi başına yaklaşık 2,8 mSv yıllık doza maruz kalınmaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (^aTAEK, 2007)

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.1. Radyasyon

Radyasyonu ortamda yol alan enerji olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım kapsamında doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de "radyasyon" olarak adlandırılır.

Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar "parçacık" ve "dalga" tipi radyasyonlardır. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/saniye) hareket ederler.

Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır. Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak ortamda mevcuttur ve eğer şiddeti büyükse ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilir. Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da yine iki gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar, "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" radyasyonlardır.

- İyonlaştırıcı radyasyon (alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X-ışınları, gamma ışınları ve nötronlardır.
- İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar) şeklinde sınıflandırılır.

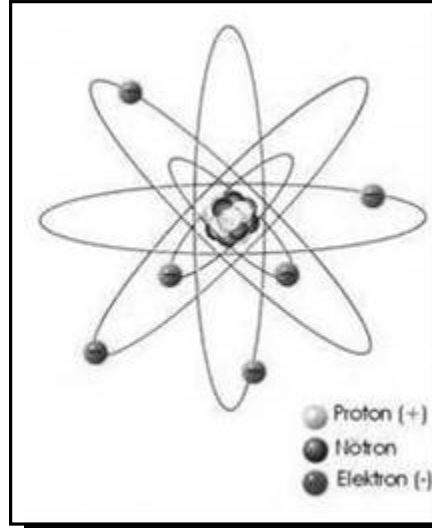
Baz istasyonları, cep telefonları, mikrodalga fırınları, radarlar, yüksek gerilim hatları iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarıdır

Canlı veya cansız tüm varlıklar atomlardan oluşurlar. Yetişkin bir insan vücudunu, yaklaşık 4×10^{27} oksijen, karbon, hidrojen, nitrojen, fosfor, potasyum (K), ve diğer elementlerin atomlarının oluşturduğu bir paket gibi düşünebiliriz. Bir elementin tüm kimyasal özelliklerine sahip en küçük parçası olan atom; proton, nötron ve elektronlardan oluşur (Şekil 3.2.). Çapı, yaklaşık olarak 10^{-10} metre olan

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

atomun belli bir kütlesi vardır ve bu kütlenin neredeyse tamamı kendi hacminin yaklaşık olarak 10^{15} de biri kadar hacime sahip çekirdeğinde yoğunlaşmıştır. Radyasyon atomlardan meydana gelir.

Farklı elementler için nötron, proton ve elektron sayıları değişiktir. Proton pozitif ve elektron negatif elektrik yüklüdür. Bu elektriksel çekim elektronları yörüngede tutar. Bir araya gelen atom grupları molekülleri oluşturur. Atomlar ve moleküller hareketlerinden dolayı kinetik enerji veya yapılarından dolayı potansiyel enerjiye sahiptirler.



Şekil 3.2. Atom

Atomlar ve moleküller enerji soğurabilir ve artan enerji miktarına göre hareket ve/veya yapılarında değişiklik olur. Fakat atom ve moleküller enerji de yayabilirler. Bu da onların kinetik ve potansiyel enerji konumlarındaki değişikliklere neden olur. Örneğin mum yandığında, mumun molekülleri ile havadaki oksijenin birleşmesi sonucu mumun yapısında değişiklikler olur (^aTAEK, 2007).

Bu yapısal değişikliklerin sonucu ısı ve ışık formunda enerji ortaya çıkar. Farklı kaynaklardan yayılan farklı tipteki radyasyon, kaynakların ve radyasyonun özelliğine bağlı olarak farklı enerjilere sahiptir. Isı ve ışık radyasyonları ile mikrodalga ve radyo dalga radyasyonları, elektromagnetik dalga enerjisine örnek olarak verilebilir.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Bilinen ışık olarak kabul ettiğimiz elektro magnetik dalgalar, kızılötesi ısı dalgalarından daha fazla enerjiye sahip olmasına rağmen mikrodalgalar ve radyo dalgaları kızılötesi dalgalardan daha az enerjiye sahiptir. X-ışınları ve gamma ışınları dalgaları ise bunların hepsinden daha fazla enerjiktir. Çok yüksek enerjili olan dalgalar, yüksek giricilik özelliğine sahiptir. Bu nedenle X-ışınları tıbbi alanda organların görüntülenmesinde kullanılır.

Isı ve ışık enerjisi uzayda dalgalar şeklinde yayılır. Güneşten gelen bu ısı ve ışık radyasyonu görülebilir veya hissedilebilir. Daha fazla veya daha az enerjili diğer radyasyonlar duyu organlarımız ile algılanamaz, fakat duyarlı cihazlar ile ölçülebilir.

Duyularımız ile yalnız kızılötesi ve görünür bölgedeki ışığın elektro magnetik dalgalarını algılayabiliriz. Diğer elektro magnetik dalgaları özel cihazlardan geçirerek, duyu organlarımız ile algılayabileceğimiz sinyale dönüştürerek algılayabiliriz (dedeksiyon). Örneğin, radyo dalgalarının radyoda sese dönüştürülerek algılanabilmesi gibi.

Elektro magnetik dalgaların dışında radyasyon, çok hızlı hareket eden parçacıklardan da oluşur. Bunlar kararsız atomlardan yayılan elektronlar, protonlar, nötronlar ve alfa parçacıkları gibi çeşitli tiplerde olabilir. Özetlersek, radyasyon elektro magnetik dalgalar veya hızlı parçacıklar şeklinde yayılan enerjidir.

3.1.1. Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Bütün zararlı maddeler, genellikle, vücutta birtakım biyolojik hasarlara neden olurlar. Bu hasarların büyüklüğü ise o maddenin cinsinin yanı sıra, vücuda alınış şekli, süresi ve miktarına bağlı olarak değişir. Örneğin, günlük yaşantısında belli bir miktarda alkol tüketen bir kişiyi düşünelim. Günde bir bardak alkol alan bu kişi ile bir şişe alkol tüketen aynı kişide, vücutta oluşacak zararlar farklı olacaktır. Yine aynı şekilde, bu miktarın tüketim hızı yani ne kadar zamanda tüketildiği de zararın büyüklüğünü belirleyici bir etkidir. Tüketim hızı arttıkça meydana gelecek zarar da buna paralel olarak büyüyecektir. Bunların yanı sıra, yaşam boyunca tüketilen toplam miktar da

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

oluşabilecek zararı belirleyen önemli bir unsur olacaktır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın (kabul edilebilir sınırların) üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda da bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu etkinin büyüklüğü ise ancak yukarıdaki örnekte de anlatıldığı gibi, radyasyon çeşidi, soğurulmuş hızı ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman mümkündür. Bütün bu faktörler bilindiğinde radyasyonun insan sağlığı veya diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde bırakacağı etki kolayca belirlenebilir.

3.1.2. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonlarla yapılan çalışmalarda sonuca ulaşabilmek ve zararlı biyolojik etkileri belirleyebilmek için radyasyon miktarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilecek ölçüm yöntemleri için her şeyden önce radyasyon miktarının ölçümünde kullanılan birimlerin tanımlarının yapılması zorunludur.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile uluslararası kodlama sistemi esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir.

Radyoaktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Radyoaktivite birimi becquerel (Bq) olup saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı veya bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır. Becquerel ile radyoaktivite geleneksel birimi olan Curie (Ci) arasındaki bağıntı $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ (ya da $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$) şeklinde ifade edilir (TAEK, 2002; Yaşar, 1988).

3.1.2.1. Işınlama Birimi

Işınlama birimi röntgen (R), normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mm civa basıncı) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve -

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C kg^{-1}$ (hava) olarak ifade edilir. Işınlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur (Göksel, 1973).

3.1.2.2. Soğurulan Doz Birimi

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) olup, gray; 1 kg'lık bir maddede 1 joule'luk enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur ($1 Gy = 1 J kg^{-1}$). Eski birimi rad (radiation absorbed dose) olup; 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurumuna eşdeğerdir ($1 rad = 10^{-2} J kg^{-1} = 100 erg g^{-1}$). Gray ve rad birimleri arasındaki bağıntı ise $1 Gy = 100 rad$ olarak ifade edilir (TAEK, 2002; Göksel, 1973).

- Radyoterapide tedavi dozları 50-60 Gy civarındadır.
- Klasik radyolojik tetkiklerde alınan doz 0.001Gy'den küçüktür.
- Yıllık doğal radyasyondan kaynaklanan doz düzeyi (Toprak, Kozmik, Gıdalar, Radon) yaklaşık 0.0024 Gy'dir.

3.1.2.3. Eşdeğer Doz Birimi

Soğurulan dozun oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin, iyonlaştırıcı radyasyonların çeşitlerine ve oluşturduğu iyonizasyon yoğunluğuna bağlı olduğu yapılan biyolojik deneylerden anlaşılmaktadır. Yani iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğundaki kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji Transferi (LET)) bağlı olmakta ve LET değeri arttıkça biyolojik etkiye artmaktadır. Böylece eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalı ve buna bağlı bazı faktörleri kapsamalıdır. Eşdeğer doz birimi, Joule / kg olup sievert (Sv) adı verilmiş ($1 Sv = 1 J kg^{-1}$) ve soğurulmuş doz ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır. Geleneksel birim rem olup $1 Sv = 100 rem$ 'dir.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.1.2.4. Etkin Doz Birimi

Doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Birimi “Sievert” tir.

- Dünya Geneline Doğal Radyasyon Kaynakları nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2.4 mSv'dir.
- Tıp alanında çalışan radyasyon görevlilerinin aldıkları dozun yıllık ortalaması 1 - 5 mSv civarındadır.
- Çernobil nedeniyle Türk Halkının aldığı kişisel doz ortalaması 0.5 mSv'dir
- 1 Sv= 1000 mSv (milisievert)= 1000000 µSv (mikrosievert)'tir

3.1.2.5. Aktivite Birimi

- Curie (Ci); 1 saniyedeki $3,7 \cdot 10^{10}$ parçalanmaya karşılık gelir.
- Becquerel (Bq); 1 saniyedeki 1 parçalanmaya karşılık gelir.
- $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{Bq}$

3.1.3. Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için ICRP dolayısıyla TAEK tarafından maksimum müsaade edilen yıllık eşdeğer doz sınırları belirlenmiştir. Bu doz değerlerine tıbbi işinlamalardan maruz kalınacak dozlar dahil edilemez.

3.1.3.1. Radyasyon Görevlileri İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir (TAEK, 2002).

Yıllık Tüm Vücut Dozu	50 mSv (5 rem)
Tek Bir Organ {el, ayak} ve Doku İçin	500 mSv (50 rem)
Göz Merceği İçin	150 mSv (15 rem)

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Radyasyon görevlileri için eşdeğer doz sınırının birbirini takip eden 5 yıl süresince (bu sürede herhangi bir yılda 50 mSv'i geçmemek koşuluyla) toplam 100 mSv'i aşmaması gerekir. Yaşları 16-18 arasında olan çıraklar ile radyasyon kullanmak zorunda olan öğrenciler için yıllık eşdeğer doz sınırı 6 mSv, eller ve ayaklar için 150 mSv'tir. Hamile bayanlar için yıllık eşdeğer doz, belden aşağısı için 2 mSv'dir. Bunun nedeni fetüsün doz sınırı olan 1 mSv'i aşmamasıdır.

3.1.3.2. Toplum Üyesi Kişiler İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı

Toplum üyesi kişiler için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir (TAEK, 2002).

Yıllık Tüm Vücut Dozu	5 mSv (0,5 rem)
Tek Bir Organ (el, ayak) ve Deri İçin	50 mSv (5 rem)
Göz Merceği İçin	15 mSv (1,5 rem)

Bu sınırlar toplumdaki kritik gruplar içindir. Yaşam boyu eşdeğer doz sınırı ise yılda ortalama 1 mSv ya da 0,1 rem'dir. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir

Çizelge 3.1. Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri

RADYASYON TÜRÜ	KALİTE FAKTÖRÜ
X ve Gamma Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar (E < 10 keV)	3
Nötronlar (E > 10 keV)	10
Alfa Parçacıkları	20

3.2. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu var olduğundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin

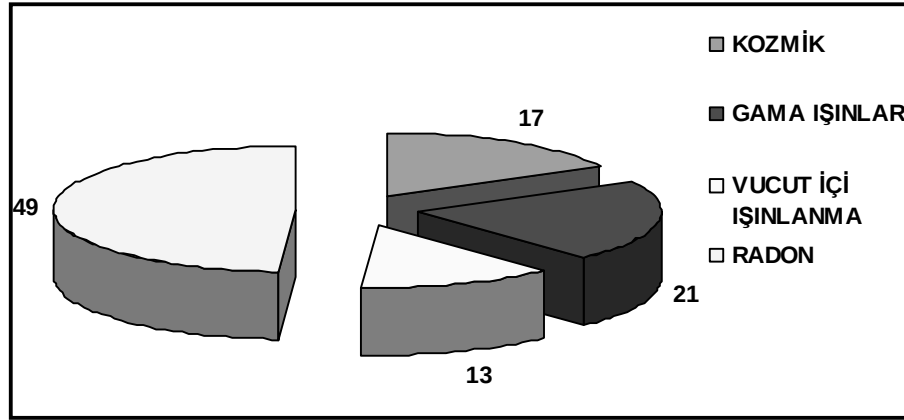
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen bir çok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.

Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz.

3.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Dünya genelinde doğal radyasyona neden olabilecek kaynaklar Şekil 3.3.'de görülmektedir.



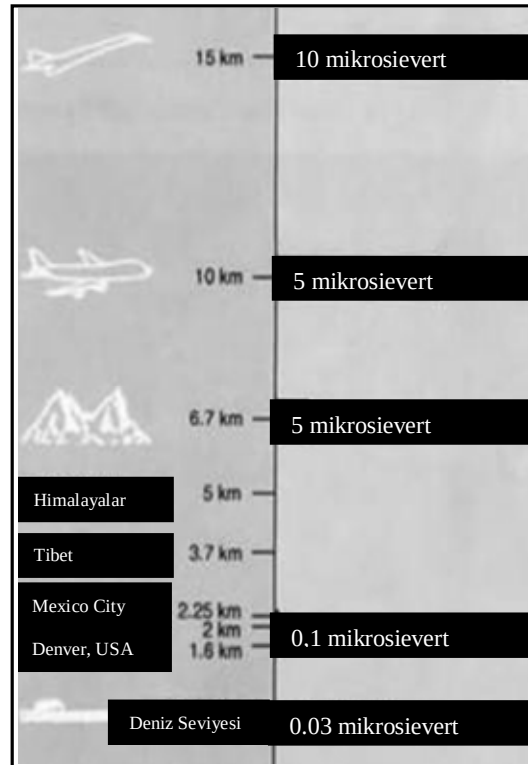
Şekil 3.3. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (^aTAEK, 2007)

3.2.1.1. Kozmik Radyasyon

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Kozmik ışınların kaynağı tartışma konusudur. Bir görüş bunların yoğunluklu olarak galaksimizden geldiğini savunurken, diğer bir görüş galaksimiz dışından geldiğini savunmaktadır. Güneş de kozmik radyasyonu bir miktar artırır. Kaynağı bilinmeyen miktarı hemen hemen sabitken, güneşten gelenin miktarı güneşteki patlamaların olduğu günlere göre değişir. Yeryüzü atmosferine giren kozmik ışınların miktarı yeryüzünün manyetik alanından da etkilenir. Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir. Bu ışınlar

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından azar azar tutulurlar. Bu nedenle yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır. İnsanların büyük çoğunluğu yüksekliği az olan bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır (Şekil 3.4.) (^bTAEK, 2007).



Şekil 3.4. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi (^bTAEK, 2007)

3.2.1.2. Gamma Radyasyonu

Yerkabuğunun içindeki tüm maddeler radyonüklid içermektedir. Gerçekte, yeryüzünün derinliklerinde bulunan doğal radyoaktivitenin bozunmasından meydana gelen enerjinin, yeryüzü kabuğunun şekillenmesine katkısı olduğuna inanılır. Bu enerjinin önemli bir kısmı uranyum, toryum ve potasyumdan gelmektedir. Uranyum,

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Uranyum-238 (^{238}U) birçok elementin uzun radyonüklid bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı Kurşun-206 (^{206}Pb) haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (^{222}Rn) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve Toryum-232 (^{232}Th), başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Potasyum-40 (^{40}K) kararlı elementin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2,4' ünü oluşturur ($^b\text{TAEK}$, 2007). Yeryüzündeki radyonüklidlerin yaydığı gamma ışınları nedeniyle tüm vücut radyasyona maruz kalır. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar bina dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Alınan radyasyon dozu bölgenin taşına, toprağına ve yapı malzemesine bağlıdır.

3.2.1.3. Radon

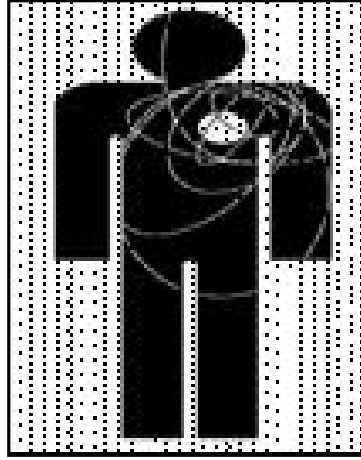
Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radon, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır ($^b\text{TAEK}$, 2007).

3.2.1.4. Vücuttaki Radyoaktivite

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum (K)-40 (radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız (Şekil 3.5).

Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan aldığımız radyoaktivite nedeni ile vücudumuz doğal olarak radyasyona maruz kalmaktadır. Potasyum-40'ın vücuttaki miktarı, vücuttaki kas miktarı ile değişir. Bazı yiyecekler diğerlerine nazaran daha fazla doğal radyoaktivite içerirler. Bu durum onların yenmesinde çekinmemizi gerektirmez. Minimum radyoaktivite içeren besinlerle beslenmeye nazaran yetersiz veya uygunsuz beslenme daha risklidir ($^c\text{TAEK}$, 2007).

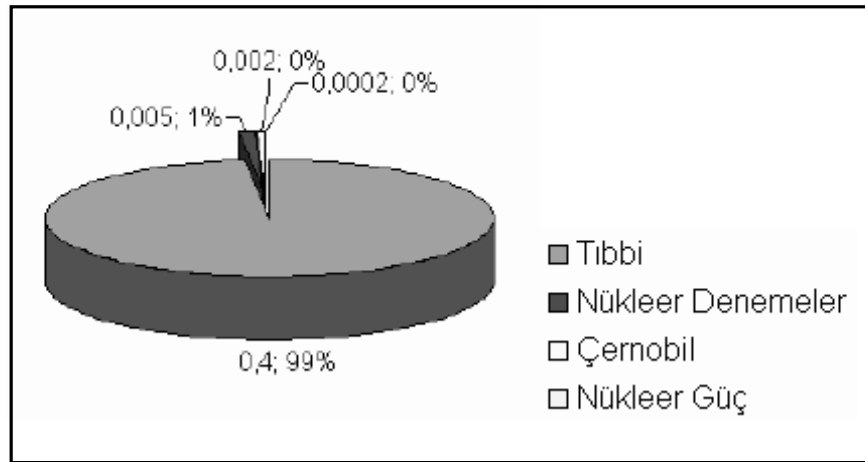
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS



Şekil 3.5. İnsan vücudunun radyasyona maruz kaldığı bölgeler

3.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur (Şekil 3.6). Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise, alternatifleri yok gibidir.



Şekil 3.6. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (TAEK, 2007)

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl'dır (<http://www.taek.gov.tr>, 2007). Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları Şekil 3.6.'da verilmiştir.

3.2.2.1. Tıbbi Uygulamalar

Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları, radyasyonla görüntü elde edebilme ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar.

3.2.2.2. Tanısal Radyoloji

Radyasyonun tıbbi alanda yaygın kullanılmakta olan ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi X ışınlarıdır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan X ışınları, hastadan geçirilerek hastalıklı bölgenin görüntüsü röntgen filmi olarak da adlandırılan radyografi filmi şeklinde elde edilir.

3.2.2.3. Nükleer Tıp

Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Bu tür çalışmalarda radyoaktif madde, vücuda, radyoaktif maddenin incelenecek dokuda toplanmasını ve geçici bir süre buraya yerleşmesini sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilerek verilir. Radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışı, vücuda verilen radyoaktif maddeden salınan gamma ışınlarını algılayacak özelliklere sahip cihazlarla elde edilir.

3.2.2.4. Radyoterapi

Kanser hastalıklarının %50'sinin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Yaygın olarak yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve Co-60 radyoaktif kaynaklı cihazlar kullanılır. Tedavinin amacına ulaşması tedavi edilecek bölgeye tedavi için gerekli doz verilirken sağlam doku ve organların dozunun minimum düzeyde tutulmasıyla mümkün olur.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.2.2.5. Endüstriyel Uygulamalar

- X ve gamma ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamaları, vs.) her hangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu çalışmalar genel olarak radyografi olarak adlandırılırlar. Radyografi dışında radyasyondan yararlanılarak yine bir çok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır (TAEK, 2007).
- Işınlama tesislerinde gıda ışınlaması, tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin sterilizasyonu yapılmaktadır
- Akarsularda debi ölçümü, barajlarda su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takibi, radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılan tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilmektedirler (TAEK, 2007).

3.2.2.6. Nükleer Serpinti

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır. Ancak 1960'lı yılların başlarında bu yolla maruz kalınan radyasyon dozu günümüzde nispeten azalmıştır.

Bununla birlikte, yer üstü ve hatta yeraltında yapılan bu tür denemeler bölgesel kirliliğe neden olmaktadır.

3.2.2.7. Nükleer Güç Santralleri

Ağır radyoaktif (uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (füzyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu çok büyük bir miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde füzyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık füzyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır (birkaç milyon derece santigrat). Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet S. AYKAMIS

3.2.2.8. Tüketici Ürünleri

Televizyonlar, duman dedektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerirler. Kömür ve fosfat kayaları uranyum, radyum, potasyum-40 (K) ve toryum içerirler. Fosfatın gübre ve kömürün yakıt olarak kullanılması esnasında çevreye az da olsa belli bir radyasyon dozu verilir (Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.).

3.3. İyonlaştırıcı Radyasyon

Radyasyon ile ilgili bilimsel konuşmalar ısı, ışık, radyo ve televizyon dalgaları ile radar ve mikrodalgalarını da kapsar. Oysa birçok kişi için radyasyon, X-ışınları ile nükleer reaktörlerle ilgili radyoaktif maddeden yayılan radyasyon anlamındadır. Bilim adamları bunları "iyonlaştırıcı radyasyon" olarak ifade etmişlerdir. Çünkü radyasyonlar diğer maddelerle etkileştiğinde elektrik yüklü parçacıklar veya iyonları oluşturur ve iyonizasyon meydana gelir. Bu olay Şekil 3.7'de resimler ile açıklanmıştır (TAEK, 2007). Başlıca 5 iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır.

3.3.1. Alfa Parçacığı

Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir ve pozitif yüklüdür. α işaretiyle gösterilirler. Çekirdeğin, alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda görülür ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıklardaki maddelerle (örneğin ince bir kağıt tabaka ile) durdurmak mümkündür. Bunun sebebi, diğer radyasyon çeşitlerine göre sahip oldukları nispeten büyük elektrik yükleridir. Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini çabucak kaybetmelerine yol açar.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Çizelge 3.2. Dünya genelinde alınan yıllık ortalama kişisel dozlar (TAEK, 2007)

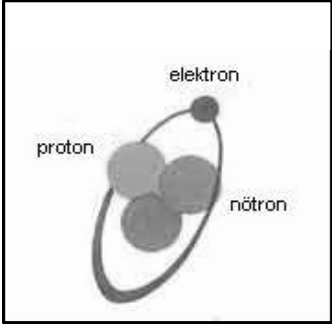
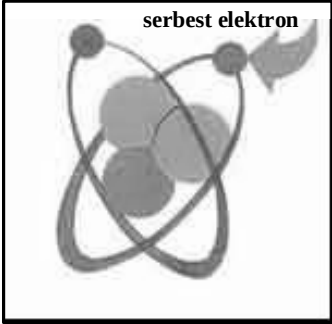
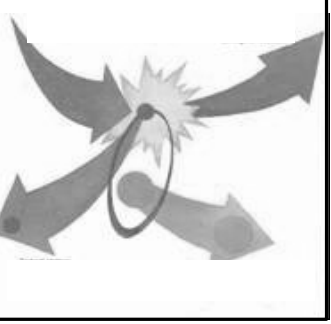
KAYNAK	DOZ (mSv)
Doğal	-
Kozmik	0,4
Gamma Işınları	0,5
Vücut İçi ışınlama	0,3
Radon	1,2
YAPAY	-
Tıbbi	0,4
Nükleer Denemeler	0,005
Çernobil	0,002
Nükleer Güç	0,0002
TOPLAM (ORTALAMA)	2,8

Çizelge 3.3. Değişik meslekler için yıllık ortalama etkin dozlar (UNSCEAR, 2000)

RADYASYON KAYNAĞI	DOZ (mSv)
Yapay Kaynaklar	-
Nükleer Endüstri	-
Uranyum Madenciliği	4.5
Uranyum İşlenmesi	3.3
Zenginleştirme	0.1
Yakıt Üretimi	1.0
Nükleer Reaktörler	1.4
Yeniden İşleme	1.5
Tıbbi Uygulamalar	-
Radyoloji	0.5
Dişçilik	0.06
Nükleer Tıp	0.8
Radyoterapi	0.6
Endüstriyel Uygulamalar	-
İşnlama Tesisleri	0.1
Radyografi	1.6
İzotop Üretimi	1.9
Endüstriyel Ölçüm Sistemleri	0.4
Hızlandırıcılar	0.8
Doğal Kaynaklar	-
Radon Kaynakları	-
Kömür Madenleri	0.7
Metal Madenleri	2.7
Binalar (Radon)	4.8
Kozmik Işınlr	-
Sivil Havacılık	3

**(1 Sv (1000 mSv) için 5×10^{-2} olarak kabul edilmektedir. Halkın her yıl almasına izin verilen doz düzeyi 1 mSv'dir. Bu yaklaşımla; 1 mSv doz nedeniyle kanserden ölme olasılığının 100 000'de 5 olduğu varsavılmaktadır).*

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

	
Tritium (Kararsız) Tritium atomu 1 proton, 2 nötron ve 1 yörünge elektronu bulundurur. Tritium atomunun çekirdeğinde fazla enerji olduğu için kararsızdır.	Tritium (Parçalanır) Kendiliğinden radyoaktif bozunmaya uğrayarak kararlı bir atom haline dönüşmeye çalışır. Bozunma sırasında ortaya çıkan enerji nötronların birinden gelir ve bu beta parçacığı olarak adlandırılır.
a 	b 
Helyum Atomu (Kararlı) Bozunma sonucunda, 2 proton, 1 nötron ve 2 yörünge elektronu olan ve Helyum olarak adlandırılan yeni bir atom oluşur. Helyum atomu kararludur ve bozunmaz. Diğer elementlerin atomları kararlı duruma ulaşmadan önce çeşitli bozunmalara uğrar.	İyonlaşma İyonlaştırıcı radyasyon bir maddeye çarptığında, madde atomunun yörünge elektronu ile çarpışır ve atomdan elektron kopartır. Bu atom "iyon" olarak adlandırılan bir şekle dönüşmüştür, çünkü atom, doğal halinden, pozitif yüklü bir şekle dönüşmüş olur ve iyon halindeki atom kimyasal reaksiyonlarda yer alır.
c	d

Şekil 3.7. Radyoaktif bozunma (^dTAEK, 2007)

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.3.2. Beta Parçacığı

Enerjilerini bu şekilde çabucak kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da dolayısıyla çok kısadır. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, mide, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler (Togay, 2002).

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından, madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep Enerjilerini bu şekilde çabucak kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da dolayısıyla çok kısadır. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, mide, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler (Togay, 2002).

Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü, bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Yine de bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir (Togay, 2002).

3.3.3. X-Işınları

Röntgen ışınları da denilen X-ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga seklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk yörüngelerinden elektronlar koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek düzeylerden (üst yörüngelerden) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır.

X-ışını yapay olarak, röntgen tüplerinde de elde edilir. Tüp içerisinde ısıtılmış katottan yayılan elektronlar, on binlerce voltluk gerilimle hızlandırılarak karşıdaki hedef anoda çarptırılır. Bu çarpışma sonucu elektronlar durdurulurken elektronların kaybettiği enerji, X-ışınları olarak yayınlanır (Togay, 2002).

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet S. AYKAMIS

3.3.4. Gamma Işınları

Gamma ışınlının kaynağı, atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar, atom çekirdeğinin enerji düzeylerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz.

Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektro magnetik radyasyon halinde yayınlanır. Gamma ışınları, beta ışınlardan daha yüksek enerjili ve dolayısıyla daha girici (nüfuz edici) ışınlardır. γ ile gösterilirler. Gamma ve X-ışınlının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Ancak, birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve magnetik alanda sapma göstermezler (Togay, 2002).

3.3.5. Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak, nötronların atomlarla etkileşmeleri, iyonlaştırıcı radyasyonun (alfa, beta, gamma veya X-ışınları) ortaya çıkmasına neden olabilir. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleriyle durdurulabilirler (Togay, 2002).

Her bir iyonlaştırıcı radyasyonun madde içerisindeki giricilikleri farklıdır (Şekil 3.8.).

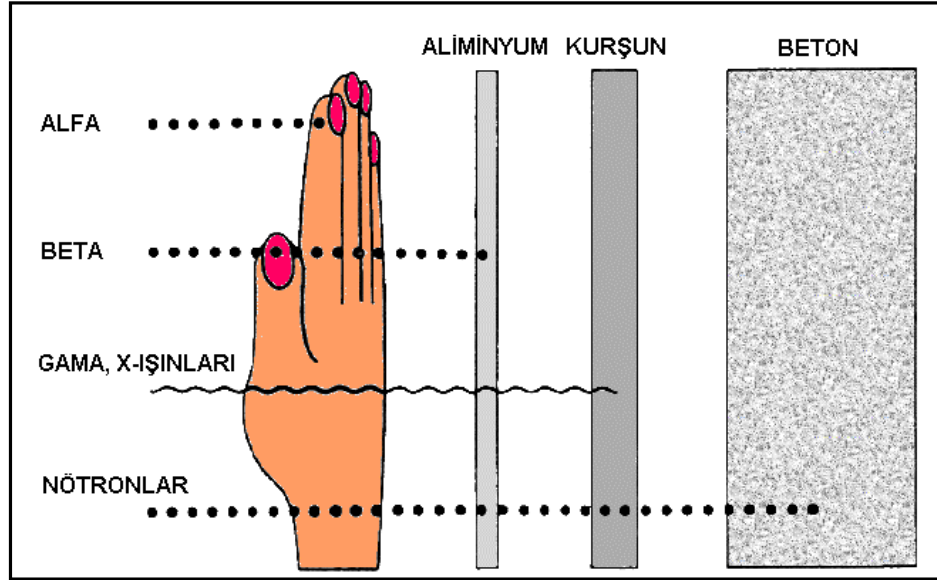
İyon hücre içerisinde DNA molekülüne yakın bir yerde bulunuyorsa DNA molekülünün yapısını değiştirebilir ve tümör oluşumuna neden olabilir.

3.4. İyonlaştırıcı Radyasyonu Ölçme Birimleri

Her bir radyasyon tipine bağlı olarak toplam enerji miktarını ölçebiliriz. Verilen bir enerji miktarı için alfa parçacıkları, geçtikleri birim mesafede; beta parçacıkları ile gamma ve X-ışınlardan daha fazla iyonlaşmaya neden olurlar. Bu farklılık, Sievert olarak adlandırılan radyasyon birimi yardımı ile ifade edilir. Zira, radyasyonun tipi ne olursa olsun 1 Sievert'lik radyasyon sabit biyolojik etkiye neden

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

olur. Radyasyonun düşük seviyelerinin ölçümünde milisievert (Sievert'in binde biri) ve mikrosievert (Sievert'in milyonda biri) gibi daha küçük birimler kullanılır.



(* Alfa parçacıkları derinin ilk tabakası tarafından tutulur. Beta parçacıkları parçacığın enerjisine bağlı olarak insan derisinin 1-2 cm derinliğinde durdurulur. Gamma radyasyonları çok gircidir, elden tamamen geçer ve şiddetini azaltmak için kalın beton engeller veya kurşun gereklidir).

Şekil 3.8. Alfa, beta ve gamma radyasyonlarının birbirlerine göre gircilik gücü (TAEK, 2007)

3.5. Normal Olarak İyonlaştırıcı Radyasyon ile Işınlanma Miktarları

Oturduğumuz evlerin yapı malzemeleri, cam ve seramikler, su ve yiyecekler, tütün, yol yapım malzemeleri, değişik yakıtlar, havaalanı radar sistemleri, porselen dişlerde kullanılan uranyum, teşhiste kullanılan X-ışınları ve benzeri birçok nedenle dolayı iyonlaştırıcı radyasyonlara, hepimiz her gün maruz kalırız (Şekil 3.9.). Ayrıca, nerede ve nasıl yaşadığımıza bağlı olarak yılda 1 mSv kadar doğal çevre radyasyonuna (back-ground) maruz kalırız. Söz konusu bu back-ground radyasyon kaynakları ise güneşten gelen kozmik ışınlar, yeryüzünde ve vücudumuzda bulunan doğal radyoaktif maddelerdir (TAEK, 2007).

Güneşten gelen kozmik ışınlar dünyamızı çevreleyen atmosfer tabakasında bir miktar tutulur. Fakat yaşadığımız bölgenin deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak kozmik ışınlar nedeni ile maruz kalınan radyasyon miktarı da artar.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Bu radyoaktif potasyum, normal potasyumun içinde doğal olarak bulunur ve yaşamımız için gereklidir. Fakat aynı zamanda her birimizin iç radyasyon dozuna neden olur.

3.6. İyonlaştırıcı Radyasyonun Tehlikeleri

Tüm vücut, kısa bir zaman içinde 10 Sievert gibi şiddetli radyasyona maruz kaldığında, vücuttaki bazı hücreler tahrip olur ve vücut, bu hücreleri tekrar eski haline getiremez. Bu gibi durumların hemen ölüm ile sonuçlandığı görülmüştür. Daha düşük radyasyon dozları doğrudan öldürücü değildir fakat radyasyon ışınlanmasından sonra uzun sürelerde kansere neden oldukları gözlenmiştir. Japonya'nın bombalanmasından sonra sağ kalanlar, radyumlu boya işi ile uğraşanlar, radyo terapi hastaları ve uranyum madenlerinde ilk önceleri çalışanlardan bazılarında bu tür uzun süreli gecikmiş etkiler görülmüştür.

İyonlaştırıcı radyasyonun çok düşük dozları için daha sonra oluşabilecek biyolojik etkiler yeterince küçük olduğu için kesinlikle belirlenemez. Bununla birlikte, bilim adamları düşük dozlarda dahil olmak üzere iyonlaştırıcı radyasyonla ışınlanan kişilerin alınan dozları ile orantılı olarak kanser riski olacağını kabul ederler. Radyasyon etkilerinin bu lineer teorisine göre doz yarıya inerse, risk de yarıya iner.

Doz seviyelerine göre radyasyonun etkileri yoğun bir şekilde incelenmiş buna rağmen düşük doz düzeylerinin oluşturacağı risk hakkında tartışmalar devam etmektedir. X-ışınları ile beta ve gamma radyasyonlarının etkileri üzerindeki bilimsel veriler son olarak BEIR komisyonu gibi kuruluşlarca gözden geçirilmiş (NCRP, 2000) ve lineer hipotezin düşük seviyeli doz etkilerini olduğundan fazla gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Amerikan Ulusal Radyasyon Korunması Komitesine göre (NCRP, 2000) kişilerin veya radyasyon görevlilerinin yaşam boyunca maruz kalacakları radyasyon dozları için lineer teorinin risk tahminleri her zaman olduğundan fazladır.

Bununla birlikte çok düşük radyasyon dozlarında lineer teori üzerine bilimsel tartışmalar vardır. Uluslararası kuruluşların radyasyon korunmasından sorumlu uzmanları ihtiyatlı düşünerek, radyasyon görevlileri için alınmasına izin verilen en

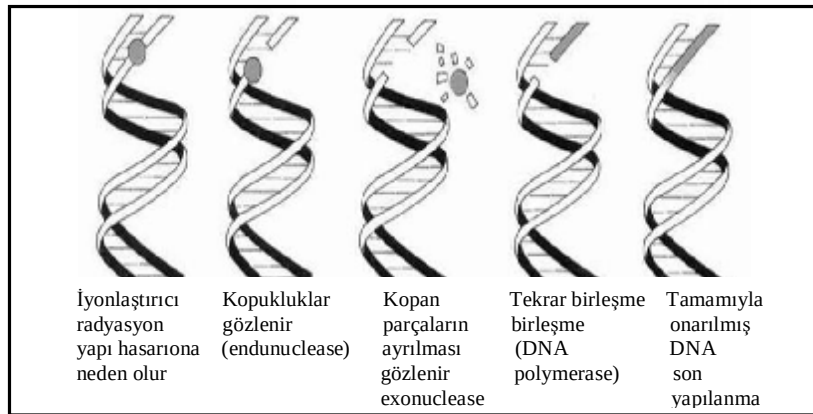
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

fazla radyasyon dozunu ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv olmak kaydı ile yılda 50 mSv ve halk üyesi kişiler için 1 mSv olarak tavsiye ederler.

Bu limitler Kanada ve Türkiye gibi bazı ülkelerde, yönetmeliklerde esas alınmıştır. Buna ilave olarak doğal radyasyon kaynaklarından ve tıbbi uygulamalar nedeni ile yılda ortalama 2 mSv doz alınabileceği kabul edilir. Yoğun tıbbi tetkiklerin yapılması halinde bu değer artabilir.

3.7. Radyasyonun Sağlık Riskleri

İnsan vücudu, hücrelerin bir araya gelmesinden oluşur ve bu hücreler ise yaşamımıza yardımcı olan sistemleri ve organları meydana getirir. Vücuttaki milyarlarca hücrenin her biri DNA olarak ifade edilen özel molekülleri içerir. DNA molekülü, hücrenin nasıl hareket edeceğini, hücrenin nasıl büyüyeceği ve ne olacağını (örneğin; bir karaciğer hücresi, göz hücresi vb. hücreler) kontrol eden bilgileri içerir. DNA’da oluşan yoğun ve sürekli hasarlar yaşamı olumsuz etkileyebilir (Şekil 3.10.).Örneğin DNA’da kendiliğinden hasıl olan değişiklikler insan vücudunda düzenli olarak görülür ve vücudun onarma mekanizmaları tarafından düzeltilir. DNA’da kendiliğinden olan olaylara ilaveten endüstriyel kaynaklardan salınan veya yiyeceklerde bulunan kimyasal maddelerden veya sigara içilmesi, virüsler, güneş ışığı ve iyonlaştırıcı radyasyonlar nedeni ile de hasarlar meydana gelebilir.



Şekil 3.10. DNA yapısının radyasyona karşı onarım mekanizması (dTAEK, 2007)

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Radyasyonun DNA’da neden olduğu hasarlar; doz, doz şiddeti, radyasyonun tipi, vücudun ışınlanan bölümü, yaş ve sağlık durumu gibi birçok faktörlere bağlıdır.

Hücrelerle etkileşen alfa radyasyonları, genellikle beta, X-ışını ve gamma radyasyonlarına göre enerjisinin daha büyük bir miktarını hücrelere aktarır. Bu enerji (radyasyon dozu) hücre içerisinde normal hücre yapısını ve fonksiyonunu bozan kimyasal reaksiyonlara ve moleküler değişikliklere neden olur. Vücudun kendi onarım mekanizması tarafından değişikliklerin çoğunu düzeltilir. Bununla birlikte vücut sistemi ya DNA’daki hasarın bir kısmının düzeltilememesi ya da yanlış düzeltilmesi sonucu vücutta küçük fakat belirli bir değişiklik olur.

Şayet, DNA sürekli olarak hasar görürse, değişiklikler hücrelerin gelecekteki durumunu etkiler. Hücreler kontrol dışında çoğalırsa tümör oluşur. Eğer çoğalan hücreler, üreme hücreleri ise ve bu özel hücreler fetüs içinde gelişirse kalıtsal etkiler ortaya çıkabilir. Doğadan aldığımız yıllık background radyasyon dozundan binlerce ve on binlerce defa büyük olan iyonlaştırıcı radyasyon dozları alındığında fark edilir sayıda hücre ölür. İyonlaştırıcı radyasyonun bu özelliğinden yararlanarak radyoterapide, kanserli hücrelerin öldürülmesi veya tıbbi ürünlerin sterilizasyonu amacı ile bakterilerin öldürülmesi gibi uygulama alanları geliştirilmiştir.

Fakat düşük dozlardaki radyasyon ışınlanmasının kanser yapma olasılığı nedir? Radyasyon dozu ne kadar olursa olsun insan sağlığına hasar verme olasılığı vardır. Düşük dozların riski de küçüktür ve klinik etkileri kolaylıkla belirlenemez. Kansere neden olan ışınlanma ile hastalığın oluşumu ve başlaması arasında çok uzun yıllar geçebilir. Sigara içmek, beslenme alışkanlığı, güneş ışınları gibi kansere neden olan birçok etken arasından söz konusu kansere radyasyonun neden olduğu hakkında karar verebilmek zordur.

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi her bir mSv’lik doz için öldürücü kanser riskinin yüz binde bir olduğunu tahmin eder (Sievert başına 100’de 1). Oysa 1 mSv’lik radyasyon dozunun 7-1/2 sigara içilmesi ile aynı sağlık riskini taşıdığı İngiliz bilim adamları tarafından açıklanmıştır (dTAEK, 2007). Bu karşılaştırma ve radyasyon riski ile ilgili lineer teoriye dayanarak nükleer güç

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

santralının hemen yakınında yaşayan bir kişinin taşıdığı ilave risk yılda 1/3 sigara içen kişinin riski ile aynıdır.

Radyasyonun genetik etkilerinin riskleri ile ilgili hayvanlar ve böcekler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan çıkarılan sonuçlara göre genetik etkilerin insanlar üzerindeki sonuçları hakkında bilgiler toplanmıştır. Atomik Radyasyonun Etkileri üzerine Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR, 1982) insanda bir genetik etki oluşturma riskini, 1 mSv'lik radyasyon dozu için 1 milyon doğumda 15 olarak tahmin eder. Buna karşılık insanlarda kendiliğinden olan genetik etki riski gerçekte on doğumda bir ihtimaldir. İnsanlarda radyasyonun oluşturduğu genetik etkiler doğal oluşumlara göre çok daha az bir sıklıkta olduğu için belirlenmeleri zordur.

İyonlaştırıcı radyasyon, insan sağlığı üzerine etki eden birçok nedenden sadece birisidir. Bu etkiyi diğer nedenlerde olduğu gibi iyonlaştırıcı radyasyona gereksiz olarak maruz kalmamaya özen göstererek en aza indirebiliriz. Örneğin; nükleer endüstriden yayılan radyasyon miktarı yönetmeliklerle kontrol altına alınmıştır. Taş ve tuğladan yapılan evlerde ve işyerlerinde uygun havalandırma ile radon gazının dışarıya atılması sağlanabilir. Aynı şekilde, tıbbi teşhis amacı ile kullanılan X-ışını cihazlarının verimli olarak ve gerektiğinde kullanılması için doktor ve diş hekimlerini uyarabiliriz (UNSCEAR, 1982).

3.8. İyonlaştırıcı Radyasyonun Yarar ve Riskleri

Arabalar ve kimyasal maddeler, uçaklar ve aspirinler gibi yararlı olan birçok şeyinde zararları vardır. Yaşantımızın bir parçası olan bu gereksinimlerin yararlarının yanı sıra risklerini de ederiz. Nükleer güç üretimi ile ilgili riskler ise diğer enerji kaynaklarının risklerinden daha düşüktür. Tıpta kullanılan radyasyonun da bazı riskleri bulunmaktadır, fakat bu riskler yaşamımızı sürdürebilmemiz, sağlık ve başarılarımızı artırmamız için elzemdir.

Nükleer güç, petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının yerini alabilecek iyi bir elektrik enerjisi kaynağıdır. Nükleer güç istasyonları, normal çalışma şartlarında çevreye az miktarlarda radyoaktivite yayarlar, bu miktarlar yönetmeliklerle kişilerin normal çevre radyasyonundan

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

aldıkları radyasyon dozunun çok az bir yüzdesi kadar olacak şekilde düzenlenirler. Bazı risklerse bütün enerji kaynakları için geçerlidir. Örneğin petrol ve kömür yakan güç santralleri havayı kirleterek asit yağmuruna neden olurlar. Kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak bazı termik santraller çevreye aynı zamanda radyoaktif madde de yayarlar ve bu miktarlar nedeni ile kişilerin maruz kaldıkları radyasyon dozları, nükleer santrallerin normal çalışmaları sırasında, çevreye verdiği radyasyon nedeni ile maruz kalınan dozdan çok daha fazladır.

Enerji kullanımına bağımlı olan yüksek teknoloji seviyesine ulaşmış toplumlarda; okyanuslardaki petrol platformları, diğer petrol alanları, kömür madenleri ve endüstri alanlarındaki çalışmalarda, enerji ile ilgili bazı kazalar meydana gelmektedir. Nükleer olmayan bu tür olaylara karşılık 1979 yılında Three Mile Island nükleer santral kazasında sadece cihazlar hasar görmüş olup herhangi bir ölüm veya yaralanma olmamıştır. Nükleer güç santralında çalışanların riski santralin çevresinde yaşayanların riski kadar düşüktür.

Nükleer güç santralında, sistemin kendi içindeki güvenlik önlemleri kaza sonucu kişilerin ani radyasyon ışınlanmasını ortadan kaldırır. Detaylı olarak hazırlanan güvenlik kurallarına tam anlamıyla dikkat edilmesi ile kaza sonucu alınabilecek radyasyon dozları minimuma düşürülür.

Radyasyonun kullanılması bir riski de beraberinde taşır. Ancak, tasarım, plan ve kontrol ile bu risk yaşam şartlarımız içindeki diğer birçok riskten daha düşük seviyeye indirilir. Örneğin, motorlu taşıtların eksozundan çıkan gazlar atmosferi kirletir ve asit yağmurunun oluşmasına neden olur, asit yağmuru ise sağlığımız için zararlıdır veya dengesiz beslenme sonucu oluşan kolesterol kalp hastalığının önemli nedenlerinden biridir.

Beslenme ile ilgili bilimsel verilerin artışı, daha iyi tıbbi kontrol, birçok alanda enerjiden yararlanılması ve teknolojik değişiklikler sayesinde, yüzyılımızda yüksek bir yaşam standardı sağlamıştır. Ortalama yaşam süresi uzamıştır. İstenilmediği halde kirli havanın solunması, çok yemek yeme, sigara içme gibi nedenler ise kişisel uzun ömürlülüğü azaltabilir.

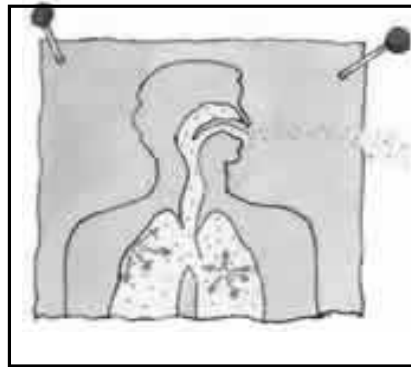
Radyasyon yaşamın bir parçasıdır ve insan yaşamı kaçınılamaz doğal çevre radyasyonu arasında yer almıştır. Radyasyon kullanımı risk içermesine rağmen

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

insanoğlu birçok yarar sağladığı bu teknolojiyi kontrollü bir şekilde kullanmasını başarmıştır. Dağ gibi yüksek yerlerde yaşarken aldığınız çevre radyasyon dozu, deniz seviyesinde yaşarken aldığınız dozdan daha yüksek olur. Benzer şekilde 10 000 m yükseklikte uçarken ilave radyasyon dozu alırsınız. Televizyon gibi modern cihazlar, radyasyon tekniği ile görüntü oluştururlar. Ancak yeni teknoloji ile üretilen televizyon cihazlarının yayınladığı radyasyon miktarı güçlülkle ölçülebilecek kadar azdır. Kanser tedavisinde kullanılan hızlandırıcılar tedavi edilecek bölgeye büyük radyasyon dozları verir (TAEK. 2007).

3.9. Radon Gazının Sağlık Etkileri

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar (Şekil 3.11.). Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.



Şekil 3.11. Radon gazı'nın akciğer'e etkileri

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs

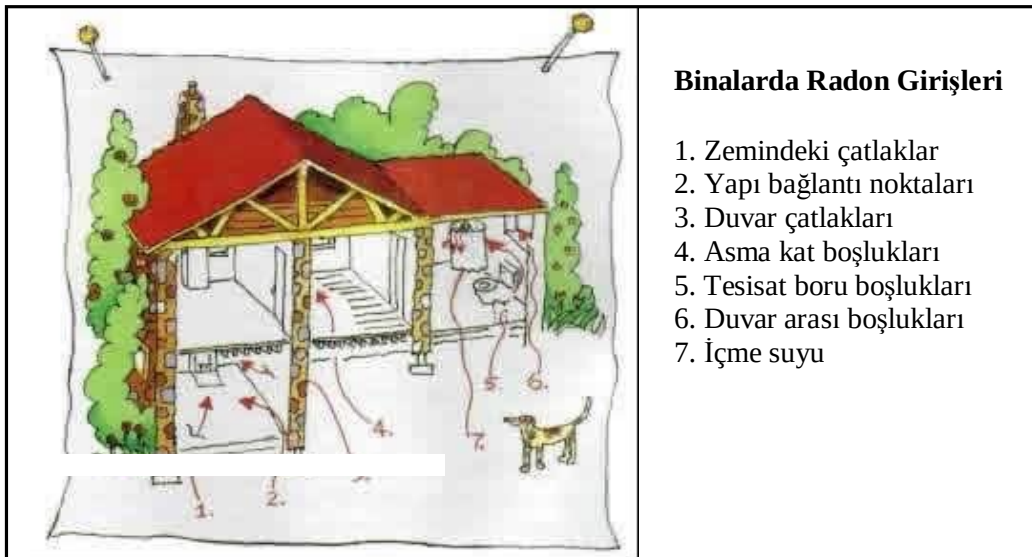
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur. Ancak bu, yüksek dozda radona maruz kalmış herkes akciğer kanserine yakalanacak anlamına gelmez. Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Hem sigara içip hem de yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir.

Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski azaltılacaktır. Ancak, sigara içiminin az bilinen bir zararı da içindeki radyoaktif maddelerin soluma yoluyla insan vücuduna alınmasından kaynaklanmaktadır.

3.9.1. Radonun Problem Olarak Görülmesi

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen % 90'ını kapalı mekânlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Binalarda radon girişleri

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini arttırıcı etmenlerden birisidir.

Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m³'tür.

3.9.2. Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Belirleyen Unsurlar

Binalardaki radon konsantrasyonunu belirleyen unsurlar şunlardır;

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra-226 miktarı
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma (difüzyon) potansiyeli
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği
- Bina zemini
- Binadaki havalandırma kapasitesi
- İklim koşulları
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır.

3.10. Risk Karşılaştırmaları.

1/1 000 000 olasılıkla ölüme neden olan bazı risklerin karşılaştırılması;

- Bir nükleer tıp laboratuvarında 10 gün çalışmak
- 1.4 adet sigara içmek
- Hava kirliliği olan bir yerde 2 gün geçirmek
- 480 km araba yolculuğu yapmak

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

- 1600 km uçak yolculuğu yapmak
- 2 ay sigara içen biri ile bir arada bulunmak
- 30 kutu diyet soda içmek

olarak sıralanabilir (Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.)

Çizelge 3.4. Radyasyon kaynakları ve dozları (JOHNSON and TUTIAH, 1985)

RADYASYON KAYNAĞI	DOZ
DOĞAL ÇEVRE (KOZMİK VE YERYÜZÜ)	
Yellowknife(Kanada)	1.3 mSv / yıl
Windsor(Kanada)	6 mSv/yıl
Ankara	1.4 mSv/yıl
Antalya	7 mSv/yıl
Vücuttaki Potasyum-40 (K)	2 mSv/yıl
DİĞER	DOZ
Nükleer silah denemelerinden	4 mSv/yıl
Kaynaklanan radyoaktif yağış	
X – ışınına maruz kalma	
- Göğüs röntgeni filmi çekiminde	1 mSv/yıl
- Diş filmi çekiminde	1 mSv/ yıl
Baryum ile lavman	8.8 mSv/yıl
Mide barsak sistemi	5.4 mSv/yıl
Tuğla veya betondan yapılmış	
Evde yaşanmasından	0.7 mSv/Yıl
ÇEŞİTLİ NEDENLERDEN DOLAYI YAŞAM KAYBI	
NEDEN	YAŞAM SÜRESİNDEN GÜN KAYBI
Sigara içmek	2250
Kalp rahatsızlığı	2100
Normalden % 30 daha fazla kilolu olmak	1300
Kömür madeninde çalışmak	1100
Kanser	980
Alkol(Amerikan ortalaması)	130
Radyasyon alanında çalışma*	40*

**Bu değer gerçekten gözlemlenmiştir. Yıllık ortalama mesleki radyasyon dozu 5 mSv değeri kabul edilerek lineer teoriden yararlanılarak tahmin edilmiştir.*

3.11. Radyasyondan Korunmanın Temel Prensipleri

3.11.1. Gerekçeleştirme

Radyasyonun zararlı etkileri göz önünde bulundurularak, net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

Çizelge 3.5. Radyasyonla çalışanların kanserde ölme riski ile endüstriyel kazalar nedeni ile ölüm risklerinin karşılaştırılması (yıllık ortalama risk - İngiltere) (^dTAEK, 2007)

Kömür Madeni	1 / 7,000
Petrol ve Doğal Gaz Çıkarma	1/ 8,000
İnşaat	1 / 16,000
Radyasyonla Çalışma (1.5 mSv/y)	1 / 17,000
Metal Üretimi	1 / 34,000
Kimyasal Üretim	1 / 100,000
Hizmet Sektörü	1 / 220,000

3.11.2. Optimizasyon

Tedavi amaçlı tıbbi ışınlamalar hariç, radyasyona maruz kalmayı gerektiren uygulamalarda bireysel dozun büyüklüğü, ışınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm ışınlamalar için, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanmalıdır. Kişilerin alacakları doz (Medikal olanların dışında) sınırlandırılmalıdır (UNSCEAR, 2000).

18 yaşından küçükler radyasyon uygulaması içinde çalıştırılmazlar. Eğitimleri radyasyon kaynaklarının kullanılmasını gerektiren 16-18 yaş arasındaki stajyerler ve öğrenciler için etkin doz, herhangi bir yılda 6 mSv'i geçemez. Ancak el, ayak veya deri için yıllık eşdeğer doz sınırı 150 mSv, göz merceği için 50 mSv'dir.

3.11.3. Özel Durumlar İçin Planlanan Işınlamalar

Normal uygulamalarda ortaya çıkan ve yıllık doz sınırları üzerinde etkin doza maruz kalmayı gerektiren, fakat ışınlanmanın dışında başka yöntemlerin bulunmadığı özel durumlarda Kurum'un izniyle yapılan ışınlamalardır.

Özel durumlarda ışınlamaya maruz kalacak radyasyon görevlileri için doz sınırları herhangi bir yılda 50 mSv'i, birbirini takip eden 10 yıl içinde ortalama yıllık 20 mSv'i ve toplamda 100 mSv'i geçemez.

3.11.4. Tıbbi Işınlamalar İçin Doz Kısıtlamaları

Tanı amaçlı radyasyon uygulamalarında, hasta dozu kısıtlamaları için yönetmeliklerde verilen referans düzeylerine uyulmalıdır.

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

- Hasta Ziyaretçileri ve Gönüllüler İçin (Tanı/tedavi süresince) 5 mSv'i
- Hasta ziyareti için gelen çocuklar için 1 mSv'i aşmamalıdır.

3.12. Radyoaktif Bozunma

Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek daha kararlı atom haline dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemeleri işlemidir.

Radyoaktif bozunma olayı fotoğraf flaş ampulüne benzetilebilir. Ampulde depolanan enerji flaş ışığı şeklinde ortaya çıkar. Flaş ampulünün ışık vermesi sonucu, depoladığı enerjisi ortaya çıkan ampulün fazla enerjisi kalmamış olup diğer kararlı forma (kullanılmış flaş ampulüne) dönüşür. Benzer şekilde radyoaktif atom, enerjisini vererek yeni bir forma dönüşür. Flaş patlaması olayından farklı olarak radyoaktif atomun bozunma sonucunda yeni forma dönüşen atomu da radyoaktif olabileceği gibi yeni forma dönüşen radyoaktif atomun kararlı atom haline gelebilmesi için bir dizi bozunma gerekebilir. Her bir bozunma olayında enerji bir radyasyon formunda ortaya çıkar.

Yeryüzü oluştuğunda birçok radyoaktif atom bulunuyordu. Bunların çoğu şu an kararlı hale gelmiştir. Yalnız uzun ömürlü radyoaktif atomlar ve bu atomların bozunma ürünlerinin önemli miktarları bozunmadan kalmıştır. Bunların bazıları Potasyum-40, Uranyum-238 ve Toryum-232'dir.

3.12.1. Karasal Radyasyon

Doğal radyoaktif elementler 4.6×10^9 yıl önce Dünya'nın oluşumundan beri vardır. Bu element ve izotoplardan yan ömrü 10^8 yıl'dan büyük olanlar günümüzde hala varlığını sürdürmektedir. Karasal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyoaktif elementler:

- Doğal radyoaktif bozunum serisi içinde yer alanlar
- Doğada tek başına bulunanlar

olmak üzere iki grupta toplanabilmektedir (Eisenbud, 1987).

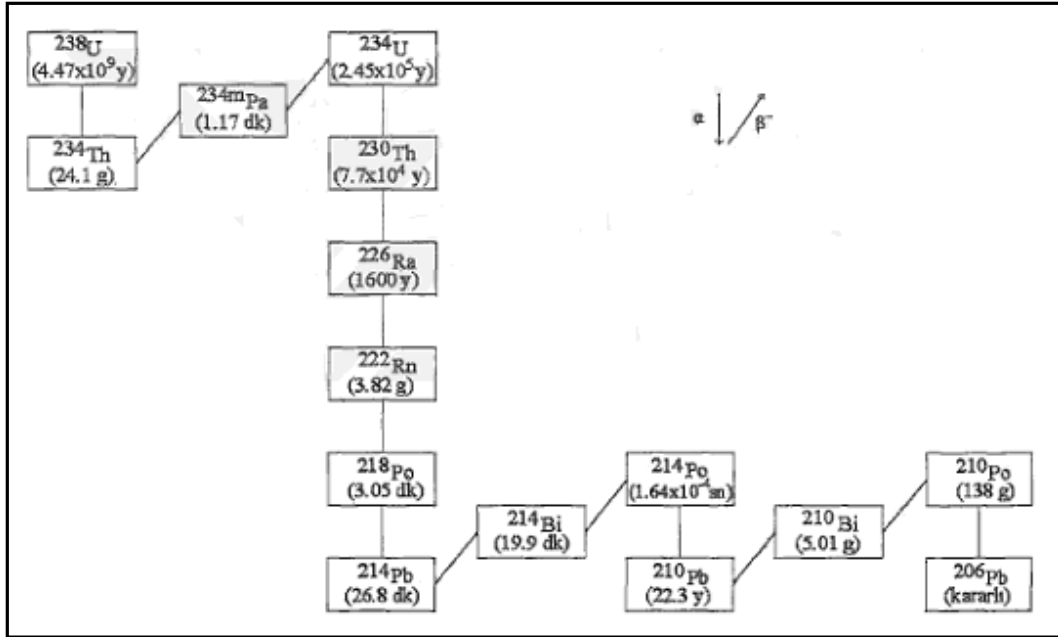
3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.12.1.1. Doğal Radyoaktif Seriler

Karasal radyasyonu oluşturan en önemli etken yarı ömürleri 10^8 yıldan büyük olan üç doğal radyoaktif bozunum serisidir. Bunlar:

- Uranyum serisi
- Toryum serisi
- Aktinyum serisidir.

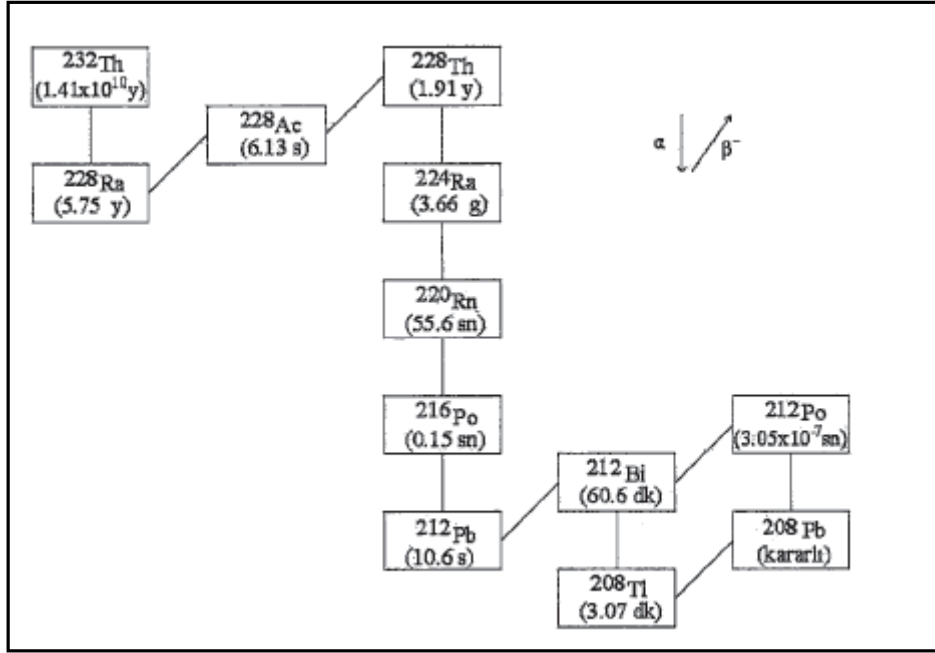
Doğadaki bu seriler sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U ile başlayıp arka arkaya alfa ve beta bozunumları yaparak, kararlı ^{206}Pb , ^{208}Pb ve ^{207}Pb izotopları ile son bulmaktadır. Bu serilere ilişkin bozunum şemaları sırasıyla Şekil 3.13., Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.' de verilmektedir (NCRP 97, 1988). Dördüncü bir bozunum serisi olan Neptünyum serisi, diğer üç seri ile karşılaştırılınca kısa yarı ömürlü bir kaynağa sahip olduğu için günümüzde rastlanmamaktadır. Kaynağı, 14 yıl yarı ömürlü ^{241}Pu olan bu serinin halen mevcut olan tek elemanı 2×10^{18} yıl ömürlü ^{209}Bi ' dur.



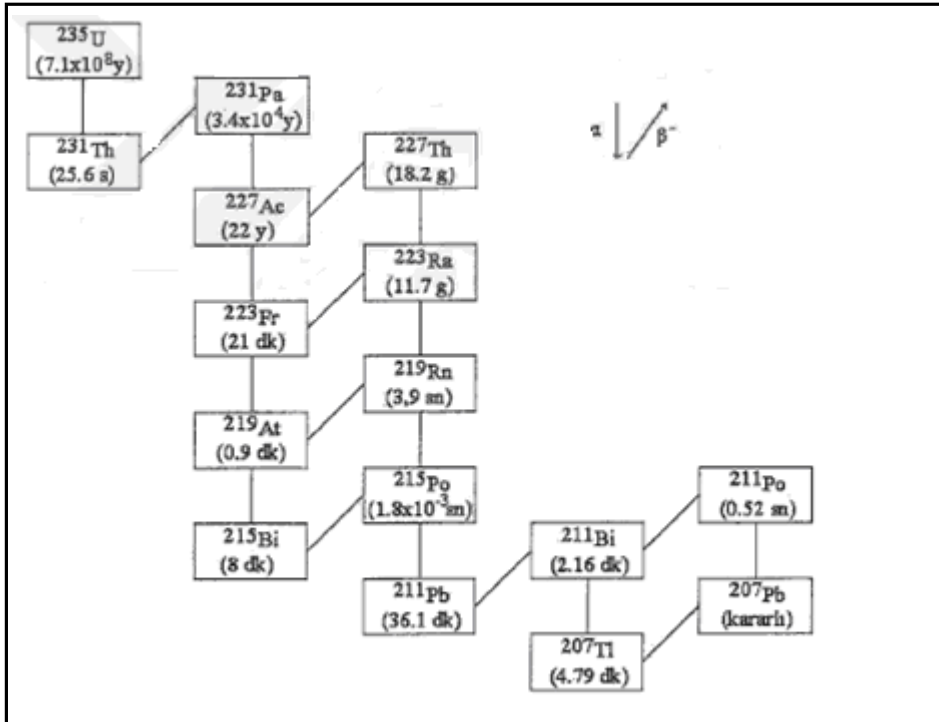
Şekil 3.13. Uranyum serisinin bozunum şeması

*Radyoaktif atomların kararlı atom haline dönüşmesi için iyonlaştırıcı radyasyon yayınlaması, radyoaktif bozunma olarak ifade edilir. Son kararlı duruma erişme süresi, gerekli bozunma adımları ve her bir adımda salınan radyasyon çeşitleri bilinmektedir. Uranyumun bütün izotopları kararsız olup, çeşitli bozunma adımlarında alfa, beta ve gamma radyasyonları yayılır. Bununla ilgili bozunma serisi Çizelge 3.13.'de verilmiştir. U-238'in bozunma serisinin son ürünü, kararlı kurşun-206 izotopudur. Bu çizelgede her bir bozunma adımıyla salınan radyasyon çeşidi ve yarılanma ömürleri verilmiştir. Uranyum bozunarak doğal çevre radyasyon seviyesine ulaşır. Yüzyıllar önce doğal radyasyon seviyesi bugünkünden daha yüksekti. (TAEK, 2007).

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS



Şekil 3.14. Toryum serisinin bozunum şeması



Şekil 3.15. Aktinyum serisinin bozunum şeması

3. RADYOAKTİVİTE HAKKINDA GENEL BİLGİLER Ahmet Ş. AYKAMIS

3.12.1.2. Doğada Tek Başına Bulunan Radyoaktif Elementler

Yukarda verilen bozunum serileri dışında doğada tek başına var olan yan ömürleri çok uzun kozmojenik ve çevresel kökenli radyoizotoplar vardır. Çizelge 3.6.'da bunlardan bazdan verilmiştir (Theodorsson, 1997; Karahan, 1997).

Çizelge 3.6. Doğada tek başına bulunan bazı radyonüklitler

İZOTOP ADI	YARI ÖMÜR (YIL)	YAYINLANAN RADYASYON	ENERJİ (KEV)	BAĞIL BOLLUK (%)
³ H	12,4	β ⁻	18,6	100
¹⁴ C	5400	β ⁻	155	100
⁴⁰ K	1,3x10 ⁹	β ⁻	1300	90
		γ	1460,8	10
⁸⁷ Rb	4,8x10 ¹⁰	β ⁻	250	100
¹¹⁵ In	4,4x10 ¹⁴	β ⁻	630	100
¹³⁸ La	1,1x10 ¹¹	β ⁻	1210	7
		γ	1390	93
¹⁴⁷ Sm	1,1x10 ¹¹	α	2180	100
¹⁷⁶ Lu	3,7x10 ¹⁰	β ⁻	425	100
²⁰⁹ Bi	2,7x10 ¹⁷	α	3150	100

Bunlardan en önemlileri insan vücudunda da bulunmaları ve iç ışınlama oluşturmaları nedeniyle ⁴⁰K ve ⁸⁷Rb dir. ⁴⁰K, doğal potasyum içinde takriben % 0.012 oranında bulunmaktadır. ⁴⁰K' ın yarı ömrü. 1.27x10⁹ yıl olup bozunumu esnasında 1.3 MeV enerjili beta parçacıkları ve 1.46 MeV enerjili gamma ışınları yayınlamaktadır. İnsan vücudunda, kaya ve topraklarda bulunması bakımından ⁴⁰K önemli bir dış ve iç radyasyon kaynağıdır. Yetişkin bir insan vücudunda kilogram başına 2 gram potasyum bulunduğundan yola çıkılarak gerekli doz hesapları yapılabilmektedir. İnsan vücudundaki ⁴⁰K yılda yaklaşık 170 μGy radyasyona maruz kalınmasına neden olmaktadır. Kayalarda da önemli ölçüde ⁴⁰K bulunmaktadır (kireçtaşı % 0.1, kum taşı % 1 ve granitte % 3.5 oranında). İki doğal rubidyum izotopundan biri olan ⁸⁷Rb radyoaktiftir ve ağırlıkça % 27.8' ini oluşturur. Yarı ömrü 4.8x10¹⁰ yıldır ve saf beta yayınlıdır. Yetişkin bir insan vücudunda kg başına 9.7 mg rubidyum bulunmaktadır. Önemli bir iç radyasyon kaynağı olan ⁸⁷Rb, vücudumuzun yılda ortalama 4 μGy radyasyon almasına neden olmaktadır (Eisenbud, 1987). Çizelge 3.7.'de, tüm tez boyunca bahsedilen elementler hakkındaki, periyodik tablo görülmektedir.

Çizelge 3.7. Periyodik tablo

ELEMENTLERİN PERİYODİK TABLOSU																	
Hidrojen Alkali Metaller Toprak Alkali Metaller Geçiş Elementleri Diğer Metaller Ametaller Halojenler Soy Gazlar * Lantanidler ** Aktinidler Atom Numarası Element Semboli Element Adı Kaynama Noktası (°C) Erime Noktası (°C) Yoğunluk Kütle Numarası																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
1	4	3	9	10	12	14	16	19	20	23	24	27	28	31	32	35	36
Hidrojen	Helium	Lityum	Berylium	Bor	Karbon	Azot	Oksijen	Fluor	Neon	Sodyum	Magnasyum	Alüminyum	Silisyum	Fosfor	Kükürt	Klor	Argon
0.071	4.0026	6.941	9.0122	10.81	12.011	14.0067	15.9994	18.9984	20.179	22.98976928	24.304	26.9815386	28.0855	30.973761998	32.06	35.453	39.948
0.0008989	0.00017824	0.534	1.824	2.37	2.27	2.57	2.44	2.997	0.9002	0.9689342	1.738	2.70	2.33	2.997	2.56	3.2	1.781
0.0000703	0.0001251	0.534	1.824	2.37	2.27	2.57	2.44	2.997	0.9002	0.9689342	1.738	2.70	2.33	2.997	2.56	3.2	1.781
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Potasyum	Kalsiyum	Skandiyum	Titanyum	Vanadyum	Krom	Manganez	Demir	Kobalt	Nikel	Bakır	Çinko	Galyum	Germaniyum	Arsenik	Selenyum	Brom	Kripton
39.0983	40.078	44.955912	47.88	50.9415	51.9961	54.938044	55.845	58.9332	58.6934	63.546	65.38	69.723	72.64	74.9216	78.96	79.904	83.80
0.86	1.55	2.98	4.54	6.11	7.14	7.47	7.87	8.90	8.908	8.96	7.14	5.904	5.323	5.727	4.919	3.12	3.71
0.86	1.55	2.98	4.54	6.11	7.14	7.47	7.87	8.90	8.908	8.96	7.14	5.904	5.323	5.727	4.919	3.12	3.71
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rubidyum	Stronsiyum	Yttriyum	Zirkonyum	Niobyum	Molibden	Teknesiyum	Rutenyum	Rodyum	Paladyum	Gümüş	Kadmium	İndiyum	Kalay	Antimon	Tellür	Yod	Ksenon
85.4678	87.62	88.90584	91.224	92.90638	95.94	98.90625	101.07	101.07	106.3675	107.8682	112.411	114.818	118.710	121.757	127.60	126.90545	131.29
4.844	2.54	4.47	6.01	6.48	6.54	7.1	12.37	12.41	12.023	10.49	8.65	7.31	7.31	6.697	6.24	4.96	5.85
4.844	2.54	4.47	6.01	6.48	6.54	7.1	12.37	12.41	12.023	10.49	8.65	7.31	7.31	6.697	6.24	4.96	5.85
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Sesilyum	Baryum	Lantan	Hafniyum	Tantal	Tungsten	Reniyum	Osmiyum	İrinyum	Platin	Altın	Cıva	Taliyum	Kurşun	Bismut	Polonyum	Astatin	Radyon
132.90545	137.33	138.90547	178.49	180.94788	183.85	186.207	190.23	226.10171	217.23	196.96657	200.59	204.37	207.2	208.9804	209	210	222
19.29	3.51	4.54	11.3	12.61	19.3	21.02	22.61	22.56	21.46	19.3	13.53	11.53	11.34	9.78	209	1.9	9.4
19.29	3.51	4.54	11.3	12.61	19.3	21.02	22.61	22.56	21.46	19.3	13.53	11.53	11.34	9.78	209	1.9	9.4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	* İsmi belirtilen yoğunluk değeri kesin bir bilgi değil, diğerlerinin için tahmin olarak verilmiştir. Gazların yoğunluk değeri kaynama noktalarındaki sıvı halindeki ağırlıktır. Parantez içindeki kütle numaraları elementin bilinen en kararlı izotopuna aittir.					
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
Fransiyum	Radyum	Aktinyum	Rutherfordiyum	Dubnyum	Seaborgiyum	Bohriyum	Hassiyum	Mekneriyum	Ununsiyum	Ununsiyum	Ununsiyum						
223	226	227	261	262	263	264	265	266	286	287	288						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
Seriyum	Praseodym	Niodyum	Prometyum	Samarium	Europiyum	Gadolinum	Terbilyum	Dysprosium	Holmiyum	Erbilyum	Tuliyum	Ytterbiyum	Lutetiyum				
140.12	140.9077	144.24	144.9127	150.36	151.964	157.25	158.9254	162.50	164.93032	167.26	168.93032	173.04	174.967				
6.92	6.77	7.01	7.26	7.54	7.54	7.9	8.25	8.54	8.79	9.04	9.32	9.59	9.84				
6.92	6.77	7.01	7.26	7.54	7.54	7.9	8.25	8.54	8.79	9.04	9.32	9.59	9.84				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
Toronyum	Protaktinyum	Uranyum	Neptünyum	Plütonyum	Amerikonyum	Küroyum	Berkelyum	Kaliforniyum	Einsteiniyum	Fermiyum	Mendeleviyum	Nobeliyum	Lavrentsiyum				
232.03772	231.03688	238.02891	237.048173	244.06422	243.061381	247.07125	247.07125	251.108888	252.0833	257	258	259	260				
11.72	15.37	19.05	20.45	19.84	13.7	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8				
11.72	15.37	19.05	20.45	19.84	13.7	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8				

4. RADYOAKTİVİTE İÇEREN KAYAÇLAR

Yerkabuğunu oluşturan kayaçlar, içerdikleri radyoaktif maddelerle çeşitli istif ve katmanları oluşturmaktadırlar. Farklı şekillerde sınıflandırılabilmelerine karşın, genel olarak magmatik, tortul ve metamorfik olmak üzere üçe ayrılmakta olan kayaçların tipine göre radyoaktivite seviyelerinde farklılıklar gözlenmektedir.

4.1. Magmatik Kayaçlar

Magmatik kayaç türleri, sıcak, viskoz ve mobil olan magmanın soğuması ile oluşmaktadırlar (Kirtly, 1964). Magmatik kayaçlar iki türdür. Bunlardan birincisi magmanın yerkabuğunun derinliklerinden çıkarak katılaşmasıyla katmanlar arasında oluşurlar. Bunlara "Damar Kayaçları" adı verilir. Diğer ise volkanlardan çıkarak sıvı halde yeryüzüne ulaşır ve "Lavları" oluştururlar. Bunlara da "Volkanik Kayaçlar" adı verilir (Ketin, 1982). Magmatik kayaç türleri Çizelge 4.1. 'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Magmatik kayaç türleri (Erguvanlı, 1994)

Yüzeyde ve Yüzeye Yakın Olanlar	Gevşek	Tüfler ve Aglomeralar				
	Camsı	Pekştayn, Süngertaşı, Obsdiyen				
	Volkanik	Liparit Riyolit	Trakit	Dasit Andezit	Bazalt Diyabaz	Pikrit
Damar Kayaçları		Pegmatit Aplit	Porfirler			
Derinlik Kayaçları		Granit	Siyenit	Diyorit	Gabro	Peridotit Piröksenit
İçindeki Esas Elemanlar		Ortoklas Plajioklas Kuvars Mika Homblend	Ortoklas Plajioklas Mika Hornblend Ojit Biyotit	Plajioklas Kuvars Homblend	Plajioklas Diyalaj Ojit Olivin Manyetit	Piroksen Olivin Cevherler Feldispat

Çizelge 4.1. 'den de görüldüğü gibi, kayaçlar birbirinden kristal yapılan açısından farklıdırlar. Kristaller, gözle görülebilir boyutlarda iki ayrı ölçüdedir. Magmanın yavaş soğuması sonucu kayaçlar gözle görülebilir büyüklükte iri kristalli, hızla soğuması

sonucunda ise ufak taneli veya camsı kayaçlar oluşur.

Yer kabuğunda kendiliğinden yer alan doğal radyasyon kaynaklarından uranyum, toryum ve potasyum magmatik kayaçlar içerisinde yer almaktadır. Çalışmalarda magmatik kayaçlardan; granit ve kuvars içerisinde hayli bol miktarda toryum ölçümlenmiştir (Phair ve Gotterfield, 1964).

Diğer kayaç türlerine oranla magmatik kayaçlardaki uranyum, toryum dağılımı yüksek olmakta ve toryum'un uranyuma oranı bölgeden bölgeye değişmekte olup, genellikle toryum miktarı, uranyum miktarına göre yüksek olmaktadır (Hemond ve ark., 1994).

4.2. Tortul Kayaçlar

Yeryüzünde bulunan bir diğer kayaç türü tortul kayaçlardır. Tortul kayaçlar, tortulaşma veya sedimantasyon sonucu meydana gelirler. Bu kayaç türleri çökeltme yoluyla oluştuğundan, içerisinde farklı tabakalaşmalar gerçekleşir ve fosiller bu tabakalar içerisinde yer alır (Holmes, 1964).

Tortul kayaçlar kökenlerine ve oluşum ortamlarına göre ayrık (kırıntılı), organik ve kimyasal olmak üzere 3 sınıfa ayrılır (Holmes, 1964).

Çizelge 4.2'de tortul kayaçların sınıflandırılması verilmektedir (Erguvanlı, 1994).

Sedimentler volkanik ve metamorfik taşlar üzerinde ince bir tabaka halinde yer alırlar. Bu kalınlık yer kabuğunda belli oranlardadır (Blyth, 1983).

Tortul kayaçlar içerisinde yer alan bir takım ana elemanlar, toprak kayması gibi doğal olaylar neticesinde ayrılırlar ve bir takım kimyasal değişimler ortaya çıkar (Mason, 1952).

Bunun neticesinde, taneli materyallerden kuvars ayrışarak kumtaşı ve kuvars kumunu oluşturur. Bunlar, silisyum bakımından zengin materyallerdir.

Alüminyum silikatların ayrışması neticesinde de kil mineralleri ortaya çıkar. Böylece alüminyum ve potasyum absorpsiyonu gerçekleşir.

Kalsiyum çökmesi neticesinde de CaCO_3 oluşur.

Bu elementlerin okyanusun diplerinde çökmesini takiben buharlaşma sonucunda geride kalan tuz içerisinde potasyuma rastlanabilmektedir. Tortul kayaç türleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Tortul kayaçların sınıflandırılması (Erguvanlı, 1994)

	ÖZELLİK	AYRIK	ÇİMENTOLU
A Y R I K	200 mm <	İri çakıllı	Konglomera ve Breş
	200-2 mm	Çakıl (Gravel, Cobble)	
	20-2 mm	Çakıl (Gravel, Pebble)	
	2-0.2 mm	İri (Kaba) kum	Kumtaşı, Çimento
	0.2-0.02	İnce Kum	
	0.02-0.002 0.002 mm >	Silt, Kil	Siltaşı, Kilitaşı
O R G A N İ K	Kalkerli	Kavkı, Mercan, Alg Globijerin	Kalkerler: Kavkı, Mercanlı, Algli, Krinoidli, Foraminiferli
	Silisli	Radiolaria, Diyatome, Sünger spikülleri	Radiolarit, Diyatomit
	Karbonlu	Çiçeksiz ve çiçekli bitkiler	Turba, Linyit, Maden kömürü
	Demirli	Bataklık demiri	
	Fosfatlı	Guana Kemikler	Fosforit, Kemik Breşi
K İ M Y A S A L	Kalkerli	Eriyiklerden çökelmiş kalsiyum karbonat, Çökelme ile oluşan kalsiyum magnezyum karbonat	Kalkerler: Oolitik, dolomitik, tebeşir, traverten, dikit, sarkıt Dolomit; Magnezyumlu kalker
	Silisli	Silisli jeli,	Çakmaktaşı, Jips, Çört
	Demirli	Demiroksit	Demirli killeri, Alçı taşı,
	Tuzlu	Hidrozoil Tuzgölü Birikintileri	Anhidrit, Na ve K’lı tuzlar, Nitratlar

Hidrostatik çökeller, çoğunlukla taneli mineralleri oluşturur. Organik tortul kayaçlarda yer alan kabuklu maddeler içerisinde de bir miktar potasyum bulunmaktadır. Bunlardan özellikle siyah kabuklu elemanlar, FeS₂ içerirler ve bu elemanlar içerisinde yer alan başlıca ikincil elementler ise sırasıyla, V, U, As, Sb, No, Cu, Ni, Cd, Ag, Au olan ağır metallerdir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; uranyum fosfor ile orantılı olarak bir artış göstermektedir. Her iki element de aynı şartlar altında depolanmaktadır. Bununla beraber elde edilen neticeler, karbonun da uranyum ile aynı şartlarda ve aynı orantıda arttığını göstermiştir (Beers ve Goodmann, 1975).

Osmond (1964), sediment kayaçlarda uranyum ve toryum dağılımını incelemiş ve magmatik kayaçlarla karşılaştırıldığında, tortul kayaçlarda daha az miktarda radyoaktif madde bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan araştırma neticesinde magmatik kayaçlar ve tortul kayaçlarda yapı bakımından olduğu kadar radyoaktivite açısından da farklılıklar olduğu görülmüştür. Uranyum ve toryum oranları kıyaslandığında, tortul kayaçlarda uranyum ortalama 2,4 ppm, toryum 6,5 ppm iken magmatik kayaçlardaki uranyum ortalama 3,5 ppm toryum ise 13,5 ppm olarak bulunmuştur.

4.3. Metamorfik Kayaçlar

Kayaçların üçüncü grubu olan metamorfik kayaçlar, daha önce, yeryüzünde bulunan magmatik, tortul ve metamorfik kayaçların dış etkenlerden dolayı şekil değiştirmesiyle meydana gelirler. Bir başka deyişle, metamorfik kayaçlar; basınç, ısı, kesim vs. gibi kuvvetlerin etkisiyle karakterlerinin, kristal yapılarının ve dokularının değişmesiyle oluşan yeni bir kayaç türüdür (Erguvanlı, 1994). Metamorfik kayaç türleri Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Metamorfik kayaçların sınıflandırılması (Erguvanlı, 1994)

SINIFLAMA	KAYAÇ TÜRÜ	ÖZELLİK	İÇİNDEKİ MİNERALLER
Şistler	Arduaz Kloritşist Mikaşist	Çok İnce Taneli İnce Yaprak Yaprak	Kil Mineralleri Mika, Kuars, Feldspat
Foliasyonlu	Gnays	İri Taneli Kısmen Ayrışmış	Kuars, Feldspat, Mika, Hornblend
Masif	Mermer kuvarsit hornfels	İnce ve iri taneli İnce ve iri taneli Çok ince taneli	Kalsit, dolomit Kuars Kuars

Metamorfizma türlerini ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar; termal metamorfizma ve dinamo metamorfizma olarak sınıflandırılabilirler. Termal metamorfizma türü kayaçlar, ısı tesiriyle volkan kitlelerle temas halinde bulunan kayaçların kristal

yapılarının değişmesi sonucu ortaya çıkan türdür (Blyth, 1983). Dinamo metamorfizma kayaçlar ise yüksek basınç ve gerilim altında kalan kayaçların kristal yapılarının bozularak, metamorfizme olmaları ile oluşurlar,

4.4. Yerkabuğundaki Potasyum, Uranyum Oranının Önemi

Yerkabuğunun ortalama kimyasal bileşimi; tortul sedimenter tabakalardan, granitik ve bazaltik tabakaya doğru derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Tortul bileşenlerden granitik kabuğa doğru gidildikçe Si, Na ve K'da bir artış olurken, granitik kabuklardan daha derine bazaltik kabuğa doğru gidildikçe de Si ve K miktarının azaldığı görülür. Dolayısıyla K/Na, Ca/Mg ve Fe_2O_3 / FeO oranları derinlikle orantılı olarak azalırken Al/Si oranı artar. Bunun sonucu olarak derinlikle birlikte Fe, Mg, Al artarken, CO_2 ve H_2O kombinasyonunda bir azalma görülür (Willey, 1970).

Yerkabuğunda açığa çıkan ısı oluşumunun radyoaktiviteden kaynaklandığı bilinmekle birlikte, jeolojide karşılaşılan en önemli sorunlardan biri K, U, Th dağılımının belirlenmesidir (Lambert ve Heir, 1967).

Sonuç olarak, günümüze kadar yapılan çalışmalarla Th, U ve K dağılımı için, yerkabuğunun alt tabakası, orta tabakası ve üst tabakasında U, K oranları incelenmiştir. Uranyum ve Toryumun esas itibarıyla magmatik yapılarda nispeten yüksek olduğu ve yeryüzünde, meydana gelen magmatik hareketler neticesinde oluşan volkanik hareketlerle alt tabakadaki uranyum ve toryumun üst seviyelere taşındığı tespit edilmiştir. Buna karşın, potasyumun ise her üç tabakada da geniş ve benzer bir değişim aralığı olduğu görülmektedir (Willey, 1970).

Potasyumun değişik kayaç türlerindeki dağılımı için, literatürde farklı verilere rastlanmaktadır. Bu durum, Çizelge 4.4.'de verilmektedir.

Uranyumun jeokimyasal özellikleri incelendiğinde başlıca magmatik kayaçlarda, sedimenter kayaçlarda siyah renkli şistli killerde ve toprakta bulunduğu görülmektedir. Uranyumun çeşitli elemanlarda bulunma oranları Çizelge 4.5'de verilmektedir (Bürküt, 1975).

Çizelge 4.4. Potasyumun değişik kayaç türlerindeki ortalama dağılımı

KAYAÇ TÜRÜ	POTASYUM MİKTARI (%)			
	Goldschmidt (1933)	Daly (1933)	Ahrens (1954)	Turekian- Wedepohl (1961)
Granit	3,38	3,40	2,9	4,20-2,52
Siyenit	—	3,73	—	4,8
Digonit (Yeşil Taş)	—	1,75	—	—
Gabro	0,74	0,74	—	—
Ultramafik	—	0,038	0,001	0,004
Bazalt	—	1,26	0,65	0,83
Andesit	—	1,69	—	—
Fanalit	—	4,34	—	—
Trakit	—	4,76	—	—
Riyolit	—	3,80	—	—
Greysen	1,44	—	—	—
Ortalama Magmatik	2,60	—	—	—
Kabuk	—	—	3	2,66
Kumtaşı	—	—	1	1,07
Laterit (Kırmızı Kil)	—	—	—	—
Glokoni (Yeşil Tavlı Silikol)	—	—	—	—
Kırmızı Kil	—	—	—	—
Kireç Taşı	—	—	—	—

Çizelge 4.5. Uranyumun çeşitli elemanlarda bulunma oranları (Bürküt, 1975)

KAYAÇ TÜRÜ	URANYUM BOLLUĞU (PPM)
Magmatik Kayaçlar	2,6
Ultramafik Kayaçlar	0,03
Mafik Kayaçlar	0,8
Felsik Kayaçlar	3,5
Sedimenter Kayaçlar	2,5
Kalkerlerde	0,45
Kumtaşlarında Şistli Killerde	4,1
Siyah Renkli Şistli Killerde	2-300
Toprakta	1
Bitki Küllerinde	0,6

Uranyum, jeokimyasal açıdan değerlendirildiğinde, iklim koşullarına bağlı olarak katman içeriğinde tespitinin mümkün olduğu görülmektedir.

Toprakta var olan uranyumun, topraktan bitkilere geçmesi ile radyoaktivitenin canlılara geçişi söz konusu olmaktadır. Ayrıca, içme ve maden sularında uranyuma rastlanmakta ve canlılara geçişte önemli olabilmektedir.

Maden sularında radyoaktivite içme sularına nazaran daha fazladır. (Bürküt ,1975). İçme sularında ve maden sularında da radyoaktivite yöreden yöreye değişebilmektedir (Tuncer, 1991; Er, 1995).

4.5. Toprak ve Kayalardaki Radyoaktivite

Yerkabuğu oluşurken çevremizdeki tüm kayalarda jeolojik ve coğrafik oluşumlarına göre farklı miktarlarda radyoizotop mevcuttur. Özellikle granit gibi magmatik kayalarda yüksek radyoaktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Değişik kaya tiplerindeki radyum, uranyum, toryum ve potasyumdan kaynaklanan yarı ömürleri, spesifik aktivite değerleri, bozunum başına yayınladıkları foton sayısı ve yıllık doz değerleri Çizelge 4.6 ve 4.7.'de verilmektedir (Eisenbud, 1987).

Çizelge 4.6. Doğada bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ' nin yarı ömürleri, spesifik aktivite değerleri ve bozunum başına yayınladıkları foton sayısı.

RADYONÜKLİT	YARI ÖMÜR (yıl)	SPESİFİK AKTİVİTE (Bq/kg)	FOTON/BOZUNUM (>50 keV)
^{40}K	1.25×10^9	2.8×10^4	0.11
^{232}Th	14.0×10^9	4.02×10^6	2.08*
^{238}U	4.5×10^9	12.3×10^6	1.80*

* ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin denge halinde olduğu kabul edilmiştir.

Volkanik ve metamorfik kayalar yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında şekillenmiş olan kristal kayalardır. Bu şartlar altında kayalar eriyebilir ya da tekrar kristalleşebilir. Birbirlerinden farklı elementler olan uranyum ve toryumun büyük hacimleri, onların çoğu mineral yapılar içine girmelerine izin vermez. Bunun bir sonucu olarak uranyum ve toryum daha önceden şekillenmiş yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı mineral yapılarından ayrılırlar ve oluşumu uzun zaman alan alkali kayalarda zengin olarak bulunma eğilimi gösterirler (Papastefanou, 2001).

Çizelge 4.7. Farklı kaya türlerine ilişkin yıllık doz değerleri.

KAYA TÜRÜ	⁴⁰ K		²³² Th		²³⁸ U	
	(mg/kg)	(Bq/kg)	(mg/kg)	(Bq/kg)	(mg/kg)	(Bq/kg)
Püskürük						
Granit	5	1200	17	70	3	35
Bazalt	0,9	230	4	15	1	12
Tortul						
Kireçtaşı	0,3	70	2	8	2	25
Kumtaşı	1,3	300	3	11	1,5	18
Killi Şist	3,0	700	12	45	4	50
Toprak						
Dünya Ort.	1,4	370	6	25	2	25

*Bazı kayalar ve topraktaki ⁴⁰K, ²³²Th ve ²³⁸U'nun kütle ve aktivite konsantrasyonları

Uranyum ve toryum bu şartlar altında benzer bir şekilde hareket ettikleri için onlar arasındaki oran genellikle ortak volkanik kayalarda 4'e 3'tür. Her iki elementin bolluğu kuvars muhteviyatı ile artış eğilimi gösterir. Granitler genellikle uranyum ve toryumun en yüksek konsantrasyonlarına sahiptirler. Bu tür kayalardaki uranyum konsantrasyonu nadiren 30 ppm'i aşmaktadır. Kuvarsça zayıf kayalar ise genellikle 0,1 ppm ya da daha az uranyum konsantrasyonu içerirler (Ioannides, 2003).

Granitler yüksek uranyum ve toryum içermelerine rağmen, silika yönünden fakir kayalar 0,1 ppm veya daha düşük uranyum içerirler. Uranyum, toryum ve bunların ürünleri, radyoaktif potasyum ile birlikte kristalimsi kayalardaki büyük ısı üreticidirler (Chiozzi ve ark, 2002). Granitler yeryüzünün büyük bölümünde oldukça yaygın plutonik kayalardır. Sert ve dayanıklıdır bu sebeple iç, dış zemin ve yer kaplamalarında kullanılırlar. Temel olarak kuvarz, potasyum feldispat ve sodyum feldispat tanecikleri içerirler. Genel kimyasal içerikleri şu şekildedir; %75 silis (çakmaktaşı), %12 alüminyum, %5' ten az potasyum oksit, %5' ten az soda (karbonat), az miktarlarda da demir, magnezya ve titanya. Yerkabuğundaki oluşumlar kıyaslandığında granitlerde fazla miktarda uranyum ve toryum bulunmaktadır. Jeoloji bilimcileri bu durumu, magmanın kısmi olarak erimesi ve yavaş bir şekilde kristalleşmesiyle, bu durumda sıvı fazda bulunan uranyum ve toryumun silis kristalleriyle birleşmesi ile açıklamaktadırlar. Granit gibi silisli kayalarda ortalama 5 ppm uranyum ve 15 ppm toryum bulunmaktadır (Tzortzis ve ark., 2003).

Yukarda belirtilen doğal radyonüklitler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz

kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar. Böylece topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olurlar. Hatta, tarımda topraktaki verimi artırmak için kullanılan suni tohumlama ve gübreleme (sunî gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de lokal olarak toprak yüzeyindeki radyoaktiviteyi artırmaktadır (Karahana, 1997). Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülmektedir. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle, gamma radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gamma radyasyonları oldukça yüksektir.

Kayaların içerdiği ortalama uranyum miktarı yaklaşık olarak 2,7 ppm veya 33 Bq/kg'dır. Özellikle fosfat içerikli kayalar yüksek miktarlarda uranyum içermektedirler (10-100 ppm). Bunun yanı sıra basalt türü kayalar uranyum içeriği yönünden fakirdirler ve yaklaşık olarak 11,1 Bq/kg'lık bir yoğunlaşmaya sahiptirler. Toryumda uranyuma benzer olarak yaygın bir şekilde kayalarda bulunmaktadır. Konsantrasyon alkali materyallerden çok asidik materyallerde daha yüksektir. Karasal kabuk ve topraktaki toryum yoğunlaşması, uranyum yoğunlaşmasından yaklaşık dört kat daha yüksektir ve 9-10 ppm civarındadır. Bununla birlikte, toryum uranyumdan daha düşük bir özel aktiviteye sahiptir ve iki elementin radyoaktivite yoğunlaşması hemen hemen aynıdır. Toryumun yoğunlaşması özellikle monazit türü minerallerde oldukça yüksektir (%10). Hem toryum hem de uranyum bozunma zincirinde var olan ve doğal olarak oluşmuş radyo çekirdeklerin (NORM) en önemli kaynağını oluşturan diğer bir radyoizotop da radyumdur. Toprak ve kayalardaki ortalama aktivite yoğunlaşması uranyum ve toryumun aktivitesine eşittir. Toprak ve kayalardaki ^{226}Ra ve ^{222}Rn 'un aktivitesi yaklaşık olarak 10 mBq/g dır. Uranyum gibi radyum da çözülebilir ve toprakta kolaylıkla sızabilir ve bitkiler ve hayvanlar tarafından bileşik şeklinde alınabilir (Kathren, 1998; Valkovic, 2000; Tykva and Holme, 1985).

En önemli doğal radyoaktif çekirdekler arasında ^{40}K (potasyum) önemli bir yere sahiptir. Potasyum, kireçtaşlarında yaklaşık % 0,1 ve bazı granitlerde % 4'ten fazla bir konsantrasyon ile yerküre yüzeyinde bulunmaktadır. Kayalardaki potasyum aktivitesi ortalama 0,62 Bq/g (17 pCi/g) dir ve bazalt türü kayaçlardaki yoğunlaşması bu değer yarısı civarındadır. Doğadaki potasyumun % 0,0118' i ^{40}K tır ve bozunumunun sadece %11' inde gamma ışınları yayınlar. Ana kayalarda ve toprakta uranyum ve toryuma nazaran ağırlıkça 10000 kat fazla bulunur. Bazı granitlerde, özellikle kalsiyum yönünden fakir olanlarda ve siyenitlerdeki yoğunlaşma 1,85 Bq/g (50 pCi/g)'ı civarındadır. Topraktaki potasyum birikimi, tarımsal aktivitelerle oldukça büyük değişimler gösterebilmektedir. Deniz suyundaki potasyum yoğunlaşması ortalama 11 Bq/l civarındadır.

Yeraltı suları radyoaktif çekirdeklerin birikmesinde ve dağılımında önemli bir rol oynamaktadır, örneğin, uranyum 10^{-3} ppb ile 100 ppm arasında geniş bir konsantrasyonda ölçülmesine rağmen, toryum izotopları genellikle çok düşük miktarlarda bulunmaktadır. Yeraltı sularında radyumun genellikle tutulmasından dolayı çok uzak bölgelere göç edemez (Sun and Semkov, 1998 : Higgy and Pimil, 1998).

Toprakta mevcut olan radyoaktivite biyokimyasal proseslerle bir miktar değişmektedir. Bitki kök sistemlerindeki gelişme, bir taraftan topraktaki doğal dengeyi sağlarken diğer taraftan bitkinin ihtiyacı olan suyu topraktan almaktadır. Hümik asit (toprakta bulunan bir çeşit asit) kayaların parçalanmasında ve bu parçaların sular vasıtasıyla toprağa karışmasında önemli bir rol oynar. Topraktaki organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında oksidasyonlarla başlar. Alt tabakalarda mevcut olan uranyum zamanla azalır.

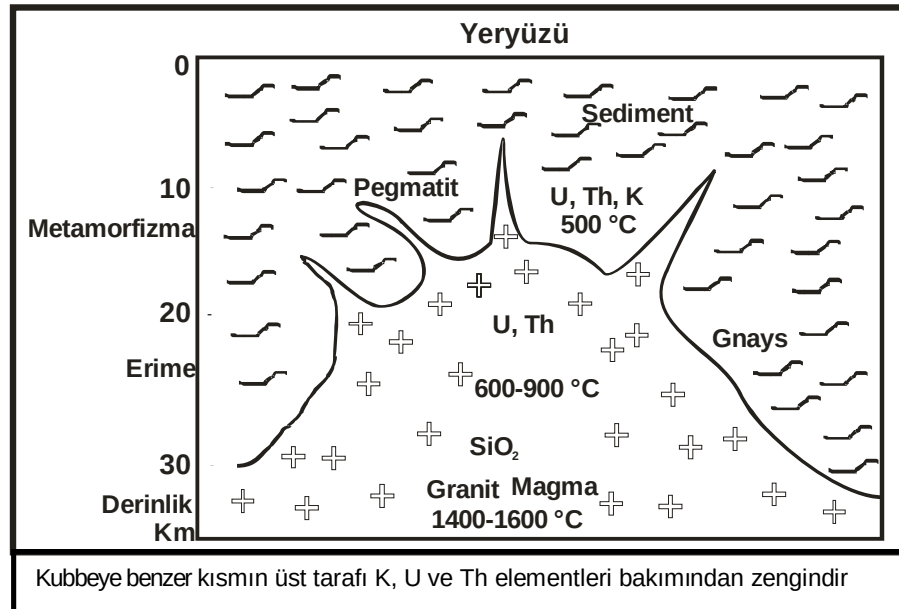
Topraktaki hareketlilik demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam eder. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyonüklidlerin tutulmasını engeller.

Topraktaki bu gelişim evreleri kayalardaki radyonüklit konsantrasyonlarını ve dolayısıyla dış radyasyon seviyelerini de azaltır. Toprak içinde bulunan doğal radyonüklitler, toprak içindeki oranlarına göre ortam veya çevre doğal radyasyonunun temel seviyesini değiştirir ve o oranlarda da insanların doğal radyasyonlara maruz kalmalarına sebep olurlar (Karahan, 1997; NCRP 45, 1975).

4.6. Toprak ve Kayalardaki Uranyum, Radyum ve Radon

Uranyum, toryum ve bunların bozunma ürünleri ile potasyumun radyoaktif izotopu olan ^{40}K , insan çevresinde doğal olarak oluşmuş iyonlaştırıcı radyasyonun büyük bir kısmını oluşturur. Bu radyo-elementler lithofil elementlerdir, yani bu elementler Şekil 4.1'de gösterildiği gibi silikadaki zengin magma ile birlikte birincil olarak meydana gelmiş ve ilk olarak granit ve synites ile ilişkilendirilen volkanik (riyolite, porfiri) ve hypabysal kayalarda (pegmatit, aplite) oluşmuşlardır. Uranyum ve toryum başkalaşımı gibi jeolojik işlemler ve sıcak hidrotermal solüsyonlar vasıtasıyla hareketlenebilir ve seyahat edebilirler. Ayrıca, ince çatlaklar ve diğer geçirgen yapılarda çökebilirler.

Çökelme sık sık indirgeyen çevrede meydana gelir. Bu tür çevrelere örnek olarak, kalsiyum, magnezyum, demir, çatlak yönünden zengin kayalar ve aşınma sonucunda oluşan ürünler verilebilir. Ana kayanın aşınması, su ve erozyonuna maruz kalmasıyla uranyum taşıyan ağır mineraller ve toryum çoğu kez ayrılır. Bunlar demir, zirkon ve titanyum ile birlikte birikebilirler.



Şekil 4.1. Granit magmanın yeryüzü kabuğuna yukarı yönlü bir zonlaması (Durrani ve İliç, 1997)

Toryum su ortamında kolaylıkla çözünmez. Nehir ve dere sularında çok küçük miktarda birikirler ve buradan da doğrudan denizlere ulaşırlar. Kil ve killi yaprak taşları diğer sedimenter kayalardan daha yüksek bir uranyum ve radyum yoğunluğuna sahiptirler. Nispeten yüksek uranyum konsantrasyonuna sahip sedimenter kayalara örnek olarak bazı siyah killi yaprak taşları ve fosfat birikintili sedimentler verilebilir. Toprak, ana kayadan kopmuş ürünlerden meydana gelmiştir. Toprağın üst kısmı, az veya çok organik materyaller ile karışmış olabilir. Toprağın oluşmasında birkaç farklı yol vardır:

- Ana kaya kimyasal veya mekanik aşınma ile karşı karşıyadır (sıcaklık, akan sular ve rüzgar). Toprak, kimyasal ve sıcaklık etkisiyle ana kayanın doğrudan yüzeyinin aşındırılmasıyla oluşan kalıntılardır. Örnek olarak, lateritik (kırmızı killi) toprak verilebilir.
- Ana kaya aşağıya doğru bir kırılmaya maruz kalır. Killi toprak altında uzanan ana kayanın doğrudan bir ürünü olarak bu yolla oluşmuştur.
- Volkanlardan yayılan volkanik patlama ürünleri kül tabakalarını ve taşları oluşturur.
- Deniz ve tatlı su hacimlerinin ürünlerinin çökmesi ile oluşabilir ve bu çökme kimyasal ve biyolojik olabilir. Bu tür topraklara örnek olarak, kireç çamurları, turba ve silisli toprak verilebilir.
- Gevşek toprak sular, rüzgarlar tarafından harekete geçirilir, ayrıştırılır ve tekrar biriktirilir. Su hareketi ve ayrıştırmasıyla oluşan topraklara örnek olarak, kil, kum ve çakılların nehir birikintileri verilebilir. Tekrar biriken topraklara örnek ise, deniz kıyılan boyunca var olan kum birikintileri verilebilir. Rüzgar ile taşınan toprak birikintilerine örnek olarak ise gevşek ve kumlu toprak verilebilir.

Toprak oluşum süreci boyunca ana kayadaki uranyum ve radyum derişiminde değişimler olmaktadır. Üstelik uranyum ve radyum farklı kimyasal özelliklere sahiptir ve kimyasal sızmalardan dolayı farklı miktarlarda bulunmalarını etkilemektedir. Bu nedenle uranyum ve radyum genellikle birbirinden ayrışırlar.

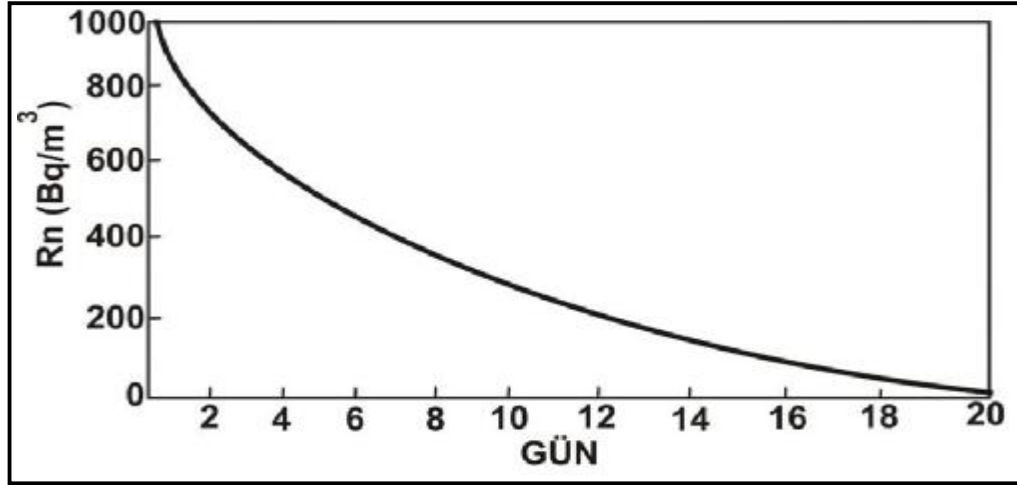
4.7. Radonun Oluşumu ve Yayılımı**4.7.1. Radonun Kaynağı**

Radon izotopları mineraller içerisinde radyumun bozulmasıyla üretilir ve bu izotopta ^{238}U , ^{235}U veya ^{232}Th ile başlayan bozunma zincirlerinin doğal bir üyesidir. Radonun en temel kaynağı, bu radyoaktif çekirdekleri bünyesinde bulunduran, toprak, yeraltı suyu ve bina yapım malzemeleridir (Kathren, 1998).

Radonun herhangi bir ölçüm noktasındaki konsantrasyonu şu üç ana faktörün bir fonksiyonudur.

- Kaynak materyaldeki radon kaynağının dağılımı ve miktarı,
- Biyosfere götüren taşıma mekanizmasının verimi,
- Yarı ömrü.

Radon, ^{238}U bozunma zincirinin kısa yarı ömürlü ve ^{226}Ra 'nın neslinin bir üyesidir ve konsantrasyonu kaynak materyaldeki ^{238}U ve ^{226}Ra 'nın miktarının bir fonksiyonudur. Bununla birlikte, su veya topraktaki radon ile radyum veya uranyum arasında sıkı bir ilişki yoktur. Gerçekte, sadece iki uç durum için mükemmel bir ilişki vardır. Bunlar; eğer kaynak maddenin (kaya veya sediment) radyum içeriği çok düşük veya çok yüksek ise, bu durumda bitişik su veya toprak gazında radon muhtemelen çok düşük veya çok yüksek olabilir. Bununla birlikte, radyum miktarı çok yüksek veya çok küçük değil ise, bitişik ortamdaki radon miktarı genişçe bir oranda değişiklik gösterebilir. Diğer faktörlerin de radon derişimi üzerindeki etkisi oldukça başlıdır. Öyle ki, herhangi bir ortamdaki radon konsantrasyonunu tahmin edebilmek için, katı matris içerisinde radonun çevre ortamına taşınım işleminin anlaşılması oldukça önemlidir. Radon derişiminin kontrolündeki üçüncü önemli faktör ise radonun yarı ömrüdür. Şekil 4.2'de asıl kaynağından ayrılan radonun bozunma eğrisi gösterilmiştir, bu durum desteklenmemiş aktivite hali olarak bilinmektedir. Radon aktivitesi üstel olarak azalır, böylelikle beş yan ömür veya yaklaşık 20 günde başlangıç aktivitesinin %1'i kadar aktiviteye sahip olmaktadır. Difüzyon ile normal şartlarda radonun topraktaki taşınımı, radonun kısa yarı ömründen dolayı bir kaç metre ile sınırlıdır. Toronun (^{232}Th ' den türemiş tehlikeli gaz) ise 55 saniyelik yarı ömründen dolayı çok daha kısa erişim uzaklığına sahiptir derişimi (Cothorn and Smith, 1987).



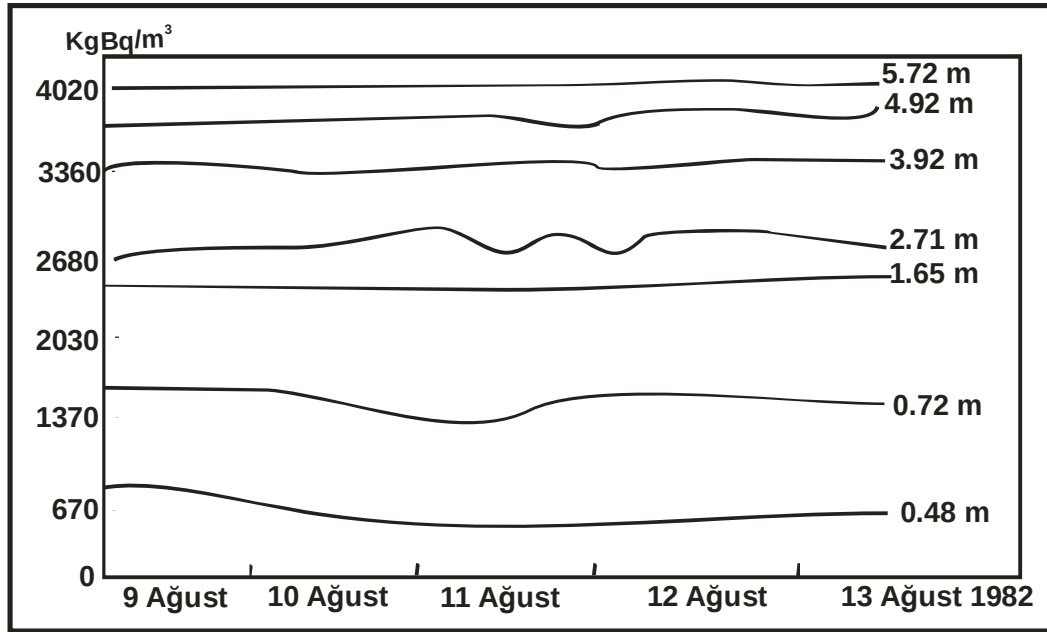
Şekil 4.2. Radon derişiminin yarı ömrüne bağı olarak değişimi (Cothorn and Smith, 1987)

4.7.2. Derinliklere Bağı Olarak Radon Konsantrasyonları

Radonun farklı derinliklerdeki konsantrasyonları üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Toprağın 0,5 metredeki derinlikteki radon yoğunluğu, toprak havasından kaçan ve giren radon arasındaki dengenin konsantrasyonunun yaklaşık olarak %50'si civarındadır ve topraktaki derinlik azalınca radon yoğunluğu büyük değişimlere maruz kalır. Bir metre derinliklerde ise denge konsantrasyonu yaklaşık olarak %70-80'i civarındadır.

Farklı derinliklerdeki radon konsantrasyonlarındaki değişimler Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Radon ölçümleri yaklaşık olarak 1 m civarındaki derinliklerde en uygun ölçüm şartlarını sağlamaktadır. Daha fazla derinliklerdeki toprak havasındaki radon yoğunluğu, daha sık bölgelerdekine göre hemen hemen sabittir. Çok daha fazla derinliklerdeki ölçümler çok daha pahalı ve büyük çakılların materyal içerikleri bilinmedikçe ilave olarak çok az bilgi verir. 1 m civarındaki derinliklerde ölçüm almanın diğeri bir nedeni de, toprağın üst kısmından sızan uranyum ve radyumun toprağın 0-70 cm aralığında birikmesi, buralarda radon yoğunluğunu arttırmaktadır.

Toprak tipine bağı olarak, nem içeriğine ve maruz kaldığı rüzgar ile ilişkili olarak radon yoğunluğu biri birine çok yakın noktalarda dahi değişiklik göstermektedir. Kullanılan ölçüm metotlarında radon ve toron arasındaki ayrımı yapabilmek oldukça zordur, öyle ki her zaman torondan gelen ve aktiviteyi arttıran bir risk vardır.



Şekil 4.3. Farklı derinliklerdeki radon konsantrasyonundaki değişimler (Durrani ve Iliç, 1997)

Bunun yanı sıra, nemin etkisi, boşluk büyüklüğü, detektöre hareketi boyunca radonun bozunması ve mineral taneleri ürerinde radonun tutulması gibi hata kaynakları da verilebilir.

4.7.3. Ana Kayadaki Fay ve Kırık Bölgelerinden Radon Yayılımı

Aktif faylardaki ayrıcalıklı gazların çıktığına dair oldukça fazla kanıt vardır. Yapılan çalışmalarla sismik kuşaklardaki yeraltı sularının HCO_3 özellik gösterdiği, sismik olarak aktif faylarda CO_2 çıkışının olduğu, olayın sürekliliği aktif fayların göstergesi olduğu ve yüksek geçirgenlik, gözeneklilik ve hareketle karakterize edildiği kanıtlanmıştır.

CO_2 çıkışı genel olarak, termal yer kabuğunun anormalliklerinin sonucu olan sismik faylar ile ilişkilendirilir. Fakat sismik faylarda CO_2 çıkışı olmadığı da görülebilir, bu durumda azotla zenginleştirilmiş helyumun açığa çıktığı gözlenir. Aktif faylardaki gazın çıkışı, üretilen diğer karasal gazlar için de geçerli bir özelliktir. Örneğin; Rn, He, H_2 , CH_4 , değişik alkanlar ve alkali aromatik hidrokarbonlar ve aynı zamanda uçuculuğu yüksek Hg, As, Sb gibi metallerdir. Fay gazları, tek bir fayda bile olsa, jeokimyasal özelliğin çok geniş bir aralıkta göstergesidir (ELSEC, 1994).

Ana kaya üzerindeki birçok kırık ve fay zonlarındaki yeraltı suyunda ve toprak havasındaki radon konsantrasyonunun yüksek olduğu yapılan birçok ölçümlerde ve çalışmalarda gösterilmiştir (Zmazek, 2002; Planinic, 2001). Bunların yanı sıra, deprem ile birlikte konsantrasyonlarda değişimler olduğu da gösterilmiştir.

Bütün bu gözlemler göstermiştir ki, kırık bölgelerinde radon, yeraltı suyu hareketi veya difüzyondan daha hızlı bir şekilde taşınabilmektedir. Bu olayın nasıl yukarı doğru bir şekilde gerçekleştiğine dair birçok teori vardır. Bunlardan biri, yukarı doğru hareket etmek için kendisine yol bulan jeo-gazlar (CO_2 , CH_4 , N_2) ile taşındığıdır. Kırık zonlar üzerindeki yeraltı sularında çözünmüş uranyum iyonları veya ürün çekirdekler vardır ve bunlar, yer yüzeyine yalan yerlerde çökelişirler, böylece bunların bozunmasından oluşan radyumdan da radon yayılır.

Bazı durumlarda, helyum ye zengin karbondioksit miktarı ile birlikte radon çıkışı gözlenebilmektedir. Bu durumda, karbondioksitin kırık zonlardan yüzeylere radonun taşınmasında büyük bir taşıyıcı rolü vardır.

Radonun yeryüzündeki çatlak ve kırıklardan, değişik gaz ve sıcak termal sular ile çıkabilmesinin yanı sıra, termal suların sıcaklığının artması çözünabilirliği arttığından aktivitesi de artar.

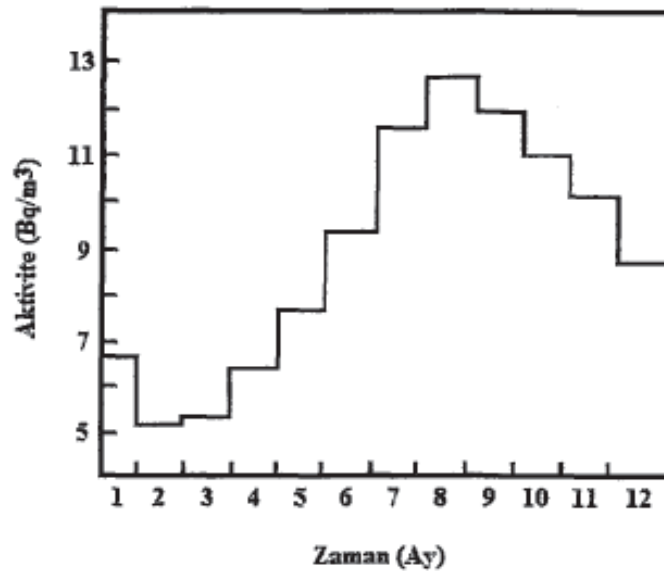
Radonun bu karakteristikleri, hidrotermal sistemlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde ve haritalanmasında, volkanik ve tektonik arazilerde fay kırıklarının belirlenmesinde, uranyum cevheri araştırmalarında, yeraltı sularının akış karakteristiklerinin belirlenmesinde bir araç olarak kullanılmasına imkan tanımaktadır. Yeraltı suları ve jeo-gazların yeryüzüne çıkışı ile hidrotermal sistemlerin ve sismik olarak aktif zonların güçlü bir ilişkisi vardır.

Özellikle, jeolojik profillerin ve tektonik süreksizliklerin birlikte değerlendirilmesinde radon tekniğı, yeryüzü araştırma radarı, elektromanyetik iletkenlik testi ve elektriksel direnç veya düşey manyetik farkı araştırmaları gibi jeofiziksel metotlar için alternatif bir araçtır (Planinic, 2000; Al-Tamimi ve Abumurad, 2001).

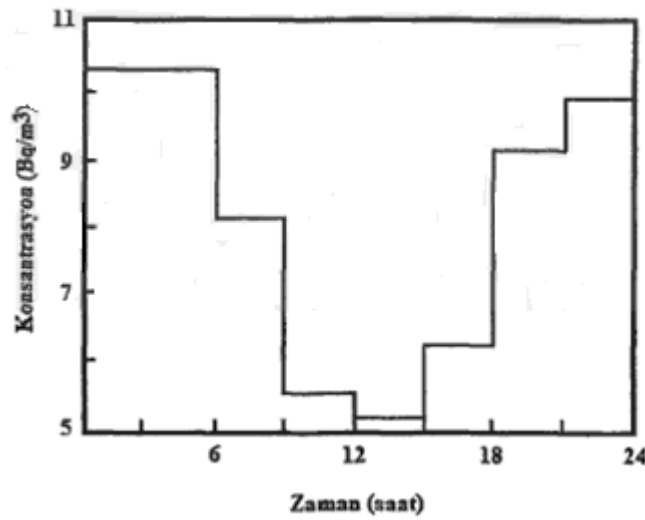
Yerkabuğundan atmosfere yayılan radonun miktarı oldukça küçüktür, bununla birlikte jeolojik faylarda, jeotermal kaynaklarda ve volkanik bölgelerde yerkabuğundan yayılan radonun miktarı değişiklik gösterebilmektedir. Buralardaki radon anormallikleri, toprak ve kayaların radon yayım gücüne ve iklimsel faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir (Bozkurt, 2001).

4.7.4. Bina dışı ve içi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri

Dış radon konsantrasyonları hem mevsimsel hem de günlük değişimler gösterir. Bu değişimler sırası ile Şekil 4.4. ve 4.5.'de gösterilmiştir (Fisenne, 1982; 1984). Radon ve onun bozunma ürünlerinin solunmasından dolayı oluşabilecek radyolojik zararların değerlendirilmesinde, iç radon konsantrasyonları dış radon konsantrasyonlarından daha önemlidir.



Şekil 4.4. Bina dışı radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri



Şekil 4.5. Bina dışı radon konsantrasyonunun günlük değişimleri

Bina içindeki radon; bina altındaki kaya ve toprak, inşaat (yapı) malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan gelir. Bina içi radon kaynaklarının en önemlilerinden birisi bina altındaki toprak tabakasıdır. Bunun yanı sıra gerçek iç radon konsantrasyonları, değişik kaynaklardan üretim hızı ve havalandırma hızı gibi iki baskın faktöre bağlıdır (Tykva, 1995).

İç ve dış atmosferdeki hem ^{222}Rn ve hem de ^{220}Rn 'nin bugünkü tahmini konsantrasyonları Çizelge 4.8'de özetlenmiştir (UNSCEAR, 1993).

Bu çizelgede; radon gazı ve onun denge eşdeğer konsantrasyonları (EEC), ilgili doz dönüşüm katsayıları ve yıllık efektif doz değerleri ^{222}Rn ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.8. Doz katsayıları ve yıllık efektif dozlar ile birlikte ^{222}Rn , ^{220}Rn ve onların bozulma ürünlerinin dünya genelindeki ortalama konsantrasyonları

RADYONÜKLİT	KONUM	KONSANTRASYON (Bq/m ³)		EFEKTİF DOZ (µSv)		YILLIK EFEKTİF DOZ ^a (µSv)	
		Gaz	EEC ^b	Gaz	EEC	Gaz	Bozunma Ürünü
^{222}Rn	Dış	10	8	0,17	9	3	130
	İç	40	16	0,17	9	48	1000
Toplam							1200
^{220}Rn	Dış	10	0,1	0,11	10	1,9	1,8
	İç	3	0,3	0,11	32	2,3	67
Toplam							73

a: Meşguliyet faktörü bina içi için 0,8 bina dışı için ise 0,2'dir.

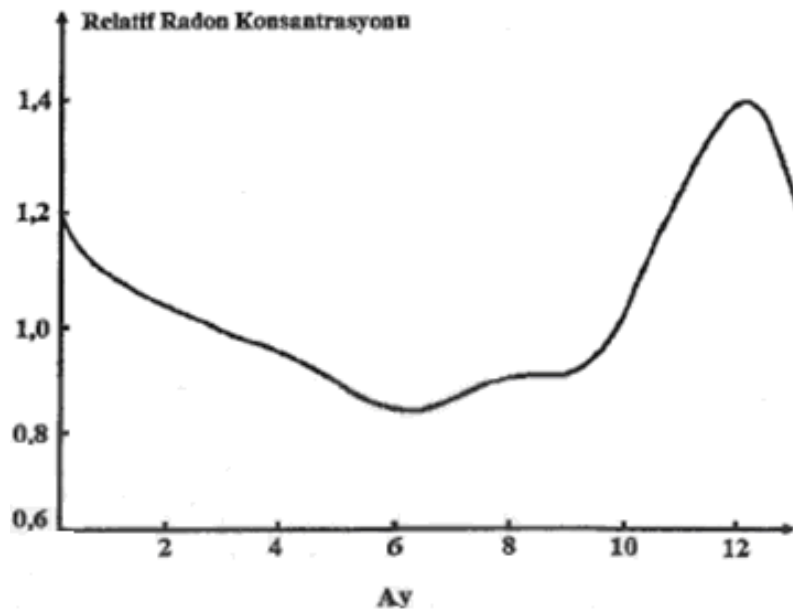
b: Denge faktörü değeri ^{222}Rn için, bina içi 0,4 ve bina dışı 0,8 olarak alınmıştır.

Özellikle kendinden havalandırmalı evlerde bina içi radon seviyeleri mevsimsel bir değişim gösterir. Yaz aylarında; ev dışı sıcaklık ev içi sıcaklıktan daha yüksek ya da en az onun kadar yüksek olduğu zaman, bina içerisindeki konvektif hareketler önemsizdir. Eğer sıcaklık 10 °C'den daha yüksek ya da içeride daha fazla ise konvektif kuvvetler harekete geçer ve bina içerisinde küçük bir basınç azalması olur. Bu basınç azalması 10 Pa kadar olabilir. Eğer toprak başlıca radon kaynağı ise bu durum düşük basınçlı (en az 2-5 Pa'ı aşmış ise) bina içerisi için bir dezavantaj olabilir. Eğer yapı malzemeleri ya da eve ait su radon kaynakları ise bu düşük basınç bir avantajdır. Bina

içi radon seviyelerinin mevsimsel değişimi; ev türü, radon kaynağı, ev sakinlerinin yaşama alışkanlıkları, evin havalandırma sistemi, evin ısıtılması ve dışarıdaki iklim gibi birkaç parametreye bağlıdır (Durrani ve Iliç, 1997).

Şekil 4.6 ve 4.7 bir yıl süresince bina içi radon konsantrasyonunun değişimini gösterir. Sonbaharda radon seviyesi bir artış ve ilkbaharda bir düşüş gösterir. Yaz aylarında ise minimum değerine düşer. Tercihli radon kaynağı verilmemiştir. Yaz aylarında çok fazla sayıda açık pencere olması gayet normal bir durumdur.

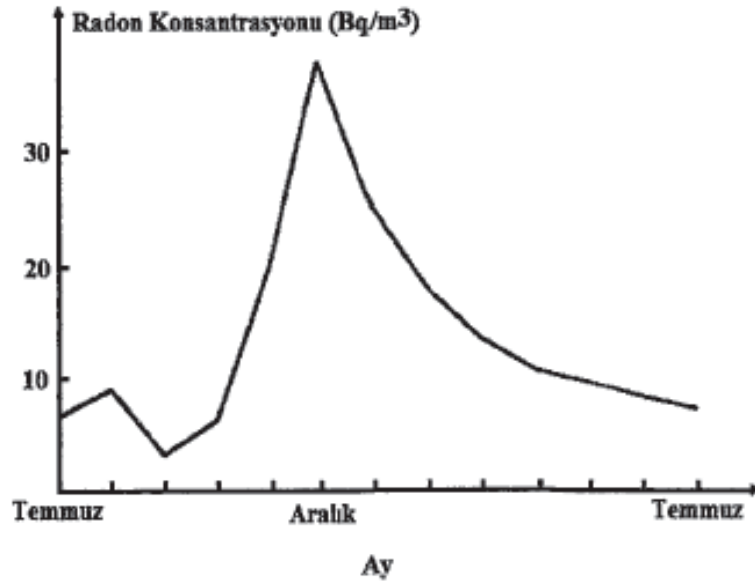
Bunun bir sonucu olarak bina içerisinde daha düşük bir radon seviyesi ölçmek mantıklıdır. Bunların yanı sıra kış aylarında toprağı donan ülkelerde; kendinden havalandırılmalı evlerdeki baca etkisi, topraktaki radonun bina içerisindeki havaya akış miktarını arttırabilir.



Şekil 4.6. Almanya'da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi (Heller ve Poulheim, 1992)

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 200-600 Bq/m³'tür.

Bu komisyon tarafından evlerdeki Rn konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar, halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m³, yeni evlerde 200 Bq/m³, radyasyon ve maden bölgelerinde ise 1500 Bq/m³'dür.



Şekil 4.7. Hindistan'da bina içi radon seviyelerinin yıllık değişimi (Ramachandran ve Subba, 1994)

400 Bq/m³'lük sınır değerinde akciğer kanseri meydana gelme riski %6'dır. Bu risk sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir (ICRP, 1987; 2003).

4.8. Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları

Nükleer endüstri ve nükleer ile ilgili aktivite ve uygulamalara ek olarak radyoaktif maddelerin kullanıldığı diğer bazı nükleer olmayan alanlar vardır. Böyle kaynakların radyoaktiviteleri, çevrenin radyoaktif kirlenme seviyesi üzerinde potansiyel ya da doğrudan etki gösterir.

Belirli radyonüklitler ticari ürünlerde ve bazı özel uygulamalarda kullanılırlar. Bunlara örnek olarak parıltılı boyalar, kalbin atış hızını ayarlayan aygıt için bataryalar, sigara ve ateş algılayıcıları, iyonizasyon prensibi ile çalışan gaz analizörleri verilebilir. Bu ürünler atmosferdeki radyoaktiviteye katkı sağlarlar. Diğer örnekler ise ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Po içeren tütün ürünleri, yapı malzemeleri, uranyum ve toryum azalma serilerini içeren yakıtlar, lüks gömleği, kamera lensleri ve toryum içeren kaynak çubukları olarak sıralanabilir.

Bununla birlikte radyoaktiviteye katkının çoğu, bazı endüstriyel süreçlerden gelir. Böyle endüstriyel aktiviteler; jeotermal çalışmaları, fosfat madenleri ve fosfat kayalarından gübre üretimini, kömür madeni ve kömür yanması, uranyumsuz madenler

ve süreçlerini içerir. Bu endüstriyel süreçlerdeki radyoaktiviteden kaynaklanan tehlikeler diğer kimyasal maddelerden kaynaklanan tehlikelerden genelde çok daha küçük olduğu için, ne radyasyon ne de radyoaktif bulaşma sistematik olarak araştırılıp değerlendirilmemiştir (UNSCEAR, 1988).

Diğer alternatifler şimdilerde daha kullanışlı olmasına rağmen, kömürden enerji üretimi pek çok ülkede hala baskındır. Bu amaç için kullanılan kömürün yaklaşık %70'i elektrik güç istasyonlarında, %20'si ise kok kömürü fırınlarında yanmakta ve yaklaşık olarak %10'luk bir dilimi de yemek pişirme ve ısınma amaçlı olarak evlerde kullanılmaktadır. Kömür doğadaki pek çok materyal gibi eser miktarda doğal radyonüklitler (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve onların bozunma ürünleri) içerir. Yanma sürecinde, bu radyonüklitlerin aktiviteleri yeraltından çevremize tekrar dağılır. Bununla birlikte kömür içerisindeki radyonüklit miktarı oldukça büyük değişiklikler gösterebilir. UNSCEAR kömürdeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırası ile 50, 20 ve 20 Bqkg^{-1} olduğunu kabul etmektedir. Kömür külündeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları ise sırası ile 400,150 ve 150 Bqkg^{-1} 'dir (Tykva ve Sabol, 1995).

Jeotermal enerji ve doğal gaz gibi enerji üretiminin diğer türleri de çevredeki radyoaktiviteye katkı sağlayabilir. Jeotermal enerji, dünyanın derinliklerinde yerleşmiş yüksek sıcaklıklı kayalar ile etkileşen suların yüzeye çıkması ile elde edilir. Jeotermal akışkanlarda bulunan radyonüklitlerin çoğu uranyum bozunma serisine aittir. Katı radyoaktif elementler az miktarda suyu kirletmelerine rağmen, sudan bina atmosferine ya da direkt olarak atmosfer içerisine yayılan radon gazı bazı problemlere sebebiyet verebilir (Sabol ve ark, 1993).

Doğal gazlar evlerin ısıtılmasında, elektrik üretiminde ve endüstrideki pek çok uygulamada kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Doğal gazda tek bir radyonüklitin varlığı vardır. Bu radyonüklit de radon gazıdır. Doğal gazdaki radon konsantrasyonu 1000 Bqm^{-3} 'lük tipik bir değer etrafında genişçe değişebilir (UNSCEAR, 1988).

Radyoaktiviteye katkı sağlayan diğer kaynak fosfat kayaların gübre üretiminde kullanımı ile ilgilidir. Fosfat kayalarındaki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonları kayaların orijini ve türüne bağlıdır. Fosfat kayalarının %85'i sedimentel orijinli, geriye kalanlar ise volkanik ve biyolojik orijinlidir (Tykva ve Sabol, 1995).

4.9. İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler

İnsan, doğal radyonüklitleri vücuduna sindirim veya solunum yoluyla alır. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U nun bozulma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H , vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklitlerin başında gelir. Su ve gıdalarda bulunan ^{40}K , ^{226}Ra ve bozulma ürünleri sindirim yoluyla vücuda alındıklarında yayınladıkları radyasyonlarla iç ışınlamalara neden olmaktadır. İnsan vücudunda bulunan en önemli doğal radyoaktif element ^{40}K 'dir. 70 kg ağırlığında bir insanda ortalama 140 mg potasyum bulunur. Bu miktar potasyumda bulunan ^{40}K aktivitesi 0,1 μCi civarındadır. Genellikle gıdalarla vücuda alınan ^{40}K 'nın yayınladığı gamma ışınlarının %50'si ve beta parçacıklarının tamamı vücutta emilir. Biyosferde bulunan karbon, hidrojen ve kozmojenik radyonüklitler, kozmik ışın nötronlarının atmosferdeki azotla etkileşimleri sonucu ortaya çıkarlar. Radyoaktif yağışlarla yere düşen bu radyoaktif partiküller gıdalarla vücuda alındıklarında iç ışınlamalara neden olurlar.

Havadaki karasal radyoaktif maddeler genellikle uranyum ve toryum serisi ürünleridir. Rüzgarlar vasıtasıyla topraktan atmosfere çıkarı tozlarda düşük oranlarda ^{40}K da vardır. Hava ortamında bulunan toz ve partiküllerdeki radyoaktif maddeler solunum yoluyla insan vücuduna girerler ve iç ışınlamalara sebep olurlar. İç ışınlamalara en büyük katkı vücuda alınan ^{222}Rn ve ^{220}Rn ile bu iki nüklidin bozulma ürünlerinden gelmektedir. Radonun yarı ömrü kısa olmakla birlikte gaz olduğu için vücutta geniş alana dağılarak etkisini artırır. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan uranyum ve toryum atomlarının bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon ve toronun bozulma ürünlerine ilave olarak, alfa ve beta parçacıklarıyla birlikte gamma ışınları da yayınlayan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{210}Bi atomları solunum yoluyla vücuda girerler.

4.10. Doğal Taş Türlerinde Radyoaktif Minerallerin Tayinine Yardımcı Olacak Petrografik ve Mineralojik Bilgiler

Bünyesinde uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerden birini veya her ikisini değişik oranlarda içeren minerallere radyoaktif mineraller adı verilir. Bu ad altında fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden büyük farklılıklar gösteren çok sayıda mineral toplanabilmektedir.

Birçok yazar, tek ortak özelliklerinin değişik şiddette radyoaktivite göstermeleri olduğu söylenebilen bu mineral grubuna, asıl uranyum ve toryum mineralleri olarak tanımlanabilecek, türlere göre değişebilen bollukta uranyum ve toryum içeren minerallerin yanında, apatit fersmit, hibonit, mosandrit, millizit, parizit, krandalit ve apatit gibi % 0.01 in altındaki oranlarda uranyum ve toryuma sahip mineralleri de koymaktadırlar.

Burada yalnız asıl uranyum ve toryum minerallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile sınıflamaları konu edilecektir.

Radyoaktif mineraller birincil ve ikincil olmak üzere iki grupta toplanabilir:

- **Birincil radyoaktif mineraller:** Hipojen radyoaktif mineraller veya siyah mineraller olarak adlandırılan bu mineraller, prensip itibariyle derinlerde oluşurlar. Genellikle koyu renklidirler. 4 değerli uranyum ve toryum veya bu iki elementi birlikte içerirler. Sayıları azdır. Ekseriya basit oksitler halinde bulunurlar.

- **İkincil radyoaktif mineraller:** Bu minerallere ikincil uranyum mineralleri, denmesi daha uygun olur. Çünkü, doğada ikincil toryum minerallerinin varlığı bilinmemektedir. süperjen mineraller olarak da adlandırılan bu mineraller 6 değerli uranyum içerirler. Yeraltı su tablasının üstünde, yeryüzüne yakın yerlerde veya yeryüzünde, birincil uranyum minerallerinin alterasyonu sonucu oluşurlar. Birincil uranyum minerallerine nazaran daha açık renklidirler. Uranil karbonatları, sülfatları, fosfatları, arsenatları, vanadatları ve molibdatlarından ibaret olup, sayılan birincil uranyum minerallerinden çok daha fazladır.

Uraninit ve peşblend gibi birincil uranyum minerallerinin süperjen alterasyon süreci Geffroy ve Sarcia (1958), araştırmalarına göre aşağıdaki safhalardan geçmektedir:

— Yüzeysel alterasyon nedeniyle birincil uranyum minerallerinin bileşimindeki 4 değerli uranyum 6 değerli uranyum haline geçer. Renk siyahtan yeşilimsi siyaha dönüşür. Eski yazarların korasit ve pittinit adını verdikleri mineraller oluşur;

— Bütün uranyum tamamen oksitlenerek 6 değerli uranyum haline gelir. Klarkeyit gibi yeni, susuz (anhidr) veya az sulu oksitler ortaya çıkar. Renk yeşil veya açık kahverengine dönüşür;

— Oksitlenmeyi, şiddeti gittikçe artan bir hidrasyon izler. Furmariyerit, bekerlit ve şoyepit gibi hidrate, kristal yapısı gösteren uranyum oksitleri oluşur. Egemen renkler sarı-kırmızı veya portakal rengidir.

— Son safhada yeşilimsi sarı veya saman sarısı renkte uranyum silikatları (özellikle uranotil alfa, kasolit, nadiren uranotil beta ve çok ender olarak soddyit) meydana gelir.

4.10.1. İzomorfizm

Bir kristalin bünyesindeki bir iyonun kimyasal ve fiziksel özellikleri farklı başka bir iyonun yerine, kristal şeklinde bir değişiklik hâsıl etmeksizin geçmesine izomorfizm, bu yer değiştirmelere elverişli maddelere ise izomorf bileşikler denmektedir.

Uranyum U^2, U^3, U^4, U^5 ve U^6 iyonları halinde bulunabilir. U^2, U^3 , ve U^4 lantanitlerle, U^4, U^5 ve U^6 ise Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo ve W ile eşdeğerlidir (Kostov, 1977).

4 değerli uranyum, Th, Zr, nadir toprak elementleri Ca ve iki değerli Fe ile izomorftur. Bu izomorfizm, Heinrich (1958)'den alınan Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi, basit ve karmaşık oksitler, susuz (anhidr) fosfat ve silikatlarda hatta organik bileşiklerde bile izlenir. U^4 kolaylıkla oksitlenerek $(UO_2)^2$ (uranil iyonu) oluşturan U^6 iyonu haline dönüşebilmektedir. Uranil iyonu ise Heinrich (1958) göre, şu değişik tipte mineralleri meydana getirir:



Yukarıdaki formüllerde A = K, Na, H; B=Ca, Ba, Mg, Cu, Fe^2 , Pb; R=P, As, V dir, Uranil iyonunun boyutları çok büyük ($1.4 \times 3.4 \text{ Å}$), şekli ise alışlagelmişin dışındadır. Bu nedenle hiç bir uranil mineralinde uranyum iyonlarının yerine Th, Zr ve Ce un geçtiği görülmemiştir (Heinrich, 1958; Kostov, 1977).

Radyoaktif minerallerde görülen izomorfizmi genel anlamda yukarıdaki şekilde inceledikten sonra bazı özel izomorfik özellikler üzerinde durmak yararlı olacaktır:

Çizelge 4.9. Uranyum ve toryum minerallerinde izomorfizm (Nakoman, 1979)

Elementler	Örnekler
1. Uranyum (U⁴)	
Th	Uraninit
Ca	Piroklor-mikrolit, apatit, zirkelit, krondailit
Na	Piroklor-mikrolit
Zr	Uraninit, zirkon
Mo	Uraninit
Y	Uraninit, fergusonit, samarskit, ksenotim
Ce ⁴	Uraninit
Pb	Uraninit, betafit
Fe ²	Davidit
2. Toryum	
U	Toriyanit, torit
Y	Priyorit, torit, ksenotim, talenit
Ce ⁴	Toriyanit, seriyanit, torit, eskinit
Ce ³ P ⁵ - Th ⁴ Si ⁴	Monazit, keralit
Zr	Toriyanit, zirkon
Ca	Zirkelit, klarkeyit, allanit, eksenit
Fe ³	Torit
Pb	Torit
3. Radyum	
Ba	Radyobarit
Ca	Radyokalsit, radyoflüorit, apatit
4. Diğer katyonlar	
Nb-Ta	Piroklor-mikrolit, samarskit, itrotantalit
(Nb-Ta)-Ti	Eksenit-pol ikraz, betafit, perovskit, sfen
Ce-Y	Piroklor-mikrolit, eksenit-polikraz, monazit ksenotim, gadoiinit, talenit
Ti-Si	Brannerit, şevkinit
Ti-Sn	Sfen
Pb-Ba-Ca	Vandendreisheit
Pb-Na-Ca	Klarkeyit
Pb-Ca	Fosfuraniit-renardit, uranotil beta
Pb-Ba	Renardit
P-Si (PO ₄ -SiO ₄)	Monazit, keralit, torit, uranotil alfa, apatit, ksenotim
P-S (PO ₄ -SO ₄)	Torogummit, apatit, ksenotim
P-V (PO ₄ -VO ₄)	Apatit
P-As (PO ₄ -AsO ₄)	Metatorbernit, metazeunerit, saleeyit-novasekit, sabugalit, uranospatit, valpurgit, apatit
Ca-Ba	Otünit, meta-uranosirsit
Ca-Cu	Uranotil alfa, otünit
Ca-Mg	Otünit, uranotil alfa
Ca-Na ₂	Perovskit, piroklor-mikrolit, sfen
Ca-K ₂	Tyuyamunit, karnotit
Ca-Ce	Piroklor-mikrolit, perovskit, apatit, allanit, sfen
Ca-Fe ²	Şevkin it
Cu-Pb	Metatorbernit
Zr-Hf	Zirkon, baddeleyit
Zr-Fe ³	Zirkon
5. Anyonlar	
O-(OH) ₂ -Fe ₂	Mikrolit, apatit, sfen
SiO ₄ -(OH) ₄	Zirkon, torogummut, huttonit, koffinit
PO ₄ -CO ₃ (OH)	Apatit karbonat

Karmaşık radyoaktif mineral oksitlerinde (özellikle niyobat, titanoniyobat ve tantalatlar) uranyum muhtemelen itriyum ve kalsiyumla yer değiştirmiştir. Ksenotim, talenit, goddinit ve itrokrasitte de uranyumun itriyum ile yer değiştirdiği teşhis edilmiştir (Adler, 1977).

Sedimenter ve magmatik kökenli apatitlerde uranyum kalsiyumla yer değiştirmiş halde bulunur.

Torit ve toriyanit gibi toryum minerallerinde uranyum toryumun bir kısmının yerine geçmiştir. Monazit ve allanitte de uranyumun bir kısmının toryumla yer değiştirerek bu minerallerin bünyesine girdiği bilinmektedir.

Zirkonun bileşimine uranyum ve toryum izomorfik olarak girmektedir. Nitekim sirtolit hidrate ve altere olmuş tiplerinde uranyum ve toryum oldukça önemli miktarlarda bulunur (Adler, 1977).

Toryum zirkondan daha çok monazitin bileşiminde bulunur. Buna neden Adler, (1977) göre, toryumun iyon çapının ($1.06 \text{ \AA}$) seryum nadir topraklarının iyon çaplarına ($1.08-1.18 \text{ \AA}$) zirkonun iyon çapından ($0.82 \text{ \AA}$) daha yakın olmasıdır. Bu nedenle toryum zirkonda uranyumdan daha az bulunmaktadır

Alkaliler ve alkali nadir toprak elementleri içeren pek çok uranil minerali değişik asitlerin etkisinde bazı iyon değişikliklerine uğrayabilir ve böylelikle ortaya yeni bileşikler çıkar. Bunlar iyon değişikliğinden önce var olan bileşiklerle izomorf durumdadırlar: Otünitin bünyesindeki Ca iyonları Na_2 ve H_2 iyonları, uranospinitin içerdiği Na_2 iyonları H_2 ve $(\text{NH}_4)_2$ iyonları, karnotitteki K_2 iyonları Ca iyonları ve nihayet tyuyamunitin kapsadığı Ca iyonları K_2 iyonları ile yer değiştirebilir (Heinrich, 1958).

4.10.2. Magmatik Kayaçlarda Senjenetik Radyoaktif Mineraller

Doğadaki bütün magmatik kayaçlar iz halinde de olsa bir miktar uranyum ve toryum içerirler. Taze, alterasyona uğramamış magmatik kayaçlardaki bu radyoaktif mineraller yan ürünleriyle radyoaktif denge içindedirler.

Hiç bir metamorfizma olayının etkisinde kalmamış bir magmatik kayaçtaki

radioaktif mineraller senjenetiktir. Yani bu minerallerin mutlak yaşı ile kayaçtaki diğer minerallerin mutlak yaşı aynıdır. Metamorfizma uranyumun tekrar harekete geçmesine yol açtığından epijenetik yığılımlar ortaya çıkarır.

Radioaktif kayaçlardaki senjenetik radioaktif mineralleri, derinlik ve yüzey magmatik kayaçlarında olmak üzere ikiye ayırarak incelemek gerekir.

4.10.3. Derinlik Magmatik Kayaçlarında Senjenetik Radioaktif Mineraller

4.10.3.1. Jeokimyasal Veriler

Magmatik kayaçlarda senjenetik uranyum ve toryum içeriği konusunda yapılan çok sayıdaki araştırmalar sonucunda değişik tipteki magmatik kayaçların bünyesinde bulunan uranyum ve toryum minerallerinin sınır tenörleri Çizelge 4.10.'da belirtildiği şekilde saptanmıştır.

Çizelge 4.10. Değişik tipteki magmatik kayaçlarda uranyum ve toryum miktarları

KAYAÇ TİPİ	U (PPM)	Th (PPM)
Granitik	2.8 - 4.0	7.9 - 13.5
Mesokrat	1.4 - 3.0	4.4 - 10.5
Bazik	0.94- 0.96	2.8 - 3.9
Ultrabazik	0.03	—

Bu tabloda da görüldüğü gibi granitik kayaçlar gerek uranyum gerekse toryum yönünden diğer tip kayaçlardan daha zengindirler. Bu iki mineralin bazik intruziflerdeki miktarı granitlerde görülenin 1 / 4 ünden fazla değildir.

Kayaçlar bazikleştikçe içerdikleri uranyum ve toryum tenörü azalır. Bu genel bir kuramdır.

Keevil (1947), magmatik kayaçlardaki Th/U oranının 3.0 ile 3.5 arasında değiştiğini saptamıştır. Birçok araştırmacı için bütün magmatik kayaçlarda hatta göktaşlarında pratik olarak sabit bir değer gösteren ve 3 ile 4 arasında sınırlanan bu oran Sentfle ve Keevil'e (1947) göre granitik kütlelerde 3.1, mesokrat kayaçlarda ise 3.98 dolayındadır.

Yukarıda belirtildiği gibi oldukça dar sınırlar arasında kalmasına rağmen Th/U oranının felsik kayaç tiplerinde artış gösterdiği bir gerçektir.

Magmatik kayaçlar gençleştikçe içerdikleri uranyum ve toryum miktarı artmaktadır. Magmatik kayaçların yaşları ile uranyum ve toryum içerikleri arasındaki ilişkiye şu örnek verilebilir: Alaska'daki Seward yarımadasında bulunan Mesozoyik-Tersiyer yaşlı bir masifte dört fasiyes görülmüştür. Bunlar normal granit, pegmatit, ince taneli felsik dayklar ve masif tabüler kütlelerdir. Normal granit diğer üç fasiyesten daha yaşlıdır ve bu nedenle en az radyoaktivite gösterir. En genç olan pegmatitler % 0.009 eU içerirler ve en yüksek radyoaktivite değerlerine sahiptirler (Nakoman, 1979).

Sorensen (1977), toryumun genellikle, uranyumun ise çoğu kez potasyumla pozitif, kalsiyum ve magnezyumla negatif bir ilişki gösterdiğini not etmektedir. Değişik bir anlatımla, bu elementler magmatik kayaçlarda genellikle potasyum tenoru arttıkça artar, buna karşılık kalsiyum ve magnezyum miktarı yükseldikçe azalır.

Magmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum miktarı bu kayaçların plüton içindeki durumlarına ve ait oldukları petrografik ve coğrafik provenslere göre değişebilmektedir. Henderson'un (1975), gözlemlerine göre ise, volkanik kayaçlar plütonik eşdeğerlerinden daha fazla miktarlarda radyoaktif mineraller içerirler.

Belirtmek gerekir ki, magmatik kayaçların uranyum ve toryum içeriği yalnız bu kayaçları meydana getiren magmanın bu mineraller yönünden tenörüne değil, kayaçların kristalleşmesi sırasında uğradığı değişikliklere de bağlıdır (Heinrich, 1958).

Seryum ve zirkonun çok miktarda bulunduğu siyenit ve nefelin siyenitlerde toryum çok, uranyum ise azdır.

Anormal denebilecek düzeylere ulaşan uranyum yüzdesi gösteren magmatik kayaçların petrografik yapılarında pertit, feldispatoid ve ribekit gibi mineraller görülmektedir (Heinrich, 1958).

4.10.4. Magmatik Kayaçlarda Uranyum ve Toryumun Bulunuşu

Kabaca, magmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum, orta derecede radyoaktif olan tali mineraller ve zayıf radyoaktivite gösteren ana minerallerde bulunur veya ince çatlaklarla diğer mineral kristallerinin ara boşluklarını doldurur. Ayrıca, bu elementlerin az da olsa bazı sıvı inklüzyonlar ve kristal arası sıvılarda yer aldığı bilinmektedir.

Picciotto (1950), Vosges bölgesindeki Hersinyen yaşlı granitlerden alınan örnekler üzerinde yaptığı analizlere dayanarak bu sahadaki granitik magmatik kayaçlarda bulunan toplam radyoaktivitenin % 54 ünün tali minerallerden, % 24 ünün kuvars, biyotit ve feldispat gibi ana minerallerden, % 18 inin ise kristaller arasındaki boşlukları ve mikroskobik çatlakları dolduran radyoaktif mineral yığışımından geldiğini belirtmektedir.

Bu gözlemlerden magmatik kayaçlarda uranyum ve toryumun selektif bir dağılım gösterdiği ortaya çıkmaktadır.

Fransa'nın Bretagne bölgesinde etütler yapan Picciotto (1950), bu bölgenin granitik kayaçlarındaki radyoaktivitenin % 60-70 inin inklüzyonlardan geldiğini ileri sürerek uranyum ve toryumun bu kayaçlarda normal petrografik yapı elemanları olarak değil, nadir toprakların, zirkonun ve kalsiyumun izomorfik yer değiştiricileri olarak bulunduğunu savunmaktadır. Bu inklüzyonlar nadiren birincil uranyum mineralleri olabilir.

Larsen ve arkadaşları (1955), yukarıda belirtilen görüşe kesinlikle karşı çıkmaktadırlar. Bu araştırmacılara göre, kayaçlardaki uranyum ve toryumun büyük bir kısmı bu kayaçları oluşturan ana minerallere bağlı bulunmaktadır. Bu ana mineraller yüksek aktiviteye sahip olmalarına karşılık az sayıda bulunmaları nedeniyle kayacın toplam radyoaktivitesinin ancak % 20 sini teşkil ederler.

Bu konudaki en yeni varsayım şöyledir: Uranyum mineralleri kayacın

bileşimindeki $\frac{CaO}{Na_2O + K_2O + CaO}$ oranının 0.10 dan küçük olması halinde

silikatların içinde, K_2O in Na_2O ten çok olduğu durumlarda (eğer CaO da az miktarda ise), pegmatit pertitlerde, yüksek zirkon ve nadir toprak elementlerine sahip alkali granitlerde ve alkalın kayaç sekanslarındaki karbonatça zengin kısımlarda yer alır.

4.10.5. Uranyum, Toryum ve Magmanın Kristalleşmesi

Altere olmamış magmatik ekstruzif kayaçlarda uranyum ve toryumun 4 değerli halde bulunduğu bilinmektedir. Bu iyonlar, Heinrich'e (1958) göre, en son magmatik fraksiyonlar içinde konsantre olur. Buna neden bu iki elementin oldukça büyük iyon çaplarına sahip olmalarından dolayı birçok yaygın ana silikatların bünyelerine geç girebilmeleridir. Magmanın kristalleşmesi sırasında uranyum ve toryumun durumunu etkileyen diğer bir husus ise, bu iki elementin yüksek valans değerleri ve ilkel magmadaki düşük oranlandır. Kristalleşmeye uğrayan magmada uranyum ve toryumun az miktarda olması ve yüksek göç enerjilerinin bulunması, bu iki elementin en son magmatik fraksiyonlarla birlikte kristalleşmesinin diğer nedenleridir (Nakoman, 1979).

Nitekim uranyum ve toryum ilk magmatik fraksiyonlarda oluşan Ca ve Mg ca zengin başkalaşım ürünlerinde az miktarlarda bulunur.

Yapılan leaching denemelerinde uranyum ve toryum iyonlarının en son kristalleşme safhalarına kadar eriyikte kaldıkları ve nihayet ana minerallerin kristal yüzeylerine çok ince tabakalar oluşturacak şekilde çökeldiklerini göstermiştir

Genel olarak magmanın kristalleşmesi sırasında uranyumun ilk safhada kristalleşen tali minerallerin bünyesine izomorfik oluşumlar halinde girdikleri, son safhalarda dissemine halde çökeldikleri, bir kısmının rezidüel sıvılarda konsantre olarak pegmatitik hidrotermal safhalarda kristalleştiği kabul olunur.

Viskozitesi yüksek magmanın su yönünden zengin kısımlarında önemli uranyum ve toryum yığılımları vardır (Nakoman, 1979). Bu nedenle bu elementler magmanın kristalleşmesi sırasında kolaylıkla göç edebilirler.

Magmanın yukarıda belirtildiği gibi en son fraksiyonunda kristalleşen bu elementlerin bazı volkanik faaliyetler sırasında ilk volkanik patlamalarda (fıskırmalarda) en yüksek miktarda bulunması ilginçtir. Bunu az çok tabakalı halde bulunan magmanın üst düzeylerinin uranyum ve toryum yönünden zengin olduğu, ilk patlamalar sırasında fıskıran üst düzeylerin bu yüksek uranyum ve toryum değerlerini gösterdiği şeklinde açıklamaktadırlar.

Çok akıcı (bazik) magmanın kristalleşme ürünü olan kayaç ve minerallerde uranyum ve toryum yüzdesi azdır. Bu, uranyum ve toryumun bu tip magmanın

kristalleşmesi sırasında kolaylıkla göç edebilmesi veya halojenlerce zengin kısımlarda muhafaza olunmasıyla açıklanabilir.

Petrografik olarak çok gelişmiş kayaçlarda uranyum ve toryumun az olması, bunların uçucu faz ile serbest hale gelip petrografik ortamdan ayrılmalarına bağlanmaktadır. Uranyum ve toryumun dışarı atılmasına alkaliler (özellikle Na ve halojenler) eşlik eder.

4.10.6. Magmatik Kayaçlardaki Uranyum ve Toryumun Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Bazı granitlerin içerdiği uranyumun çok büyük bir kısmı hiç bir minerale bağlı olmaksızın görülen dissemine uraninit tanecikleridir. Uraninit granitik pegmatitlerde olduğu gibi toryum ve nadir toprak elementleri de içerir. Aşağıda konu edilecek tali minerallerin kristalleri arasında veya bazı minerallerin (özellikle biyotit) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alabilir. Dissemine haldeki uraninit bazı araştırmacılara göre, granitin yapı maddelerinin arasına, bu minerallerin bireyleşmesinden sonra (granitleşmenin, minerallerin kristalleşmesi tamamlandıktan sonraki son safhasında) girmektedir. Magmatik kayaçlardaki diğer yaygın mineral ise uranotorittir.

Radyoaktif siyah mineraller genellikle pegmatitlerde bulunmakla birlikte bazı granitik kayaçlarda da yer alırlar (Nakoman, 1979).

Granitik ve mesokrat kayaçlardaki radyoaktiviteye neden olan tali mineraller oldukça yaygın olarak görülen zirkon, sfen, apatit, allanit, ksenotim ve monazittir. Kuvvetli radyoaktivite göstermelerine karşılık ender olan mineraller arasında ise toriyanit, euksenit, torit, piroklor, şevkinit, flüorit, bastnaesit ve davidit sayılabilir.

Heinrich'e (1958) göre, hematit, pirit, kolumbit, ilmenit, rutil, alkalin kayaçlarda nadir zirkonyum ve seryum silikatları da magmatik kayaçlardaki radyoaktiviteye katkıda bulunabilir.

Birçok kayaçta biyotit gibi mafik mineral toplulukları civarında kuvvetli bir radyoaktivite mevcuttur. Buna neden tali radyoaktif minerallerin bu gibi mafik mineral toplulukları ile kolaylıkla beraberlikler teşkil edebilmeleridir (Heinrich, 1958).

Zirkon çok yaygın ve bol miktarda olduğundan granitik kayalarda radyoaktiviteye sebep olan minerallerin başında gelmektedir. Radyoaktif zirkonun genellikle kimyasal bileşimi saptanamayan radyoaktif mineral inklüzyonları içerdiği görülür.

Granit ve siyenitlerdeki radyoaktif zirkona yer yer niyobiyum, tantal vb. gibi elementler de eşlik eder. Titan ise olağan olarak ultrabazik ve gabro tipi kayalarda bulunmaktadır. Ayrıca, bu mineral ijolit gibi silis yönünden dolgun olmayan alkalın kayaların minerallerinde de yer alır (Adler, 1977).

5. MATERYAL ve METOD**5.1. Materyal****5.1.1. Analizlerin Yapılmasına Yönelik Çalışmalar**

Bu doktora tez çalışması çerçevesinde, ülkemizde bulunan, meskenlerin ve kamu binalarının yapımında dekorasyon amaçlı kullanılan, kökeni farklı bazı mermer, granit ve diğer doğal taş türlerinin (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) gamma spektrometre yöntemiyle doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi (yapıtaşlarında bulunan ^{226}Ra , ^{238}U ve ^{232}Th ürün radyonüklitlerinin ve ^{40}K radyoizotopunun özgün aktivite derişimleri), insan sağlığına tehdit oluşturması yönünden radyasyon dozlarının, iç ve dış tehlike indeksleri ile aktivite konsantrasyon indekslerinin, hesaplanması hedeflenmiştir. Ayrıca, doğal radyasyon seviyesi yüksek çıkan doğal taşların kimyasal ve mineralojik (XRF, XRD, SEM VE EDS) analizleri yapılmak suretiyle doğal radyasyona, hangi mineral ve mineral bileşimlerinin neden olduğu araştırılmıştır. Çoğunluklu olarak, radyasyon ölçümlerinin ve XRF-XRD analizlerin yapılması, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi) arasında yapılan 5 yıl süren protokol sayesinde gerçekleşmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlere yönelik çalışmalar aşağıda sırayla verilmiştir. Bunlar;

- Literatür çalışmaları
- Çalışma bölgesinin belirlenmesi
- Örneklerin toplanması ve hazırlanması
- Örneklerde radyoaktivite seviyesinin tayin edilmesi
- Kimyasal ve mineralojik analizlerin yapılması
- Sonuçların değerlendirilmesidir.

Analizleri gerçekleştirmek amacıyla, mümkün olduğunca bölgelerini temsil edebilecek doğal taş türleriyle çalışılmasına özen gösterilmiştir. Çalışmada kullanılacak örneklerin bir kısmı bizzat araziye gidilerek yerlerinden alınmış

ulaşılamayan bölgelerdeki örnekler ise, profesyonel olarak konu ile ilgilenen, ciddi firmalar aracılığı ile temin edilmiştir. Temin edilen örneklerin çıkarım yerleri konusunda tereddütlere düşülmemesi için, özellikle ilgili mermer, granit vb. gibi ocakları bulunan firmalarla temas edilmesi yoluna gidilmiştir ve TÜMMER (Türkiye Mermer Doğal Taş ve Makineleri Üreticileri Birliği) katalogundan yararlanılmıştır.

Analizlerde kullanılmak amacıyla temin edilen örneklerin, olabildiğince Türkiye'nin farklı bölgelerinden olmalarına azami dikkat ve özen gösterilmiştir. Ancak, Türkiye'nin mermerce zengin bölgeleri çoğunlukla, Batı Anadolu olduğundan, çalışılan mermerlerin önemli bir kısmı Batı Anadolu bölgesindedir. Ayrıca, Türkiye'nin mermerce zengin bölgelerine yakın bölge mermerlerine ulaşılması da hedeflenmiştir.

Granit örnekleri, Türkiye'de 8 değişik yöreye ait olan belli başlı ocaklardan alınmıştır. Diğer doğal taş örnekleri ise öncelikle Doğu Akdeniz Bölgesine yakın yerlerden toplanmış örnekleri kapsamaktadır.

Yapılacak deneylerde kullanılmak üzere, her bir doğal taş için, yaklaşık 5 ila 10 adet, 500-1000 gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde örnekler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu örneklerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Çalışılan doğal taş türleri; Çizelge 5.1.' de belirtilmekte olup, yerleri ise Şekil 5.1'deki harita üzerinde gösterilmektedir.

5.1.2. Örneklerin Toplanması ve Radyometrik Ölçüme Hazırlanması

Doğal radyoaktivite ölçümünde, örneklerin toplanması ve hazırlanması işlemleri, deneysel çalışmaların önemli bir aşaması olup kurallara uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Bu bölümde, kökeni farklı bazı mermer, granit ve diğer doğal taş türlerinin (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) örnekleme işlemleri ele alınacaktır.

Çizelge 5.1. Analizlerde kullanılan doğal taş türleri

DOĞAL TAŞ	DOĞAL TAŞ ADI	BULUNDUĞU YER
Mermer	Afyon-Beyaz 1	Afyon-İsçehisar
Mermer	Afyon Beyaz 2	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Beyaz 3	Afyon-İsçehisar
Mermer	Afyon Beyaz 4	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Beyaz 5	Afyon-İsçehisar
Mermer	Afyon Kaplan postu 1	Afyon-İsçehisar
Mermer	Afyon Kaplanpostu 2	Afyon-İsçehisar
Mermer	Afyon Damarlı 1	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Damarlı 2	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Mermeri	Afyon-İsçehisar
Mermer	Aydın-Yaykın Kristal	Aydın-Yaykın
Mermer	Aydın-Yaykın Dolomit	Aydın-Yaykın
Mermer	Aydın Siyah	Aydın
Mermer	Bilecik Pembe	Bilecik
Mermer	Bilecik Gülkurusu	Bilecik
Mermer	Denizli Krem	Denizli
Mermer	Denizli Kahve	Denizli
Mermer	Denizli Pembe	Denizli
Mermer	Diyarbakır Bej 1	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır Bej 2	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır- Bej 3	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır-Şaklat-Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır Damarlı-Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır-Lice Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır- Lice-Kırmızı Damarlı	Diyarbakır
Mermer	Elazığ Vişne	Elazığ
Mermer	Elazığ Gülkurusu 1	Elazığ
Mermer	Elazığ Gülkurusu 2	Elazığ
Mermer	Hatay Bej	Hatay
Mermer	Hatay Beyaz	Hatay
Mermer	İstanbul Sarı Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	İstanbul Açık Yeşil Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	İstanbul Beyaz Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	Nevşehir –Kapadokya Kahve	Nevşehir
Mermer	Nevşehir –Kapadokya Bej Mermer	Nevşehir
Granit	Giresun-Vizon	Giresun
Granit	Bergama Gri	Balıkesir
Granit	Aksaray Yaylak	Aksaray
Granit	Balaban-Green	Kırıkkale
Granit	Aksaray Pembe	Aksaray
Granit	Bandırma Granit	Bandırma
Granit	Ayvalık Granit	Balıkesir
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 1	Diyarbakır
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 2	Diyarbakır
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 3	Diyarbakır
Bazalt	Osmaniye Bazalt	Osmaniye
Bazaltik Pomza	Osmaniye Bazaltik Pomza	Osmaniye-Toprakkale
Traverten	Sivas Bölgesi Traverten	Sivas
Kireçtaşı	Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	Adana
Kireç	Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	Adana
Kireç	Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	Adana
Kireçtaşı	Mersin Bölgesi Kireçtaşı	Mersin
Kuvarsit	Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	Mersin

5.1.2.1. Analizlerde Kullanılan Doğal Taş Türleri Hakkında Genel Bilgiler

5.1.2.1.(1). Mermerler

Mermerler; kalker veya dolomitik kalkerlerin basınç, sıcaklık veya kesme kuvveti etkisi altında metamorfizmaya (yeniden oluşum) uğraması sonucu kristallerin yeniden oluşmasıyla meydana gelen kayalardır. Mermerin bileşiminde % 96 oranında CaCO_3 bulunmasıyla beraber bu yapı içine giren çinko, kurşun, mangan demir veya demir oksitleri ile magnezyum, stronsiyum, limonit, florit gibi yabancı mineraller mermerde değişik özellikler kazandırmaktadır. Mermerin doğal yapısı, bileşiminde bulunan CaCO_3 'tan ötürü beyazdır. Ancak, belirtilen maddelerin mermerin yapısında yer alması, mermerin rengine ve sertliğine etki ederek çeşitlenmesine sebep olmaktadır

Mermerler mikroskop altında incelendiğinde, kalsit kristallerinden meydana geldiği ve bu kristallerin birbirine sıkı olarak bağlanmış olduğu görülmektedir. Bu kristaller, büyük taneli ise mermerlerin mukavemeti düşerek, yumuşak ve mat bir hal almaktadır. Tane çapları küçüldükçe mukavemet, parlama kabiliyeti ve bozulmama yeteneği artmaktadır

Mermerler grup olarak hayli çeşitli renkler gösterebilirler. Karbonatlı kayalar; özellikle kalsit içerenlerden saf olanlar, parlak beyaz renkte olmaktadır. Çok açık griden siyaha değişen aralıktaki tonlar, ince taneli grafit içeren, saçılmış karbonlu maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Yeşil renkler, klorit veya diğer silikatların varlığının sonucudur. Pembe ve kırmızı mermerler, ince dağılmış hematit veya mangan karbonatların rengine sahiptirler (Kuşçu, 2001).

Renk veren malzemeler, kayaç içerisinde nispeten homojen dağılmış olarak bulunabildiği gibi, bazı mermerlerde bölgesel yoğunlukla bulunabilmektedir. Bu tip malzemelerin mermer içinde bölgesel yoğunlukla bulunma halinde, mermer "benekli" veya "damarlı" yada "yollu" olarak nitelenebilmektedir (Kuşçu, 2001).

Kesilen ve parlatılan mermerler, mimari ve sanatsal yapıtların yapımında kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, inşaat ve heykeltıraşlık gibi kullanım alanlarına sahiptir. Günümüzde, mermer tüketiminin, yarıdan fazlasını; binalarda iç ve dış döşemelerde, kapı ve pencere eşiklerinde, merdivenlerde, sütunlarda, kaplama ve

süslemelerde kullanım oluşturmaktadır. Ayrıca, mutfak bankolarında, hamamların, banyoların kurna ve küvetlerin yapımında, havuz içi ve çevresi gibi birçok yerde kullanılmaları söz konusudur (Kuşçu, 2001).

Türkiye'deki mermer rezervinin; saptanan 4.503 milyar m³ saptanamayan rezervlerle beraber ise 6 milyar m³ başka bir deyişle, 20 milyar ton olduğu sanılmaktadır.

Türkiye'deki rezervlerin en büyükleri Afyon-İşçehisar, Marmara adası ve Muğla-Yatağan-Kavaklıdere alanıdır. Bunun yanında Kütahya, Uşak, Eskişehir, Balıkesir ve İzmit körfezi civarı da oldukça zengin mermer yataklarına sahiptir.

Türkiye'nin en zengin traverten yatakları ise Denizli bölgesinde toplanmıştır. Dünyada zengin mermer yataklarına sahip ülkeler arasında, İtalya başta olmak üzere İspanya, Portekiz, Çin ve Pakistan sayılabilir (Öztürk, 1987).

Türkiye'de mermerciliğin Cumhuriyet Döneminde doğuşu, Anıtkabir'in ve T.B.M.M'nin yapımıyla başlamaktadır. Bu dönemden itibaren 1970'li yıllara kadar mermercilikte önemli bir gelişme olmamış, fakat özellikle 1976 yılından başlayarak ihracattaki payımız artmıştır.

Bu artış, 1981 yılından itibaren tekrar gerilemeye başlamıştır. Bu gerilemenin sebebi dünya ekonomik krizi ve Türkiye' nin en önemli pazarı olan Ortadoğu ülkelerinin petrol krizi ve İran-İrak savaşı dolayısıyla ithalata dayalı yatırımlarını kısımları veya birçoğunu iptal etmeleri olmuştur.

Yeni keşfedilen doğal taşlar ve üretim hacmine bağlı olarak, Türkiye'nin anılan ihracatında da her geçen yıl önemli ölçüde artış kaydedilmektedir. 1985 yılında 10 milyon dolar olan Türkiye'nin doğal taş ihracatı, 1990 yılında 40 milyon dolara, 1995 yılında 75 milyon dolara, 2000 yılında 189 milyon dolara ve 2005 yılında ise 400 milyon dolara ulaşmıştır (TÜMMER, 2005).

Anadolu, Marmara adasında başlayan 4000 yıllık mermer üretimi geçmişiyle dünyanın en eski mermer üretici bölgelerinden biri durumundadır. Ülkemizin jeolojik yapısında yer alan yaşlı kristalin masifin varlığı ile Trakya'dan Doğu Anadolu'ya kadar hemen her bölgede geniş alanlar kaplayan mermer rezervlerimiz mevcuttur (Tombul, Güngör,1997).

Mermer, Türkiye' de yaklaşık 700 ocaktan çıkarılmakta olup, mermer işleyen 120 fabrika ile 1600 atölye bulunmaktadır. Mermer ocaklarının %90'ı Türkiye'nin batı bölümünde yer almaktadır. Bunların en önemlileri, Marmara adasında, Ege bölgesinde ve Afyon ilinde yer almaktadır.

Mermer ihracatı Türkiye'nin toplam doğal taş ihracatının yaklaşık % 90'nını teşkil etmektedir. Geriye kalan %10'luk dilim ise, granit ve diğer doğal taş ihracatını oluşturmaktadır.

Toplam mermer ihracatı içinde, işlenmiş mermerin payı yaklaşık olarak % 80 olmaktadır. ABD 54 milyon dolar ile Türkiye için en büyük pazar olup, 15.3 milyon dolar ile İsrail ikinci ve 12.4 milyon dolar ile Suudi Arabistan üçüncü pazar konumundadır (Karaman, 2003).

Türkiye 650'ye varan mermer çeşitleri ile Dünya Mermer Rezervi'nin % 40'ına sahip olmaktadır. Mermerlerimizin renk ve doku kalitesi bakımından da Pazar şansı çok yüksek olmaktadır. Ocaktan çıkarılan mermerin yarı mamul ve mamul ürün haline getirilmesi için fabrikada enerji dışındaki tek gereksinim sudur.

Çoğunlukla kalsiyum karbonat bileşiminde olan mermerin kesilip işlenmesi esnasında oluşan toz, sudan ayrıldıktan sonra hayvan yemleri yapımında, seramik sanayinde ve toprağı kalsiyum karbonatını yükseltici katkı maddesi olarak da kullanılabilir (Türkmen, 1995).

İşleme süresi ve üretim kayıplarının minimize edilmesi neticesinde, son yıllarda mermer işleme teknolojilerindeki ilerlemeler, nihai ürün kalitesinde artışlara neden olmuştur. Buna rağmen, Türkiye hedeflenen kapasiteye ulaşamamıştır.

Ülkemizde işletilen önemli mermer yataklarından bazıları Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Bu mermer yataklarından Afyon-İşçehisar, Marmara Adası ve Muğla-Yatağan-Kavaklıdere mermerleri kalite, üretim miktarları ve piyasalar tarafından gördüğü talep bakımından önemli üç mermer sahamızdır (Karaman, 2003).

Zengin doğal kaynaklarının miktarı ve çeşitliliğinden dolayı Türkiye mermer endüstrisi, gerek yerli ve gerekse yabancı yatırımcılar için karlı bir gelecek vaat etmektedir.

Teknoloji ve ticaret alanlarında yabancı ülkelerle karşılıklı ilişkilerin

geliştirilmesiyle Türkiye'nin mermer endüstrisindeki öneminin uluslararası pazarlarda artarak devam edeceği bir gerçektir (İMİB, 2001).

Çizelge 5.2. Türkiye mermer yatakları (Kuşçu, 2001)

BULUNDUĞU YER	RENGİ
Afyon- İncehisar	Kaplanpostu, şeker, bal rengi
Muğla-Yatağan-Salkım-Kestanecik	Leylak, limoni, beyaz
Bilecik-Söğüt	Bej
Muğla-Yatağan-Kozağaç	Beyaz
Eskişehir-Süpren	Gri üzerine kırmızı damarlı
Eskişehir-Sivrihisar	Bej
Burdur-Yeşilova	Kahve
Burdur-Yeşilova-Karamanlı-Tefenni	Bej
Elazığ-Guleman-Altınoluk Köyü	Vişne
Denizli	Sarı bej
Uşak-Karahallı-Duraklı Köyü	Yeşil ve beyaz
Kütahya-Altıntaş	Beyaz
Ankara-Nallıhan	Siyah
Konya-Akşehir	Siyah
İzmir-Belevi	Siyah
Bursa-Karacabey-Seyran	Siyah
Adapazarı	Siyah
Antalya-Finike	Limra
Balıkesir-Çayüstüköyü	Dove-kumru tüyü
Balıkesir-Marmara adası	Marmara beyazı
Kırklareli-Vize-Serden Köyü	Vize pembesi
Kırklareli-Usküp-Sazara Köyü	Sazara sedef
Kayseri-Develi-Saraycık Köyü	Toros siyahı
Uşak- Hacı Hüseyinler köyü	San, beyaz
Manisa-Akhisar-Efkafeke Köyü	Ege kahve
Bilecik-Taşçılar Köyü	Bilecik pembe- gül kurusu
Bilecik-Gölpazarı-Şahinler Köyü	Gölpazarı bej
Manisa-Demirci-Borlu-Saraycık Köyü	Demirci oniksi
Balıkesir-Bigadiç-Çayüstü Köyü	Balıkesir gül
İzmir-Torbalı	Oniksi
Kırşehir-Terme	Oniksi
Tokat	Yeşil oniksi

5.1.2.1.(2). Granitler

Tez çalışması kapsamında incelenen granitlerle ilgili genel bilgiler vermek yerinde olacaktır. Granitler dekoratif malzeme olarak çok eski çağlardan bu yana kullanılmaktadır. Son yıllarda granit kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Ülkemizde

de granit kullanıcılarından gelen talep artışı nedeniyle Türk yatırımcılar granit ocakçılığında ve işletmeciliğinde faaliyetlerini artırmışlardır.

Granit, bileşiminde %10-40 arasında kuvars %30-60 arasında alkali feldispat %35 kadar mika ve % 10-35 arasında koyu renkli mineral bulunduran açık renkli, asidik bileşimli derinlik kayaçlarına verilen isimdir (SiO_2 (% 72.04), Al_2O_3 (% 14.42), K_2O (% 4.12), Na_2O (% 3.69%), CaO (% 1.82), FeO (% 1.68), Fe_2O_3 (% 1.22), MgO (% 0.71), TiO_2 (% 0.30), P_2O_5 (% 0.12), MnO (% 0.05)). Makroskobik yani mikroskop kullanmadan gözle görülebilen granit, genellikle yarı öz şekilli ve öz şekilsiz taneseli dokuya sahip kristalli bir kayaçtır. Ama fenokristallerin barındığı, porfirik dokuya da sahip olabilirler (Ustaoglu, 2002).

Pembe alkali feldispatlar (mikroklin, ortoklaz, sanidin); renksiz kuvars; beyaz plajiyoklaz; siyah biyotit (bazen beyaz muskovit) içeriğine sahiptir. Tabi ki bu ana mineraller dışında, hematit, rutil gibi tali (ikincil) minerallerde içerebilir.

Ticari anlamda ise granit, hemen her bileşimde derinlik kayacını içine alan çok geniş bir kayaç grubu için kullanılmaktadır. Piyasada granit, gnays, siyenit, kuvars, moruamit, granodiyorit, kuvarslı diyorit diyorit gibi açık renkli kayaçlara granit terimi ortak bir isim olarak kullanılırken, gabro, diyabaz, anorzoit ve proksenitlere denilmektedir.

Granitler ihtiva ettikleri minerallerin karakterlerine göre gruplara ayrılırlar. Tanelerin büyüklüğü, her granitte farklıdır. Renkleri ise feldispatınkine göre isim alır, fakat kuvars hornblend ve mika miktarı fazla olduğu takdirde, renge etki ederler; beyaz, açık gri, koyu gri, pembe, kırmızı ve zeytin yeşili gibi adlar alır.

Tipik bir granitin özgül ağırlığı $2.6-2.8 \text{ g/cm}^3$, porozitesi % 0.4-1.5, basınç mukavemeti $1600-3300 \text{ kg/cm}^2$, aşınma mukavemeti $5-8 \text{ kg/cm}^2$ dir. Sertliği ise içindeki minerallere bağlıdır ve 6.5 olarak kabul edilebilir (Ustaoglu, 2002).

Granit, piyasada kırma taş (mıcır) ve blok taş olmak üzere iki şekilde tüketilmektedir. Kırma taş olarak başlıca yol yapımında, beton harcı için kum şeklinde, tren yolu balastı olarak, kuyu çakıllamalarında filtrasyon tabakalarının hazırlanmasında, dalga kıranlarda ve baraj dolu savaklarında kullanılmaktadır. Blok taş olarak çıkartılan granitler ise anıt, abide ve mezar taşlarının yapımında, binalarda temel blokları, sütun ve basamak taşları olarak yollarda kaldırım taşı ve parke taşı

olarak değerlendirilmektedir. Kıрма taş üretiminde granitin çok belirgin özelliklerinin olması aranmaz ve işletmeciliği daha basittir (Ustaoğlu, 2002).

Blok taş üretilecek granitlerde ise kayacın yapısal özellikleri çok önemlidir. Yarık, çatlak ve faylanmalara bağlı süreksizlik düzlemlerinin blok üretimini etkilemeyecek kadar geniş aralıklı olması veya bunların ikincil minerallerle yeterli sağlamlıkta doldurulmuş olması gerekir.

Granitin rengi bünyesindeki kuvars ve feldispat miktarı ile kontrol edilmektedir. Genellikle pembemsi gri ile koyu kırmızı arasında değişen renkler gösterirler.

Biyotit ve hornblend oranına bağlı olarak da renk açık griden koyu griye kadar değişir. Bu durumda feldispat oranı azalacağından kırmızı tonun etkisi düşüktür.

Labrodorun yanar döner renk vermesi siyah granitlerde (anortozit) yaygın bir özelliktir. İşletilen bir ocakta granitin renk değişiminin fazla olmaması, ürünlerin tanıtımı ve pazarlanması bakımından fayda sağlar.

Granit bileşimine giren ana minerallerin sertliklerinin yüksek olması hem ocak üretimi sırasında, hem de kesme, düzeltme, perdahlama ve parlatma işlemleri sırasında maliyeti önemli ölçüde yükseltir. Ancak elde edilen ürünlerin basınç, çarpma ve aşınmaya karşı dayanıklı olması bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır.

Blok taş olarak işletilen granitlerin fazla iri kristalli olmaması ve kristal boyunun monoton dağılımlı olması, mineral kümeleri, yan kayaç parçaları, aplit veya pegmatiti damarları gibi doku bozukluklarının bulunmaması, minerallerinin her tarafta yaklaşık eşit oranlarda dağılmış olması istenir.

Gnayslar da ise bantlı yapılar ve bu bantların kıvrımlı yapıları desen oluşturduğundan aranan bir özelliktir.

5.1.2.1.(3). Bazı Bazalt ve Bazaltik Pomza Türleri

5.1.2.1.(3).(a). Bazaltlar

Bazalt, gabronun yüzey taşıdır. Gabro gibi siyah veya koyu kahverengidir. Çok sert ve çok dayanıklıdır (Önem, 1997). Ticari olarak siyah volkanik kayalardır. Plajiyoklas, piroksen ve hiperstenden meydana gelir (Kuşcu, 1991). Onun için büyük

basınç altında kalacak zeminlerdeki beton dökümlerinde bazalt mıcırı kullanılır. Demiryollarının tabanı da yine onun çakıllarıyla kaplıdır ve balast malzemesi diye adlandırılır.

Bazaltların önemli özelliklerinden birisi gazların çıktığı düşey eksen boyunca bir kırılma kolaylığı kazanmış olmalarıdır. Delikler kalmış olsun veya olmasın, yayılma yüzeyinin dikine bazalt bloğuna çekiçle vurulduğunda, gazın çıktığı eksenler boyunca bazaltın düz yüzeyle parçalandığı görülür. Bu özellikten parke üretiminde yararlanılır (Önem, 1997).

Bazalt ve diyabaz aslında bir tek kullanıma sahiptir. Kırmataş, yol maddesi ve çimento harcı için dördüncü beşinci derecede yararlanılır ve kalanın çoğu demiryolu balastı ve çatı örtme malzemesi olarak kullanılır. Modern bir yararlanma şekli ise nükleer reaktörlerin çimento kalkanlarında kullanılan yüksek yoğunluklu harçtır. Bazalt ve diyabazın ince taneli sık dokulu olanlarına pratik olarak bozuşmaya karşı hava ve su geçirmez sağlam kaya (traprock) denilmektedir. Gerçekte yol materyali ve harç için kaliteli standartta düzenlenmiş olduğu söylenebilir. Kuvarsın yokluğu veya çok az olmasına rağmen çok sert bir kayadır (Önem, 1997).

Bazalt ve diyabaz çok yapraklı, bozuşmuş zonlar ve gaz boşluk düzeyleri gibi kötü özellikler içermiyorsa harç için büyük oranlarda taze kompakt taş olarak kullanılır. Taş ocakları küçük veya geniş genellikle basamak şeklindedir ve taş çıkarma şekli basittir. Dekapajın kaldırılması, sondaj ve patlatma ile yapılır. Büyük taş ocaklarında tahrip etme haftada bir veya daha az sıklıkla yapılabilir. Bir patlatma birkaç bin ton parçalanmış taşı yerinden koparır (Kuşcu, 1991).

Dünya ve ülkemizde hızla artma eğiliminde bulunan nüfus ve teknolojik gelişmelerle birlikte, yapılarda da önemli değişimler ortaya çıkmıştır. Yapıları oluşturan ve yapıların sağlamlığında rol oynayan en büyük etmen, kullanılan malzeme ve bu malzemelerin kalitesidir. Yapılar da kullanılan beton bileşiminde yer alan iki önemli malzeme çimento ve kırmataş (agrega)'tır. Özellikle bazaltların kırmataş (agrega) olarak bina ve yol yapılarında kullanımının kalite ve dayanımı arttırdığı, yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Önceleri tek katlı olarak yapılan konutların yerini çok katlı binalara bırakması, geçmiş yüzyıllarda çok az rastladığımız yollar (otobanlar), barajlar,

tüneller, nükleer enerji santralleri gibi endüstriyel amaçlı inşa edilen binaların hızla artması, bu gelişmelere paralel olarak yapıların çekirdeğini oluşturan beton agregası gereksinimini doğurmuştur. Önceleri yapı malzemesi olarak kullanılan dere ve ırmak kumlarının bu gereksinime cevap vermede yetersiz kalması ve kullanımından kaynaklanan bazı dezavantajların (alkali silis reaktivitesi gibi) laboratuvar deneyleriyle ispatlanması yapı sektörünü alternatif beton agregası üretme yoluna itmiştir (Kuşcu, 1991).

Yol ve yapı sektöründe aranan ve önemli bir kırmataş (agrega) malzemesi olan bazalt petrografi bilim dalından bilindiği gibi, makroskopik yönden koyu gri-siyah renkli, ince taneli masif yapıda zor kırılğan özellikli olup, mikroskop altında ise, iri taneli olivin, proksen, plajiyoklas kristalleri ile bunları çevreleyen ince kristalli, mikrolitli girift doku altında matriks gözlenir. Kimyasal yönden, %45-52 arasında SiO₂ (Silis), yüksek demir ve magnezyum içeren bazik bileşimli kayaç olarak tanımlanır

Homojen yapısı nedeniyle bazalt, düzgün kırılma yüzeyleri vermesi açısından yapıtaşları konusunda özellikle yaya ve yolların döşenmesinde zar taşı olarak üretimi açısından aranan bir kayaçtır. En önemli özelliklerinden biri arazide altıgen prizmalar şeklinde ve sütunlar halinde meydana gelmiş olmasıdır

Bazaltın ince taneli sık dokulu olanlarına pratik olarak bozuşmaya karşı hava ve su geçirmez sağlam kaya (traprock) denilmektedir. Gerçekte yol materyali ve harç için kaliteli standartta düzenlenmiş olduğu söylenebilir. Kuvarsın yokluğu veya çok az olmasına rağmen çok sert bir kayaçtır (Kuşcu, 1991).

5.1.2.1.(3).(b). Bazaltik Pomza

Günümüzde bazaltik pomzanın kullanım alanları çok geniş olmakla birlikte ana sektörü inşaat sektörüdür. Kullanıldıkları yerlere göre 5 ayrı grupta değerlendirilebilir (Reyhanoğlu, 1988).

Tekstil sektörü, günümüzde ülkemiz endüstrisinde en önemli paya sahip sektör olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza, aranan

ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Yaygın olarak kot taşıma olarak bilinen bu işlemde ve kot kumaşlarının renklerinin açılması (ağartılması) ve kumaşın yumuşatılması yapılmaktadır. Bu sektörde pomzanın belirli fiziko-kimyasal özellikleri taşıması aranır (Önem, 1997).

Pomza yıllar boyunca inşaatlarda yapı elemanı olarak kullanıla gelmiş, ustaların elinde şekillendirilerek günümüze kadar geçmişin tarihini ve tekniğini taşımıştır. Türkiye, pomza rezervleri bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar metreküp pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Pomza rezervlerinin İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşmış olmasına karşın, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de pomza oluşumlarına önemli derecelerde rastlanmakta ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Dünya pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 10'a varan renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir.

Ülkemizde pomza madenciliği, açık ocak işletmeciliği şeklinde yürütülmektedir. Üretilen cevherin % 80'i yurt içinde, genelde hafif yapı elemanı, briket ve izolasyon malzemesi olarak tüketilmekte, kalan %20'sinin büyük bir bölümü tekstil pomzası olarak ihraç edilmektedir.

Ülkemizde üretilen pomza taşı, kalite açısından sert ve yumuşak olarak değerlendirilmektedir. Sert pomza olarak nitelendirilen, Kayseri Develi mevkiinde, yumuşak olarak nitelendirilen ise Ürgüp, Nevşehir ve Aksaray bölgelerinde bulunmaktadır. Bu değerlendirme, pomza yataklarının ihraç kabiliyetine sahip tekstil sanayisinde kullanılan cinsleri için yapılmakta, inşaat sektörünün kullandığı pomzalarda ise homojen tane yapısı ve ağır minerallerden arınmış durumuna göre değerlendirilmektedir.

Pomza rezervlerinin yoğun ve çeşitliliğinin çok olması sebebiyle, endüstriyel bir hammadde olarak Türkiye'de önemli bir ihracat malzemesini oluşturmaktadır. Bu bakımdan, son yıllarda işlenmemiş, ham malzeme ihracatında önemli ölçülerde döviz girdisi sağlamaktadır. Ancak ideal olan, pomza varlığımızı ham bir malzeme olarak ihraç etmek yerine, işlenmemiş mamul ürün olarak ihraç etme yönündeki faaliyetlere öncelik verilmesi arzu edilen bir olgudur.

Pomzanın oluşumu genel olarak şu şekilde açıklanmaktadır: Asidik magma

bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Bu nedenle volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Bu olay, bir volkanın genel aktivite karakteristiğini sergiler.

Basıncın artmasıyla asidik malzemeye birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç sertleşmesi ani genişlemeleri oluşturur. Bu esnada bünyedeki uçucu bileşenlerin anî olarak kaçmasına neden olur.

Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur ve volkan aktivitesi sonrasında genellikle volkan krateri zamanla bir krater gölü şekline dönüşebilmektedir. Burada pomza oluşumunu kontrol eden faktörler; püskürme süresi, ara süreler, magmanın ısısı, magmadaki erimiş gaz miktarı, püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Pomzada taşınma mekaniği; düşme (buluttan çökme) ile yığılma, fırlatma ile yığılma, akma ile yığılma olarak 3 ana grupta alınabilmektedir. Düşme ile yığılmada sınıflandırma iyi bir değişim sergilemekte, tane büyüklükleri de dar aralıklarda kalmaktadır.

Pomza oluşumlarının tabaka kalınlıkları çok ince olup, santimetre veya desimetre mertebeleri ile simgelenebilmektedir. Ayrıca, tabaka kalınlıkları tepelerde ve düzlüklerde aynı kalınlıkları göstermektedir.

Fırlatma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza oluşumlarında ise, bazen düzgün ve yer yer birbiri içine itilmiş tabakalar ve arada bazaltik kayaç sokulumları ve patlama-çarpmanın etkisi ile yapıda parçalanma ve sıkışma görülür.

Akma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza yataklarında ise, genel olarak masif strüktür, tabakalarda yoğun kötü bir ayrışma ve boyut sınıflandırması yok denilecek kadar az bir olgu izlenebilmektedir. Bu oluşumun en açık göstergesi ise, gang (yabancı taşların) minerallerinin alt katmanda kaldığı, pomzanın ise serbest halde üst katmanda yer almasıdır.

Pomzanın değişik endüstri alanlarında kullanımında, malzeme teknolojisi bakımından tüm mühendislik özelliklerinin ve karakteristik yapısal etkileşiminin belirlenmesi, bilinmesi ve araştırılması önemli bir konu olarak gündeme gelmektedir.

Pomzanın genel kimyasal bileşimi asidik pomzalarda, % 70 SiO₂, % 14 Al₂O₃, % 2.5 Fe₂O₃, % 0.9 CaO, % 0.6 MgO, % 9 Na₂O+ K₂O ve % 3 diğer mineraller olurken, bazikler de ise , % 45 SiO₂, % 21 Al₂O₃, % 7 Fe₂O₃, % 11 CaO, % 7 MgO, % 8 Na₂O+ K₂O ve % 1 diğer minerallerden oluşmuştur (Önem, 1997).

5.1.2.1.(4) Diğer Bazı Endüstriyel Hammaddeler

5.1.2.1.(4).(a). Kalker (Kireçtaşı)

Kalker, çok yaygın olarak kullanılan, çok geniş alanlarda teşekkül etmiş olan, çok önemli bir tortul kayadır. Bileşim olarak kalsiyum karbonattır (CaCO₃). Sertlik cetvelindeki yeri 3; yoğunluğu 2,7 gr/cm³'tür. Bu özellikleri itibariyle, kimyasal değişmeye, kırılmaya ve yontulmaya, özetle, yararlanılmaya çok elverişlidir. Şu dört önemli özelliğinin altı çizilmelidir:

- Kirecin ana maddesidir. İlk çağlardan beri elde edilmiş ve kullanılmış kireç, doğrudan kireçtaşının bir ürünüdür.
- Mermerlerin yapıcı taşıdır. Başlangıçta kireçtaşı tabakaları ve serileri olan kayalar yığınları, bir metamorfizma geçirerek, yani yüksek basıncın, sıcaklığın ve geçen uzun zamanın etkileriyle değişerek, mermere dönüşmüşlerdir.
- İlk insandan bugüne değin, bütün evler, yollar ve köprülerde, yani yapılaşmış tüm birimlerde en büyük oranda kullanılan madde, kireçtaşıdır.
- Çimentonun ve asfaltın keşfinden beri, çimento üretiminde % 60 oranında ana hammadde olarak; beton dökümünde ve asfaltlı yol yapımında ise, çimento harcına ve asfalta karıştırılan mıcır olarak, çok bol nispette kullanılmaktadır.

Konglomera, kumtaşı ve kıltaşı gibi tortul kayalar, karalarda her boyutta parçalanmış primer taşların parçalarının akar suların gücüyle denizlere ve göllere sürüklenmesi, o alanlarda birikmesi ve taşlaşması ile, ikincil olarak oluşurlar; aynı olay üçüncül, dördüncül vb şeklinde devam edip gider (Önem, 1997).

Jips, tuz, kireçtaşı gibi formasyonlar da tortul türden kayalardır. Ama oluşumları yukarıdaki gibi mekanik yolla değil, kimyasal yolla gerçekleşmektedir. Kalkere dönük literatürde, kırılıp taneciklere ayrılmış kalker parçacıklarının, tıpkı kum gibi sürüklenip bir başka ortamda, gölde/denizde birikmesiyle, taneli yapıda bir kireçtaşının oluştuğu söylenirse de, bunun pratik değil, sadece bilimsel bir önemi

vardır. Oolitik kireçtaşları ise ayrı bir fenomendir; çok küçük kuvars kristallerini veya kavkı parçacıklarını kalsiyum karbonatın bir sırla çevirmesiyle oluşan oolit tanelerinin yine kalsiyum karbonat hamurla birleşerek oluşturduğu taştır. Görünüşte tanelidir, ama oluşumu, bütün kireçtaşları gibi, kimyasal yolladır.

Altı yüz milyon yıl önce, Kambriyen'de, dünyanın etrafında ilk su kütlelerinin toplandığı dönemde, kireçtaşları oluşmaya başlamıştır. Kambriyen kalkerleri ve bunların içlerinde bulunan kalker kavkılı su canlılarının fosilleri, o safhada karbonatın etkili şekilde varlığını göstermektedir. Yeryüzünde taşlaşmış ve çözünmeye hazır kalker kütlelerinin henüz var olmadığı Kambriyen öncesinde, akan sularla denizlere kalsiyum karbonatın nasıl taşındığı bilinemez. Karbonatın suda ilk defa bulunması, herhalde termal/hidrotermal eriyikler kanalıyla sağlanmış olmalıdır. Sularda böylece oluşan kalsiyum iyonları, atmosferden suya geçmiş karbondioksit ve oksijenle birleşerek canlıların kabuğunu meydana getirmekte; bunlar da sonra parçalanıp eriyerek kalsiyum karbonat çamuru halinde suların dip kısmında toplanmaktaydı. Daha sonraki dönemlerde, bu oluşum hep devam etmiştir. Bir farkla ki, denizlerde çökelen ilk kireçtaşı çamurları ve organizma artıklarıyla teşekkül eden kalkerler, tektonik olaylarla kara kütleleri haline geçince, sadece hidrotermal eriyiklerden değil, bu kütlelerden de kalsiyum iyonları oluşarak sularla taşınmakta ve yeniden karbonat oluşumuna kaynaklık etmekteydi (Önem, 1997).

Doğada kalkerler çok nadir olarak saf halde, yani %100 CaCO_3 olarak bulunurlar. Böyleleri kalsit ve/veya aragonittir. CaCO_3 içeren hareketli yeraltı suları şayet hiçbir eleman içine karışmadan yüzeylese, basınç düşmesiyle hemen olduğu yerde çökelen bu kalsiyum karbonatlar büyük oranda saf olurlar. Bu halde bile, kalsit ve/veya aragonit oluşumlarının bazı kısımları, eser halinde demir, magnezyum vb mineraller içerebilir. Tabii ki kalsit ve aragonitin tek farkı içerikleri değil, kalsitin hekzagonal, aragonitin ise ortorombik sistemde kristallenmesidir (Önem, 1997).

Kalsit ve aragonit gibi lokal oluşuklar ile ölü organizma birikintileri dışındaki gerçek denizel kireçtaşları, çok büyük hacimlere ulaşarak, kendilerinin yeryüzündeki yaygın şeklini ortaya çıkarırlar. Bunlar, hemen her zaman % 3 ila 5 oranında başka mineraller ve/veya kırıntılar içerirler. Başlıcaları, oksit/sülfat gibi demir bileşikler, magnezyum vb bazı mineraller, kum taneleri ve killerdir. Saf kalsiyum karbonat

renksiz ve yarı şeffaf olduğu halde, bu mineral ve kırıntılardan ötürü rengi çok değişir. Yine de en yaygın rengi kül grisidir.

Kalsit/aragonit gibi oluşuklar hariç, kireçtaşları yeryüzünde ve yeraltında geniş alanları kaplayan tabakalı formasyonlardır. Örneğin Güneydoğu Anadolu'da büyük dağları meydana getiren Midyat kireçtaşları ile, Mardin'den Derik'e kadar uzanan Mazıdağı'nı teşkil eden Mardin kireçtaşları, yeraltında bu yüzey alanlarının onlarca genişliğiyle mevcuttur. Orta ve Batı Anadolu'da da bu böyledir. Onun için, gerek dünyanın gerekse Türkiye'nin kireçtaşı rezervini belirleyebilmek olanaksızdır; işe yarar da değildir. Pratik olarak denebilir ki, kireçtaşını anlatırken onun rezervinden ziyade, kalitesinden bahis olunmalıdır. Çünkü dünyada ve Türkiye'de gereğinden öte kireçtaşı mevcut bulunmaktadır (Önem, 1997).

Kireçtaşından üretilcek maddeler göre, şu kalite değerlendirmeleri yapılabilir:

Magnezyumlu ve % 5'ten killi kalkerler, kireç üretimi için elverişli değildir. İdeal olanı, % 100'e yakın CaCO_3 içerenlerdir. Ancak, % 1-4 killi, az silisyumlu, demirli ve alüminyumlular da kireç için kullanılır.

Çimento üretiminde beklenen şart, %5'ten daha az kuvars, MgO ve pirit içermesidir; diğer içerikler etkili değildir.

Mıcır, blok-taş veya levha olarak kullanılacaksa, sertlik ve rijidlik önemli olduğundan, killi bünye hiç istenmez. Çünkü killi kireçtaşı düşük sertlikte ve dağılgandır.

5.1.2.1.(4).(b). Kireç

Kireç, kireçtaşlarının veya dolomitik kireçtaşlarının kullanılmasıyla elde olunan bir inşaat maddesidir. Hammaddelerin cinslerine göre özelliği nispeten değişir.

Dolomit Kireç

Dolomitik kalker esaslı kireçtir. Üretimi için % 65-90 CaCO_3 içeren dolomitik kalker kullanılır. Dolayısıyla, pek az yabancı madde hariç, % 10-35'in tamamı MgCO_3 'tür.

Kireç sektöründe iyi vasıflı sayılıp yağlı kireçler diye adlandırılanlar, en fazla % 4 nispetinde yabancı madde içerirler. Daha düşük vasıflı olup zayıf kireçler diye

adlandırılanlarda, bu oran % 5 ila 6'dır.

Su altında donabilen su kireçleri ise, bünyelerinde % 6-22 oranında kil taşırlar. Bunların üretimi için killi kireçtaşları kullanılır.

İstenmeyen, ancak kalker bileşiminde çoğunlukla bulunan yabancı maddeler, SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve TiO_2 'dir.

Kireç üretiminde, kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı, irice bloklar halinde özel fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta kızdırılarak (kalsine edilerek), CaO veya $\text{CaO}+\text{MgO}$ 'e dönüştürülmektedir (Kılıç, 2005; Kılıç ve Anıl, 2005; Kılıç ve Anıl, 2006). Bunlar yanmış kireç veya söndürülmemiş kireçtir; böyle korunurlar ama kireç olarak kullanılamazlar. Suya karşı çok aktiftirler.

Suyla karıştırılarak söndürülünce, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ veya $\text{CaMg}(\text{OH})_4$ ortaya çıkar ki, bunlar sönmüş kireçtirler ve kireç olarak kullanılırlar,

Söndürülmüş kireç, yani CaO veya $\text{CaO}+\text{MgO}$, kaba bloklar halinde, veya öğütülmüş olarak piyasaya sürülebilir. Ama suya karşı çok hassas olduğu için korunması zor, paketlenmesi pahalıdır. Sadece kullanacak olanlar, onu bu ham haliyle tutarlar. Piyasaya az miktarda sürülür (Önem, 1997).

Asıl yaygın usul, kireci söndürüp bazı teknik işlemlerle suyunu yarım moleküle kadar indirdikten sonra, öğütüp, paketleyip piyasaya sunmaktır. Kullanıcılar artık bir söndürme işlemi yapmaksızın, suyla karıştırıp bundan doğrudan kireç elde ederler.

Söndürülmüş kalsiyum kireci, kalsiyum hidrattır, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Söndürülmüş dolomit kireci ise, kalsiyum/magnezyum hidrattır, $\text{CaMg}(\text{OH})_4$. Her iki kirecin kurutulmasıyla söndürülmüş toz kireç elde olunur. Bunlar kraft kağıdından veya yüksek yoğunluktaki polietilenden yapılan torbalar içine 25 kg miktarlarda doldurularak piyasaya sürülürler.

Kireç en geniş şekilde inşaat sektöründe kullanılmaktadır; herhalde buradaki yararlanma oranı % 80'den fazladır.

Diğer önemli bir alan ise tarım sektörüdür. Karbondioksit, kükürtdioksit (SO_2) ve azotdioksitle (NO_2) yüklü yağmur sularının toprak profilini yıkaması, organik artıkların ayrışması ve kullanılmış asit gübrelerin etkisiyle, topraktaki serbest hidrojen iyon oranı artmaktadır. Hidrojen ise topraktaki sülfürler, klorlar ve diğer elemanlarla birleşerek asite dönüşür; böylece, toprak istenmeyen oranda asitleşir. Toprağın bu asit

karakterini çözmek, yani asiti yok etmek veya azaltmak için, bol miktarda CaCO_3 , MgCO_3 ile, bunların oksitleri ve hidroksitleri olan sönmemiş ve sönmüş kireçler kullanılır. Topraktaki serbest hidrojenin ortaya çıkardığı aktif asitliği ifade etmek üzere, toprak çözeltisindeki serbest hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif logaritması olan toprak pH'si bir değer olarak belirtilir. Bu değer yüksekse, asitlikte yüksek demektir. Yukarıdaki tedbirler de o yükseklikle belirlenen oranlara göre alınır.

Kirecin, önemli olmakla beraber, ziraatta kullanımı genel tüketimin sadece % 7'i kadardır. En çok kimya ve endüstri alanında, % 84 nispetinde yararlanılmaktadır. Diğerleri, % 6 ile otoyolları, yine % 6 ile refrakter sektörü ve % 3 ile inşaat sektörüdür.

Kireç için hammadde sıkıntısı olmayan Türkiye'de, son 6 yıl içinde, yılda ortalama 2.000.000 ton sönmemiş kireç (CaO) ve 1.500.000 ton sönmüş kireç Ca(OH)_2 üretilmektedir. Toplam ortalama üretim 3.500.000 tondur. Ancak bu Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)'na intikal eden resmi verilere dayandığından ve birçok küçük üretimleri içermediğinden, yıllık üretimin 3.800.000 milyon tona ulaştığı rahatça söylenebilir (DPT, 2007).

5.1.2.1.(4).(c). Kuvars

Yerkabuğunda en fazla bulunan kuvars minerali, SiO_2 bileşiminde ve 2,85 gr/cm^3 özgül ağırlığındadır. Sertliği 7 olup, 1785 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta erir. Renksiz ve saydam olduğu kadar, kırmızı, pembe, mavi, eflatun ve beyaz renklerde de bolca mevcuttur. Renklerini içine karışan çeşitli minerallerden almaktadır. Bazı renkli türleri yaygın şekilde kullanılan yarı değerli süs taşları olup, en önemlisi mor veya eflatun renkli ametisttir (Önem, 1997).

Kuvars minerali en çok mağmatik kayalarda bulunmakla beraber, sedimentasyon yoluyla veya metamorfizmayla da teşekkül edebilir. Ancak bir mağmatik kayacın, örneğin granitin bünyesindeki kuvarstan veya bir kumtaşı içindeki kuvars tanelerinden değil de, burada ondan doğrudan bir maden türü olarak bahsedeceksek, bunları, fay ve çatlaklarda damarlar halinde sekonder olarak oluşmuş kuvars kristalleri veya amorf teşekküller olarak ele almak gerekir. Bazen cevher yatakları içinde gang minerali olarak ta bulunurlar.

Doğada % 100 saflıkta kuvars bulmak çok güçtür. En hassas olarak kullanıldığı

optik ve elektronik sanayinde, % 99,99 saflıkta olması şartı aranır. Metalürji sanayinde yararlanılanlar % 99,5 saflıkta olup, % 0,01 oranında Fe_2O_3 içerirler.

Türkiye'de cam sanayinde kullanılanlar en az % 99,6 SiO_2 ve en fazla % 0,012 Fe_2O_3 bileşiminde olmak zorundadır.

Seramik sanayinde ise, % 97-98 SiO_2 , % 0,25-0,50 Al_2O_3 , en fazla % 0,25 Fe_2O_3 , % 0,5-1 CaO ve % 0,5-1 MgO bileşiminde olan kuvars cevheri kullanılmaktadır.

Porselen sektöründe en az % 97 SiO_2 ve en fazla % 0,2 Fe_2O_3 oranları aranmaktadır.

Dünyada en büyük kuvars yatakları Brezilya'da bulunur. Bunlar elektronik sanayinde kullanılacak kadar iyi vasıftadır. Dünyanın en iyi ve en büyük ametistleri de yine Brezilya'da mevcuttur.

Yine iyi tür kuvars yatakları Afrika'da, Namibiya ve Madagaskar'dadır. Amorf veya kriptokristalin kuvars yatakları ise Arjantin, Avusturya, Belçika, Lüksemburg, Macaristan, Güney Afrika Cumhuriyeti, İspanya ve Norveç'te bulunmaktadır.

Türkiye kuvars yönünden çok zengin olmayıp, bugüne kadar belirlenmiş rezerv sadece 4-5 milyon ton kadardır. Bilinen önemlileri, Çanakkale / Ezine, Bayramiç, Biga; Aydın/Çine; Muğla, İzmir, Ankara, Kütahya ve Bitlis'te yer almaktadırlar.

Kuvars açık işletme yöntemi ile işletilir. Rezervler görünür halde olduklarından, üstlerinde örtü tabakası yoktur. Rezerv kütlesi içinde açılan sondaj deliklerinde gerçekleştirilen patlamalarla kütle parçalanır ve üretim bu suretle sağlanır. Daha sonra elle temizlenir; iyi ve kaliteli kısımlar ayrılır. Sonra kırılır ve stoklanır.

Türkiye'de de aynı usuller uygulanmaktadır. Bazen kırılan ve ayıklanan kuvars, daha temiz hale gelmesi için, su ile yıkanır (Önem, 1997).

Dünyanın başlıca üretici ülkeleri olarak, başta en büyük üreticiler İspanya ve Norveç'tir; çok iyi kalite kaynaklara sahip olan Brezilya, üretim miktarı yönünden daha gerilerdedir.

Kuvars en başta cam sanayi alanında, kristal eşya ve züccaciye malzeme imalinde kullanılır. Seramik sektöründe ise, geniş şekilde sır ve frit yapımında yararlanılmaktadır. Ayrıca, yer ve duvar karolarında izolator, elektro-porselen, glazür,

sofra eşyası ve vitrifiye seramik alanlarında ise hammadde olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yarı kıymetli taşlar şeklinde değerlendirilenler daha ayrı bir alan teşkil ederler.

5.1.2.1.(4).(d). Kuvarsit

Bir çökeltme ortamında, genelde yatay düzlemler boyunca biriken ufak kuvars kristal taneleri geniş alanlara yayılır ve santimetreden başlayıp metrelerce kadar varan kalınlıklar gösterir. Tanelerin arasındaki boşluklarda, başlangıçta bir birleştirici yoktur; bu kütleler kum çökeltileridir. Ancak zamanla bu boşluklar, doğal çimento olarak nitelenen birleştirici maddelerle doldurulurlar. Böylece kütle taşlaşmış; kum yerine kumtaşı niteliği kazanmış olacaktır.

Doğal çimento denen madde çoğunlukla kalsiyum karbonat, bazen kil, bazen de bu ikisinin karışımıdır. Eğer bunlar mevcutsa, ortaya çıkmış olan formasyon türü kumtaşıdır.

Doğal çimento maddesi silisyum dioksitten (SiO_2) ibaretse, yani kuvars kristalleri yine kuvars olan bir madde ile birleşmekteyse, böylece hasıl olmuş kayaca kuvarsit veya orto-kuvarsit denir. Bu sedimanter tür kuvarsitin birleştirici silisi çoğunlukla amorfudur. Böyle bir kuvarsit daha sonra metamorfizma geçirirse, çimento maddesi olan amorf kuvars tamamen kristalli hale dönüşür; böylece metamorfik güçler para - kuvarsit adlı ikinci türü meydana getirmiş olurlar. Karışmış başka mineraller dışında, her iki cins kuvarsitte tamamen kuvarstan ibarettir (Önem, 1997).

Zamanla, orto-kuvarsitteki amorf silis kristallenir. Bu olayın ilgi çekici yönü, amorf birleştiricinin kuvars kristal tanelerinin etrafında ve onların kristal eksen boyutları doğrultusunda kristalleşmesi, diğer bir ifadeyle, eski tane kristallerin giderek büyümesidir. Mikroskop altında, orijinal kuvars kristal tanesi ile, sonradan onun çevresindeki ek kristalleşme açıkça görülür.

Kuvarsitlerin bünyesinde en az % 95 oranında bulunan SiO_2 'nin dışında, az nispetde feldispat, mika, manyetit, hematit, granat ve rutil mineralleri veya parçacıkları ile, kil ve kireçtaşı noktacıkları bulunabilir.

Cam sanayiinde kullanılacak kuvaristlerin en az : % 96 SiO_2 , en fazla % 2 Al_2O_3 , en fazla % 0,4 Fe_2O_3 ve en fazla % 0,25 $\text{CaO}+\text{MgO}$ içermesi gerekir.

Ferro -krom sanayii için, en az % 96 SiO₂, en fazla % 1,5 Al₂O₃, en fazla % 1,5 Fe₂O₃ bileşiminde olmalıdır.

Demir- çelik sanayiinde, en az % 91 SiO₂, en fazla % 2 Al₂O₃ ve en fazla % 2 Fe₂O₃ içerikli olması şartı aranır.

Hafif gaz - beton (ytong) üretiminde istenen oranlar, en az % 90 SiO₂, en fazla % 3 Al₂O₃ ve en fazla % 2 Fe₂O₃'tür.

Madenle ilgili çeşitli yayınlarda, dünya kuvarsit rezervine dönük bilgilere veya tablolara raslanmamaktadır. Ancak bu sektörle ilgili olarak Arjantin, Güney Afrika Cumhuriyeti, Norveç, İspanya ve Almanya, herhalde Birleşik Amerika ve Rusya'dan sonra, önemli ülkeler diye sıralanabilirler (Önem, 1997).

5.1.2.1.(4).(e). Kuvars Kumu

Granit, gnays vb kuvarsça zengin bir kayacın ağır bir tempoyla parçalanması sonunda ortaya çıkan kuvars kristalleri, fazla derin bir kısmına ulaşmadan, denizde veya gölde çökelirler. Bu kuvars kumları saflığa yakındır. Çünkü sürüklenme ortamına yüksek olmayan ama uzun süre devam eden bir enerji şartı hakimdir. Aynı ana kayadan ayrışarak gelmiş feldispat ve mika türünden diğer mineraller killeşerek veya daha küçük boyutlara bölünerek uzaklaşırlar. Başlangıçta, ortamda bir çimento maddesi mevcut değildir. Ancak yaşlandıklarında, yani kendi tortullaşma dönemleri sona erip üstlerine başka tabakalar çöktüğünde, hatta giderek karada yer aldıklarında, kalsiyum karbonat veya silisyum dioksit çözeltileri içeren yeraltı akışkanlarının hücumuna maruz kalarak çimentolaşırlar. Jeolojik zamanlar boyunca, böyle ham bir tortul kütlenin çimentolaşma hadisesinin dışında kalması çok beklenmedik bir olaydır. Çünkü yeraltında, çimentolaşmaya yol açacak sayısız fiziksel ve kimyasal hadiseler hep olagelmektedir. Ancak bazen, anlaşılmasa da, bir kum birikintisinin hiç çimentolaşmadan, deniz dibine gömüldüğü gibi kaldığı görülmektedir. Birinci. Zamandan kalmış çok yaşlı istiflerde de aynı sürprizlerle karşılaşmaktadır. Örneğin, Güney Doğu Anadolu'da, Silüriyen yaşlı Bedinan formasyonunun şeyllerinin üstünde ve içinde hiç çimentolaşmamış kum seviyeleri mevcuttur. Aynı oluşuklar Devon'da da vardır. Türkiye'de üretim yapılan Trakya kuvars kumları da böyledir. Eosen yaşlı bu kumlar Istranca Masifinin yavaş bir tempoyla aşınmasıyla oluşmuşlar ve masifin iki

tarafında yığılmışlardır (Önem, 1997).

Kuvars kumları, az nispette de olsa, demir oksit (Fe_2O_3) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) içerirler. Az miktarda kil de bulunabilir. Kuvars kumlarının teşekkülünün bir diğer sebebi ise, yine kuvarsça zengin bir ana kayacın üst üste faylanarak büyük basınçlarla parçalanmasıdır. Ancak bu kumlar yerlerinden uzaklara sürüklenmezler. Bu yüzden tabakalı bir yapı göstermeseler de, tabakalı kuvarsitlerden çok daha saftırlar, çünkü içlerine başka elemanlar karışma olanağı bulamamıştır. Kuvars kumları donmuş kar beyazı renkli, şeker tozu görünüşlü, ama çok ufak tanelidirler. Demir oksit içeriyorlarsa, buna göre renkleri pembeden kızıla veya koyu kahverengine kadar değişir. Dünyada etkili şekilde kuvars kumunun geliştiği ülkeler şunlardır: Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Arjantin, Brezilya, Venezüella; Avrupa'da, başta Belçika olmak üzere, Almanya, Hollanda, Fransa, İngiltere ve Avusturya; Asya'da Rusya ve Uzak Doğu'da Filipinler; Afrika'da Güney Afrika Cumhuriyeti ve Mısır. Türkiye'de Trakya ve Sinop yöresinde bir miktar rezervimiz mevcuttur:

5.1.2.1.(4).(f). Traverten

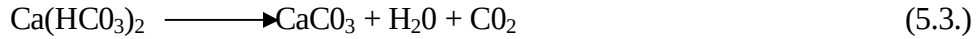
Oniks mermeri veya travertenin meydana gelmesi için baş şart, yeraltı suyunun yüksek seviyede asitli hale gelmesidir. Bunu sağlayan, yağmur suyuna atmosferden, bu suyun katıldığı yeraltı suyuna ise çevre minerallerden karışan karbondioksit gazıdır. Suyu birleşince, istenen karbonik asit teşekkül etmiş olur.



Bol karbonik asitli yeraltı suyu, yalayıp geçtiği derindeki kalkerleri kolayca çözer ve kalsiyum bikarbonat halinde suyun içine alır.



Yeraltı suyuyla yüzeye ulaşan kalsiyum bikarbonat, sıcaklığın azalması, basıncın düşmesi ve serbest hava şartlarının birden belirmesiyle bozuşur ve karbondioksitini kaybederek kalsiyum karbonata dönüşür.



Sürekli hareketli ve içerdiği malzemeyi oniks mermeri olarak üst üste çökerten bu yeraltı suyu, miktarca az ve soğuktur. Bu yüzden oniks mermeri yavaş bir tempoyla teşekkül eder (Önem, 1997). Yeraltı suyu fazla ve ılıksa, traverten; yine fazla ama ayrıca sıcaksa, bu defa kalker tüfü oluşur. Bunlar daha hızlı bir şekilde çoğalırlar. Travertenin teşekkülü, oniks mermerininkiyle birlikte, yukarıda açıklanmıştır. Bu kayacın en görünür özelliği, çok yüksek derecede gözenekli olmasıdır. Hatta bazıları gözenekli olmaktan çok, büyük delikli ve yarıklıdır. Böyleleri bir yüzeye kaplanırken, boşlukları çimento ile doldurulmaktadır. Sağlam değilmiş gibi görünüşlerine, karşın, son yıllarda, mezar çevresi yapımında mermerlerden çok daha güçlü ve dayanıklı oldukları anlaşılmıştır. Nedeni, traverten yüzeyinin çimento ile çok iyi bağdaşması ve bir daha ayrılmamasıdır. Türkiye'de travertenin en çok bulunduğu yer Denizli ilidir. Bazılarının rezerv miktarları belirtilememiş olarak, illerin rezerv tablosu yukarıda çıkarılmıştır (Çizelge 5.3.) (Önem, 1997).

Çizelge 5.3. Travertenlerin illere göre rezerv tablosu

YER	REZERV (m ³)
Denizli (merkez) ve Kocabaş ile Acıdere mahallesi	390.000.000, *Gör
Tokat (merkez) ve Aftıntaş	350.000.000, *Gör.+Muh
Tokat/Keşlik	380.000.000, *Gör.+Muh
Tokat/Turhal, Ayrancıpınar	210.000.000, *Gör.+Muh
Konya/Meram,Gödene	
Burdur/Bucak, Yukarı Devri	150.000.000, *Gör.+Muh
Çankırı/Kurşunlu, Başovacık	
Çankırı/Eskipazar, Tamişlar	225.000, *Gör +Muh.
Çankırı/Eskipazar, Kayadibi	
Çankırı/Eskipazar, Budaklar	
Ankara/Nallıhan, Karakaya	
Ankara/Polatlı, Maliköy (oniks mermeriyle birlikte)	
Sivas-Yıldızeli	5.000.000, *Gör +Muh.
Toplam:	1.046.000.000

*Gör+Muh=Görünür+Muhtemel

5.2. Metod**5.2.1. Örneklerin Toplanması**

Bu çalışma kapsamında, öncelikli olarak, Şekil 5.1.'de görüldüğü üzere, Türkiye'de bulunan; meskenlerin ve kamu binalarının yapımında dekorasyon amaçlı kullanılan, kökeni farklı, bazı mermer, granit ve diğer doğal taş türlerinin (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) üretildiği yerlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. İlk aşamada, Doğu Akdeniz Bölgesi'nden başlayarak, gittikçe genişleyen bir yelpaze çerçevesinde, eldeki imkânlar ile, örnek çeşitliliğini azami şekilde sağlayan bir lokasyon haritası çıkarılabilmektedir.

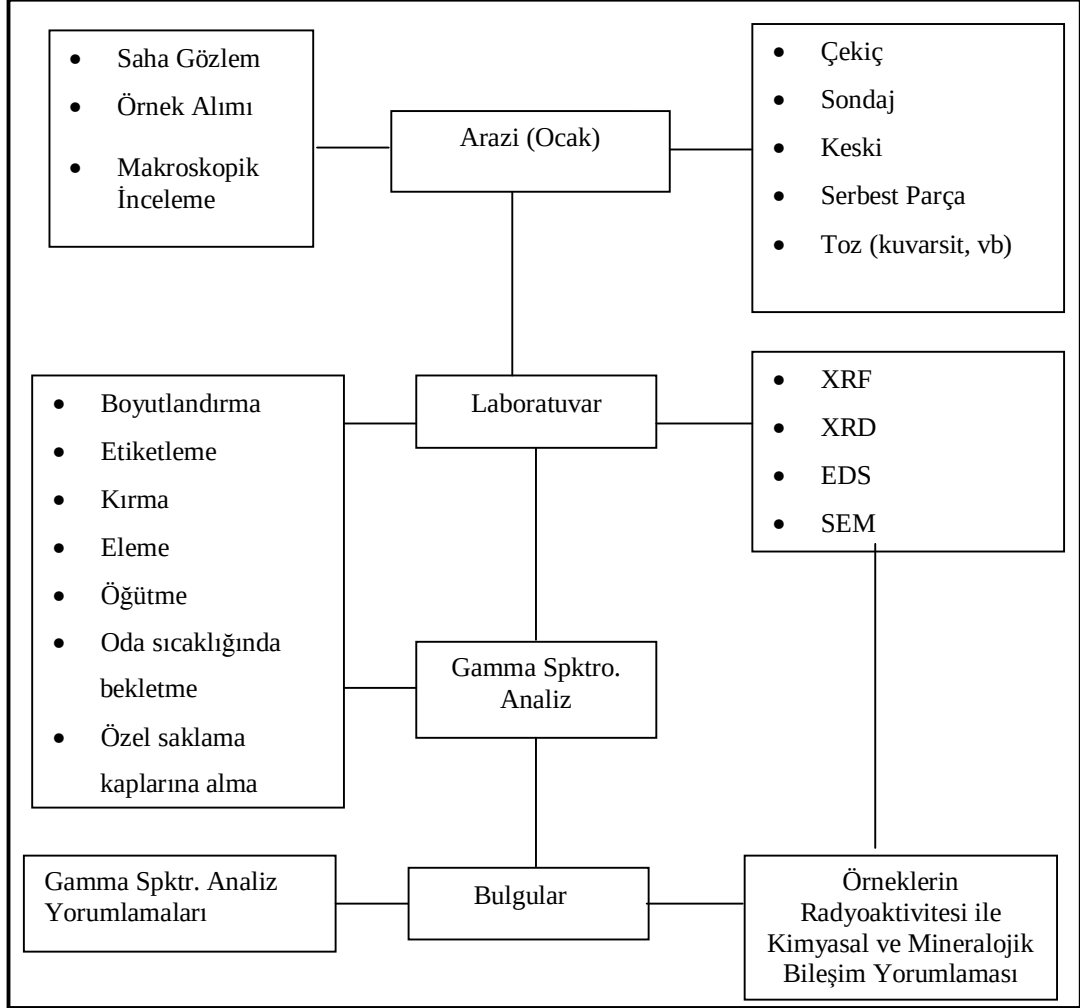
Örneklerin bir kısmı, ulaşılabilecek ocaklara gidilerek (özellikle Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan) alınmış, diğer bölgelerdeki ocaklardan alınanlar ise ya bizzat gidilerek ya da sistematik örnek alma yöntemleri kullanılarak, getirilmek suretiyle, şirketlerle görüşmeler yapılarak ve gerekli izinler alınarak temin edilmiştir. Analizlerin gerçekleşmesinde kullanılan analiz-akım şeması, Şekil 5.2.'de görülmektedir.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi) ile yapılan görüşmeler neticesinde, örnekler, her bir doğal taş türü ve her bir ocak için, ortalama 10 adet olmak kaydıyla, ocağı genel olarak temsil edecek ve kot farkları gözetilerek sistematik olarak toparlanmıştır (Foto 5.1. ve 5.2.).

Toplanan örnekler, plastik saklama poşetlerinde ve karton kutularda, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Kırma ve Öğütme Laboratuvar'larına getirilmiştir (Foto 5.3).

Burada, örnekler, ilk olarak çeneli ve konili kırıcılar vasıtasıyla, öğütülmek için uygun boyutlara getirilmiş ve daha sonra ise merdaneli kırıcı ve pulverizatör vasıtasıyla tane boyu küçültülmüş, daha sonra, taneler elenerek 50µ ve altındaki tane boyutlarına indirilmiştir.

Sonraki aşamada ise, uygun boyutlara getirilerek etiketlenmiştir (Foto 5.4).



Şekil 5.2. Analizlerde kullanılan örneklerin analiz-akım şeması

Örnekler, burada içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra karton üzerine serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında kurutulmuştur.

Örnekleri öğütmenin amacı, örneklerde bulunan nemi buharlaştırma ile azaltmak ve çok küçük parçacıklar haline gelecek şekilde kurutmaktır. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ise ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

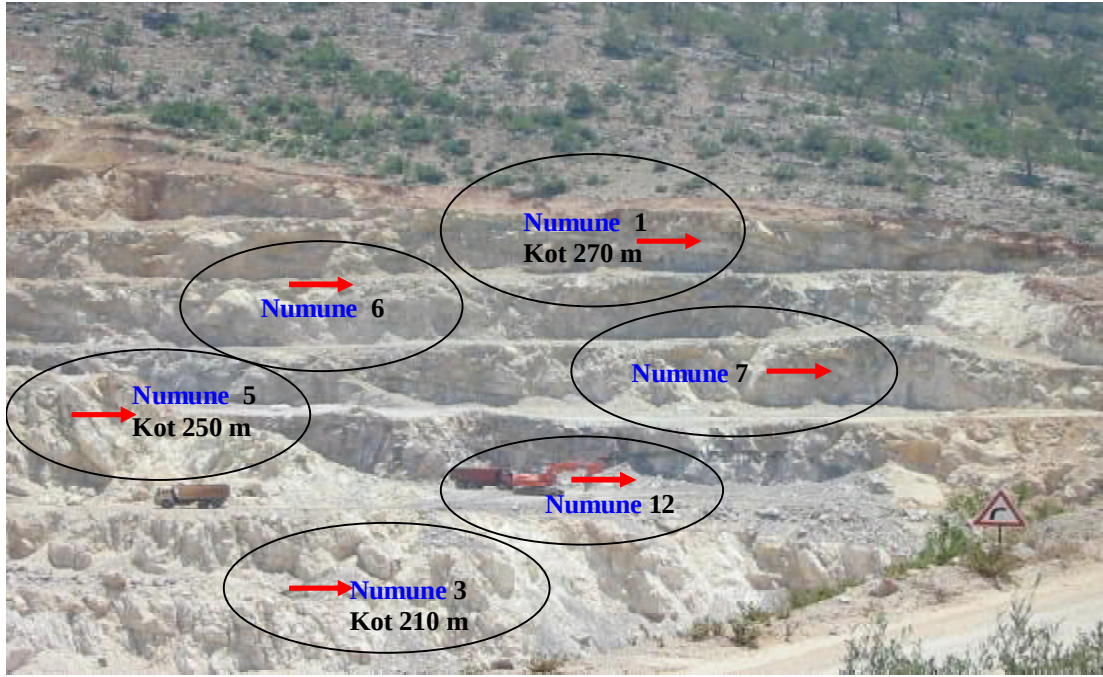


Foto 5.1. Sistematik örnek alımı (Ovacık Kuvars İşletmesi doğu kesimi üretim basamakları (Kargıcak)



Foto 5.2. Sistematik örnek alımı (Ceyhan Yöresi Kireçtaşı Ocağı)



Foto 5.3. Laboratuvara getirilen örnekler (1 ve 2).



Foto 5.4. Boyutlandırma ve etiketleme (1 ve 2)

5.2.2. Örneklerin Kırılması ve Öğütülmesi

Her örnek kurutulduktan sonra, deney kabında (marinelli) homojen bir şekilde dağılımı sağlamak, parçalar arası boşluklardan kaynaklanabilecek hatalardan kaçınmak ve daha çok Gamma fotonunun detektöre ulaşmasını sağlayarak verimi yükseltmek için, örneklerin toz haline getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem de Çukurova Üniversitesi Maden Fakültesi Kırma ve Öğütme Laboratuvar'ında gerçekleştirilmiştir (Foto 5.5.)

Öğütme işlemi esnasında örneklerden sırasıyla;

- Çeneli kırıcı yardımıyla 20 mm nin altında parçacıklar
 - Konili kırıcı yardımıyla 5 mm altında parçacıklar
 - Merdaneli kırıcı ile 2 mm altında parçacıklar
- elde edildikten sonra örnekler son iki aşamada;



Foto 5.5. Örneklerin kırılması ve öğütülmesi işlemi (1-Kırma, 2- Öğütme)

- 1 mm' lik elekten geçirilip kalan büyük parçalar merdaneli kırıcıda tekrar işlenmiş
- 1 mm' nin altında küçük parçacıklar elde edilerek çok ince kum haline (50 μ) getirilmiştir.

- Tüm örnekler, en son pülverizatör yardımıyla 50 µ düzeyine getirilmiştir.

5.2.3. Örneklerin SANAEM-TAEK 'E Gönderilmek Üzere Hazırlanması

Her örnek kurutulduktan, iyice öğütülüp ve 50 µ boyutuna irildikten sonra etiketlenip plastik poşetlere aktarılmıştır. Bu aşamada, her bir örneğin ağırlıkları tartılıp, kaydedilmiştir (Foto 5.6).

Daha sonra her plastik poşetin ağzı, dışarıdan hava girmeyecek şekilde kapatılmıştır. Örnekler, içlerinde bulunan bozunma ürünlerinin, ^{238}U ve ^{232}Th , radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir.



Foto 5.6. Örneklerin SANAEM-TAEK 'e gönderilmek üzere hazırlanması (1-2)

Örnekler daha sonra gamma spektrometrik analizleri yapılmak üzere SANAEM Nükleer Araştırma Merkezine getirilmiştir. Burada, darası alınmış ve numaralandırılmış marinelli sayım kaplarına konularak tartılmışlardır.

Marinelli kaplarına (Foto 5.7.) hava almayacak şekilde kapatıldıktan sonra örneklerin içinde bulunan bozunum ürünlerinin ^{238}U ve ^{232}Th , radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda örnekler ölçüm için hazır hale gelmişlerdir.



Foto 5.7. Örneklerin analiz kaplarına alınışı (marinelli kaplarında kataloglama)

5.3. Doğal Ortam Sayımı (Background)

Çevremizdeki doğal radyasyon kaynakları, ölçümler esnasında sayım sistemini de etkileyecek ve kaçınılmaz olarak ortamın backgroundunu yükseltecektir. Daha önce de belirtildiği gibi, düşük aktiviteli ölçümlerde background daha da önem kazanmaktadır. Düşük seviyeli radyoaktivite ölçüm laboratuvarları oluşturulurken, ölçüm sistemi civarında background seviyesini mümkün olduğu kadar azaltacak önlemler alınmalıdır. Doğal ortam sayımını (background) minimize etmek için her şeyden önce ortamda backgrounda yol açan kaynakların bilinmesi gerekmektedir.

Alfa sayım sistemlerinde backgrounda yol açan faktörler Gamma ve beta sayım sistemlerine nazaran daha az karmaşıktır. Alfa parçacıklarının menzilleri çok kısa olduğundan backgrounda sadece detektör ve yakın çevresindeki malzemelerdeki radyoaktif kontaminasyon ve detektör etrafındaki havada var olan radon gazı yol açmaktadır (Tykva and Sabol, 1995; Theodorsson, 1997). Alfa sayım sistemleri üretilirken malzeme seçimine çok dikkat edilmektedir. Ancak ölçülen örnekler radyoaktif kontaminasyon için potansiyel kaynak durumunda olduğu için sayım esnasında azami dikkatin gösterilmesi gerekmektedir.

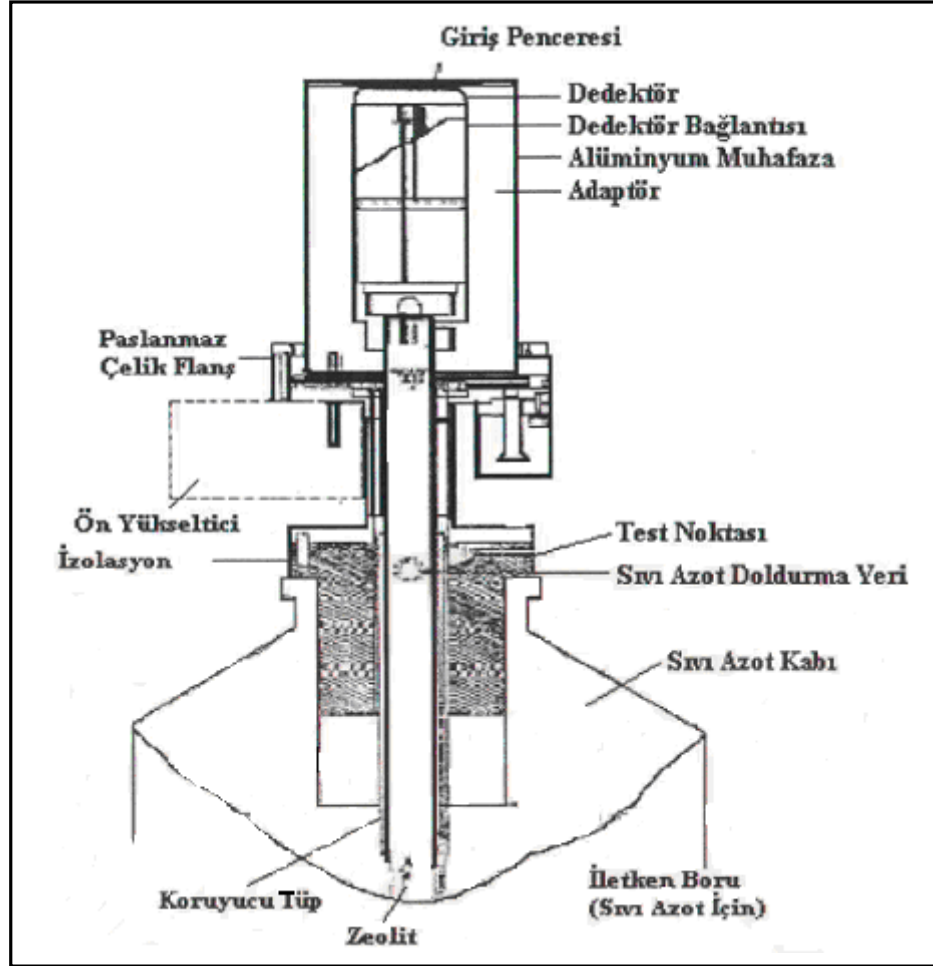
Gamma ve beta sayım sistemlerinde backgrounda yol açan faktörler daha kompleks olup genel olarak, ortamdaki radyoaktif maddelerden ve kozmik ışınlardan, kaynaklanmaktadır. Ortamdaki radyoaktivite kaynaklarının başında, yapı malzemelerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve bunların bozunum ürünleri ile ^{40}K gelmektedir. Ayrıca dedektör ve zırh malzemelerindeki gamma ve beta aktif radyoizotoplar da backgroundu artırıcı unsurlardır.

Kozmik ışınlardan kaynaklanan background artışı da sayımları olumsuz yönde etkileyeceği için üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Yüklü ve yüksek enerjili kozmik ışınlar sebebiyle, zırhta enerjileri bir ile birkaç yüz MeV arasında değişen ikincil radyasyon (foton, elektron ve nötronlar) oluşmaktadır. Sayım sisteminin bu ışın ve parçacıklardan etkilenmemesi için ilave tedbirlerin alınması gerekmektedir.

5.4. Toprak ve Kayalarda Radyoaktivite Tayini

Toprak ve kayalarda bulunan en önemli doğal radyasyon kaynakları ^{40}K ile ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleridir. Bu radyoizotoplar insanlarda iç ve dış radyasyon dozlarına neden olmaktadır. İç ışınlamalara, toprak ve kayalardan atmosfere geçen ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin solunması ve ayrıca ekili alanlarda topraktan besinlere geçen radyoizotopların insanlar tarafından tüketilmesi yol açmaktadır. Dış ışınlamalar ise uranyum ve toryum serilerindeki gamma bozunumu yapan radyoizotoplardan ve ^{40}K dan kaynaklanmaktadır. Radyoaktivite seviyesi belirlenecek olan toprak ve kaya örneklerinin uygun boyutlara getirilmesinin ardından ^{238}U , ^{232}Th un bozunum ürünleri ile radyoaktif denge durumuna gelebilmesi için belli bir süre ki bu takriben 4 haftadır, örneklerin bekletilmesi gerekmektedir. Bu sürenin sonunda örnekler düşük seviyeli radyoaktivite ölçümü yapılmak üzere hazır hale gelmiş olacaktır. Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümlerinde yarı iletken detektörler ve sintilasyon detektörleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yarı iletken detektörlerin en büyük üstünlüğü enerji ayırma güçlerinin çok iyi olmasıdır. Yani birbirine çok yakın pikler kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Bu nedenle de spektrometrik gamma analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Katı hal

dedektörünün kesiti Şekil 5.3' de görülmektedir (Bilge, 1985; Debertin and Helmer, 1988; Gillmore and Hemingway, 1995).



Şekil 5.3. Katı hal dedektörü

Yarı iletken dedektörler, katı hal iyonizasyon odaları olarak düşünülebilir, Katı hal dedektörlerinin yapımında en çok germanyum ve silisyum kullanılmaktadır. Katı hal dedektörlerinde gelen radyasyon kristal ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda kristal atomlarından koparılan yüksek enerjili elektronlar diğer elektronlarla etkileşerek elektron-boşluk, yani iyon çiftleri meydana getirirler ve yaklaşık 10^{-12} sn gibi çok kısa süre içinde olay kararlı hale gelir. Biriken bu yük dışardan uygulanan bir elektrik alanı ile kristal boyunca sürüklenir ve bir elektrik sinyali elde edilir.

Kristal içinde meydana gelen ve temas yüzeylerinde toplanan yük miktarı, radyasyon cinsinden bağımsız olarak yalnızca soğurulan enerjiyle orantılıdır.

Bir elektron-boşluk çifti meydana gelmesi için gereken enerji yarı iletkenlerde 3 eV, gaz iyonizasyon odalarında 30 eV ve sintilasyon detektörlerinde 300 eV civarındadır.

Enerjisi 1 keV-60 keV arasında olan fotonlar Si(Li) detektörleri ile, 5 keV ile 10 MeV arasında olanlar ise Ge(Li) veya saf Ge (HPGe) dedektörleri ile ölçülmektedir. Her üç detektör de sıvı azot sıcaklığında (77 °K) çalışmaktadır. Bunun nedeni, Si ve Ge kristalleri içine yerleştirilmiş bulunan lityum atomlarının yüksek sıcaklıklarda çok hareketli olmasıdır.

Son yıllarda geliştirilen yüksek saflıktaki Ge dedektörleri oda sıcaklığında muhafaza edilebilmektedir.

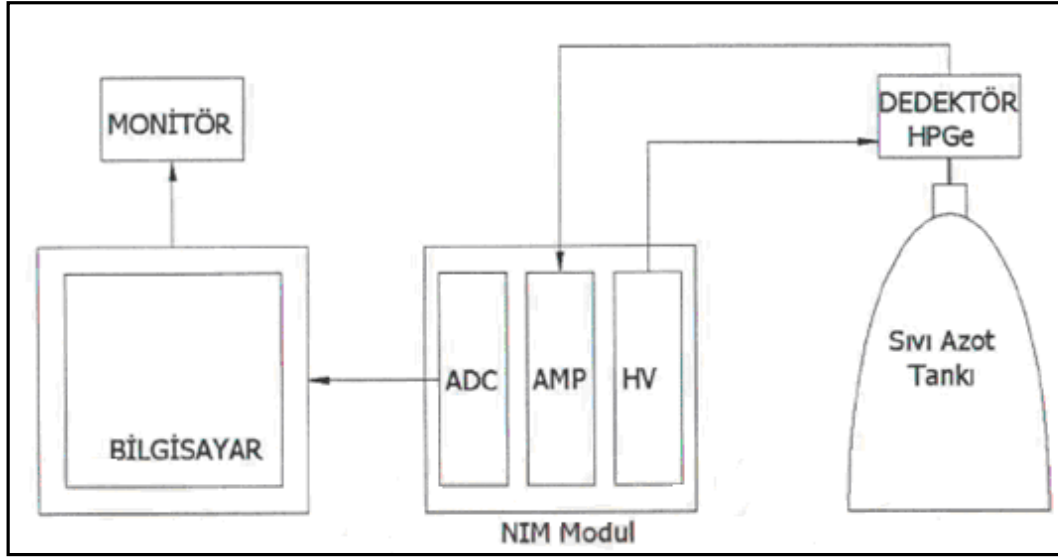
5.5. Örneklerin Radyoaktivite Seviyesinin Tayini (Gamma Spektrometrik Sistem)

Bu bölümde, gamma spektrometrik analiz değerlendirmelerinde ve dış gamma radyasyon ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve detektörler hakkında aşağıda detaylı bilgiler verilmektedir.

Gamma spektrometresi çevre örneklerinin analizinde yaygın kullanımı olan bir tekniktir. Deneysel çalışmamızda, bazı mermer, granit ve diğer doğal taş türlerinin (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) örneklerin gamma spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta germanyum detektörü kullanılarak yapılmıştır.

Çok kanallı analizör 4096 kanallı olarak kullanılan Canberra Model 767 Gamma spektrometre cihazı, 0.33 MeV de %15-16' lık bir relatif verime sahiptir. Gamma spektrometresi; yüksek saflıkta Ge detektörü (HPGe), analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC (Analog to Digital Converter) sistemi ve çok kanallı analizörden oluşmaktadır.

Deney düzeneği Şekil 5.4.' de ve Canberra Model 767 Gamma spektrometre cihazı ise Foto 5.8. de görülmektedir.



Şekil 5.4. Gamma spektroskopi sisteminin çalışma düzeneği



Foto 5.8. Canberra Model 767 gamma spektrometre cihazı (1-2-3-4)

Detektörle iyi bir enerji rezolüsyonu elde edebilmek için detektör sıvı azot kullanılarak soğutulmaktadır, Kozmik ışınlardan ve ortamdan kaynaklanan backgroundun detektöre ulaşmasını engellemek için detektör, 10 cm kalınlığında kurşun zırh içinde bulunmaktadır, Uzun süreli ölçümlerde sapma olmaması için laboratuvar ortamı periyodik ölçümlerle 19-22 °C sıcaklık ve % 42-48 nem aralıklarında tutulmaktadır.

5.6. Analizlerin Yapılması

Analizler için temin edilen örneklerde, Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan, mermer, granit ve diğer doğal taş türlerini (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) içeren örnekler olup, radyoaktivite tayinine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma bölgelerinden alınan örnekler, dış Gamma radyasyonunun etkilerini belirlemek amacıyla gamma spektrometrik sistemde incelenmişlerdir.

5.6.1. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Doğal Taş Türlerinin Gamma Spektrometrik Analizi

Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan, mermer, granit ve diğer doğal taş örnekleri, (bazalt, bazaltik pomza, traverten, kuvarsit, kireçtaşı, kireç vb.) marinelli kaplarında bekletilerek denge durumuna ulaşmaları sağlandıktan sonra Gamma spektrometrik sistemde analizleri yapılmıştır. Örnekler Gamma spektrometre cihazında 50000 saniyelik sürelerle sayılmıştır, Daha önce yapılmış olan boş sayımlara karşılık gelen aktivite değerleri, örneklerin aktivite değerlerinden çıkartılarak net örnek aktivite konsantrasyonları bulunmuştur. Gamma spektrometresi sayım cihazından ileri gelen sayma hataları yaklaşık % 1-2 civarındadır.

Örneklerde bulunan, ^{238}U ve ^{232}Th ye ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonükitlerin bozunum ürünleri olan doğal radyonükitlerin Gamma piklerinden hareketle tayin edilebilmektedir. ^{238}U 'e ilişkin radyoaktivite konsantrasyonu belirlenirken bozunum serisi içinde yer alan ^{214}Pb 'nin 351 keV ve ^{214}Bi 'nin 609 keV enerjili piklerinden yararlanılmıştır Her iki bozunum ürünü radyonüklide ait aktivite konsantrasyon değerlerinin ortalaması alınarak ^{238}U 'in aktivite konsantrasyonu bulunmuştur. ^{232}Th 'in radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken ise

bu serideki ^{208}Tl (583 keV) ve ^{228}Ac ' in (911 keV) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır. Ayrıca, örneklerde, ^{226}Ra 'nın 186 keV ve ^{40}K 'ın 1460 keV enerjilerdeki piklerinden yararlanılarak bu radyonüklitlere ilişkin radyoaktivite konsantrasyon değerleri de belirlenmiştir,

5.6.2. Radyoaktivite Tehlike İçeren, Doz ve Tehlike İndekslerinin Hesaplanmasına Yönelik Çalışmalar

İlk olarak, yüksek doğal radyasyon değerleri gösteren örneklerin, yapı malzemeleri olarak kullanımı ve uluslararası camiada neden bu kadar büyük bir öneme sahip olduğunu göstermek açısından, Avrupa Komisyonu'nun "Radiation Protection 112 (Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials), (1999)" raporunda değinilen önemli bilgilere göz atmak gerekir Bu raporu kısaca özetlersek;

Bütün yapı malzemeleri değişik miktarlarda doğal radyonüklitler içermektedir. Kayalardan ve topraktan elde edilen malzemeler genellikle Uranyum(^{238}U) ve Toryum (^{232}Th) serilerinin doğal radyonüklitleri ile Potasyum (^{40}K) radyoaktif izotopunu içermektedir. Uranyum serilerinde ^{226}Ra ile başlayan bozunma serisi önem arz ettiğinden, referanslar genellikle Uranyum yerine Radyuma yapılmaktadır. Dünya genelinde, toprak katmanlarındaki Radium, Toryum ve Potasyum konsantrasyonları sırasıyla 40 Bq/kg, 40 Bq/kg ve 400 Bq/kg'dır (EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999).

Yapı malzemelerindeki radyoaktivitenin kontrol amacı, maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin bu malzemeler nedeniyle artmasının önlenmesidir. Toplum üyelerinin alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulması esastır. Ancak, yapı malzemelerinin kullanım alanının genişliği nedeniyle bunlardan kaynaklanan radyasyonun tamamen önlenmesi mümkün değildir. Yapı malzemelerinden kaynaklanan radyasyon ışınlamasını, iç ve dış ışınlama olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Dış ışınlamaya doğrudan Gamma ışınlama sebep olmaktadır, iç ışınlamaya ise, Radon (^{222}Rn), Toron (^{220}Rn) ve bunların kısa ömürlü parçalanma ürünlerinin teneffüs edilmesi sebep olmaktadır (EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999).

İç Işınlamaya Karşı: 90/143/Euratom rumuzlu Avrupa Komisyonunun 21 Şubat 1990 tarihli "Evlerdeki Radon Işınlamalarına Karşı Halkın Korunması'na ilişkin Tavsiye Kararı'nda yeni ve eski binalar için ev içi radon. konsantrasyon limitleri, belirlenmiştir.

Bu seviyeler; eski binalar için 400 Bq/m^3 ve yeni binalar için radon konsantrasyonu tasarım seviyesi 200 Bq/m^3 dür. Dış Işınlamaya Karşı; Avrupa Komisyonu'nun raporunda yapı malzemelerinden kaynaklanan radyasyondan korunmak için 1 mSv/yıl gamma dozu sınırlaması getirilmektedir (EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999).

5.6.2.1. Aktivite Konsantrasyon İndeksi (I)

Bu çerçevede AB Ülkelerinde, 1 mSv üzerinde Gamma dozuna sebep olabilecek miktarda radyoaktivite içeren yapı malzemelerine izin verilmemektedir. Üye ülkelerin bir kısmı yapı malzemelerinin radyoaktivitesine ilişkin düzenlemeleri hazırlamış olup, yapı malzemelerinin Avrupa Birliği içindeki dolaşımının bir örnek kontrollerle sağlanması arzulanmaktadır.

Bu doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indeksi; C_{Ra}, C_{Th}, C_K sırasıyla radyum, toryum ve potasyum aktivite konsantrasyonları (Bq/kg) olmak üzere şu formülle hesaplanmaktadır (EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999):

$$I = C_{Ra} / 300 \text{ Bq/kg} + C_{Th} / 200 \text{ Bq/kg} + C_K / 3000 \text{ Bq/kg} \quad (5.4.)$$

Aktivite Konsantrasyon İndeksi (gamma index), I , kullanılan malzemeye göre, aşağıda verilen değerleri aşmamalıdır (Çizelge 5.4.).

Çizelge 5.4. Aktivite konsantrasyon indeksi limitleri

MALZEME	I
Çok kullanılan malzemeler (beton v.b.)	< 1
Yüzey malzemeleri veya kullanımı az olan malzemeler (kiremit, seramik, kaplama malzemeleri v.b.)	< 6

5.6.2.2. Temsili Aktivite Konsantrasyon İndeksi ($I_{\gamma T}$)

Temsili Aktivite Konsantrasyon İndeksi, $I_{\gamma T}$ (representative level index) ise, son yıllarda, tehlike düzeyi yüksek radyonüklid içeren, spesifik yapı malzemeleri (yüksek radyonüklid içeren spesifik yapı malzemeleri (mermer, granit, bazalt vb) için $I < 1$) için şu formülle hesaplanmaktadır (El-Arabi 2005; Higgy et al., 2000).

$$I_{\gamma T} = C_{Ra}/150 + C_{Th}/100 + C_K/1500 \text{ Bq/kg} \quad (5.5.)$$

Yapı malzemelerinde endüstriyel yan ürünler kullanılması durumunda nihai ürünün aktivite konsantrasyonun belirlenmesi gerekmektedir. Doz sınırlaması nihai ürüne uygulanmaktadır.

Yapı malzemelerinin kullanımının sınırlandırılması, yerel, hatta ulusal boyutta ekonomik, çevresel ve sosyal problemleri beraberinde getirebilmektedir. Bazı yöresel doğal yapı malzemelerinde yıllık 1 mSv doz sıralamasının aşıldığı görülebilmektedir.

Böyle durumlarda ekonomik ve sosyal maliyetler göz önüne alınarak kapsamlı bir fayda-maliyet değerlendirmesinin yapılması tavsiye edilmektedir (EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999).

5.6.2.3. Soğurulmuş Doz Hızı

Soğurulmuş doz hızı, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K (Bq/kg) doğal radyonüklidleri içeren malzemenin havada soğurduğu doz oranı olup harici ve dahili doz hız hesaplamaları (nGy h^{-1})(Gray), aşağıdaki formülle gösterilmiştir (UNSCEAR 2000; Veiga et al. 2006).

a-Harici soğurulmuş gamma doz hızı

$$D(\text{nGy h}^{-1}) = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K \quad (5.6.)$$

Bu doz hızı dış ortamlar (kum ocakları, toprak, mermer ocakları, kaya, vb.) için hesaplanır,

b-Dâhili soğurulmuş gamma doz hızı

$$D(\text{nGyh}^{-1})=0,92C_{\text{Ra}}+1.1C_{\text{Th}}+0.080C_{\text{K}} \quad (5.7.)$$

Bu doz hızı iç ortamlarda kullanılan yapı malzemeleri (mermer, beton, çimento, kum, briket, tuğla, vb.) için hesaplanır.

Toplanan örnekler üzerinde yapılan hesaplamalarda, referans alınan sınır harici soğurulmuş doz hızı değeri, UNSCEAR 1993 (Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi Raporları) raporlarında belirlenen sınır, ortalama 55 nGyh⁻¹'lik değer olup, dünyada 28 ila 120 nGyh⁻¹'lik alt ve üst limitler arasında kabul edilebilir değerler olarak belirlenmiştir (UNSCEAR 1993). Dahili soğurulmuş doz hızı sınır değeri, ise 84 nGyh⁻¹'dir.

5.6.2.4. Etkin Doz Hızı

Etkin doz hızı hesaplamaları için ilk önce havadaki soğurulmuş doz hızından yıllık etkin doz hızına dönüştürücü, bir katsayı (0.7 Sv Gy⁻¹) , dış veya iç ışınlanmaya göre dış faktör katsayısı (0.2)-iç faktör katsayısı (0.8) ve mSv için düzeltme katsayısı (10⁻⁶) kullanılması gerekmektedir (UNSCEAR (2000). Yang ve ark. (2005)'nin formülize ettiği etkin doz hızı, aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Harici Etkin Doz Hızı (mSv/yıl)} = D \times 365,85 \times 24 \times 0,2 \times 0,7 \times 10^{-6} \quad (5.8)$$

Bu doz hızı dış ortamlar (kum ocakları, toprak, mermer ocakları, kaya, vb.) için hesaplanır

$$\text{Dahili Etkin Doz Hızı (mSv/yıl)} = D \times 365,85 \times 24 \times 0,8 \times 0,7 \times 10^{-6} \quad (5.9)$$

Bu doz hızı iç ortamlarda kullanılan yapı malzemeleri (mermer, beton, çimento, kum, briket, tuğla, vb.) için hesaplanır.

Ayrıca, normal şartlar altında, yıllık alınması gereken limit harici etkin doz hızı ortalama 0.46 mSv/yıl olup, dahili etkin doz hızı ise ortalama 1 mSv/yıl olarak belirtilmiştir (UNSCEAR 1993; Yang et al. 2005).

5.6.2.5. Eşdeğer Radyum Aktivite Değeri (Ra_{eq})

²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K (Bq/kg) doğal radyonüklidleri içeren malzemenin genel

olarak bir radyasyon konsantrasyon indeksini oluşturmak ve kıyaslamak için toplam radyoaktiviteleri içeren eşdeğer radyum aktivite değeri (Ra_{eq}) 'ni hesaplamak gerekir (Beretka and Mathew, 1985);

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.077 C_K \quad (5.10.)$$

Dünyada yapıtaşları olarak kullanılan doğal taşlarda kabul edilen limit değeri ise 370 Bq/kg 'dır.

5.6.2.6. Dış Tehlike İndeksi (H_{ex})

Krieger (1981) ve Amrani ve Tahtat (2001), yaptıkları çalışmalarda, kalın duvarlar içeren kapı ve penceresi bulunmayan açık hava ile temas eden yerlerde, yapı malzemelerinden kaynaklanan radyasyon tehlikesinin bir modellemesini yapmışlardır. Bu modelleme kriteri dış tehlike indeksi (H_{ex}) olarak adlandırılır ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4.810 \leq 1 \quad (5.11.)$$

formülü ile gösterilir. Dünyada kabul gören H_{ex} değeri, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K (Bq/kg) doğal radyonüklidleri içeren yapıtaşlarından yapılmış malzemelerde, 1 den küçük olmalıdır.

5.6.2.7. İç Tehlike İndeksi (H_{in})

Radyoaktif olup iç organlara zarar verebilen en tehlikeli gazlardan biri de ^{226}Ra 'nın çok kısa sürede yarılanma ömrüyle oluşan radon (^{222}Rn)' dur. Krieger (1981), Beretka ve Matthew (1985) ve Iqbal ve ark. (2000), kapalı ortamlar için, ^{226}Ra 'nın Kabul edilebilir konsantrasyon limitlerini hesaplamışlardır. Bu kriteri ise iç tehlike indeksi (H_{in}) adı verilmiştir.

$$H_{in} = C_{Ra}/185 + C_{Th}/259 + C_K/4.810 \leq 1 \quad (5.12.)$$

Yaşayan canlılar için, dünyada kabul edilen H_{in} değeri, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K (Bq/kg) doğal radyonüklidleri içeren yapıtaşlarından yapılmış, yerleşim birimleri veya ikametgahlar için, 1 den küçük olmalıdır (Iqbal ve ark., 2000).

5.6.3. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Doğal Taş Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analizleri

Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan örnekler, TAEK-SANAEM (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu- Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi) laboratuvarlarına gönderildikten sonra gamma spektroskopi ölçümleri yapılmış ve içerdikleri kimyasal özellikler, mineraller ve birbirleri ile dokusal ve bileşimsel ilişkileri, X-ışınları flüoresansından yararlanma (XRF), X-ışınları difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) teknikleriyle incelenmiştir.

Örneklerden doğal radyasyon seviyesi bakımından aykırılık gösteren örnekler, yine TAEK-SANAEM kimyasal analiz laboratuvarlarında XRD ve XRF ölçümüne tabii tutulmuş, bu yolla anomali gösteren örneklerin, mineralojik özelliklerinden faydalanılarak, hangi mineral veya mineral gurubunun, doğal radyasyon seviyesini etkilediğinin bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca, Hacettepe Üniversitesi ile bağlantı kurularak, yine mineral tayini ile ilgili EDS grafikleri çekilmiştir. Ayrıca, doğal radyasyona sebep olabileceği düşünülen ve radyasyon miktarı aykırılık gösteren örneklerdeki, mineral guruplarının gözle görülür hale gelebilmesi için SEM fotoğrafları da çekilmiştir. Bu çalışmalara ilişkin örnekler, araştırma sonuçlarını içen bölümde ayrıntılı olarak verilecektir.

5.6.3.1. Kimyasal Analiz (XRF)

Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan doğal taş örneklerinden blok parçalar alınarak doğaltaş türlerinin kompozisyonunu belirlemek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Alınan örneklerin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak yapılmıştır. X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıyla veya atomun iç orbitallerindeki elektronların elektronik geçişleri ile oluşturulan kısa dalga boylu elektromanyetik ışınlardır. X-ışınlarının dalga boyu aralığı yaklaşık 10^{-5} Å'dan 100 Å'ya kadardır. Ancak klasik X-ışınları spektroskopisi yaklaşık 0.1 Å ile 25 Å ($1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$) arasındaki bölgeyi kapsamaktadır (Jenkis ve ark., 1995).

5.6.3.2. Kalitatif ve Yarı Kantitatif Analiz (XRD)

X-ışını tüpünden elde edilen ışınlı uyarılan hiçbir ön işleme uğramamış numune daha sonra analiz bitince tekrar eski halinde değişmeksizin kalmaktadır. Dalga boyu ayırmalı cihazlarda yatay eksen genellikle 2θ cinsinden verilmekte olup, bu değer monokromatörün kristal açıklığı (tabaklar arası mesafe) bilindiği takdirde kolaylıkla dalga boyuna çevrilebilmektedir. Ardından elementlerin emisyon çizgilerini içeren çizelgedeki değerlerle karşılaştırılarak pikler belirlenmektedir (Skoog ve ark., 1998).

5.6.3.3. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS)

Taramalı elektron mikroskopta, katı numune yüzeyi raster düzeninde yüksek enerjili bir elektron demeti ile taranmaktadır. Bu teknikte yüzeyden çeşitli sinyaller oluşturulmaktadır. Bunlar geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlar, Auger elektronları, X-ışını floresans fotonları ve değişik enerjili diğer fotonlardır. Bütün bu sinyaller yüzey çalışmalarında kullanılmış olmakla birlikte bunların içinde en yaygın olan iki tanesi taramalı elektron mikroskopisinin temelini oluşturan geri saçılmış ve ikincil elektronlar ve elektron mikroprob analizde kullanılan X-ışını emisyonudur (Skoog ve ark., 1998).

Enerji dağılım spektrometre yöntemi ise taramalı elektron mikroskop yönteminin bir başka türü olup, aynı zamanda kimyasal element verilerini, örnek üzerinde seçilen noktalardan, yansıyan foton enerji seviyeleri vasıtasıyla belirlemektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu doktora tezinde, Türkiye’de bulunan ve 16 farklı yöresine ait, 35 mermer, 7 granit, 5 bazalt, 1 traverten türü ile ayrıca Doğu Akdeniz Bölgesi’ne endüstriyel hammadde sağlayan ve yapıtaşı olarak çeşitli sektörlerde kullanılan 2 kireçtaşı ocağı, 1 kuvarsit ocağı ve 2 kireç ocağı bölgesine ait numunelerin, gamma spektrometre yöntemiyle doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi (yapıtaşlarında bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ürün radyonüklitlerinin ve ^{40}K radyoizotopunun özgün aktivite derişimleri) hedeflenmiştir.

Her bir yöreye ait, her farklı tip doğal taş türünden, ocağı karakteristik olarak temsil etmesi yüzünden, 5 ila 10 adet arasında değişen numuneler alınmaya çalışılmış ve bu amaçla bir dizi işlem ve deney yapılmıştır. İşlem gören numune cinsi, tüm numuneler için, yaklaşık 500 adede ulaştığından, sağlıklı bir sonuca ulaşmak için, aynı tür doğaltaşa ait numunelerin, analiz değerleri ortalamaları alınmış ve bu değerler, bu bölümde hesaplanacak verilere temel oluşturmuştur.

Analizi yapılan her bir doğal taş türü’nden elde edilen verilerden hesaplanan (iç ve dış tehlike indeksleri ile aktivite konsantrasyon indekslerinden), uluslararası komisyonlar tarafından kabul edilen limitlere (UNSCEAR, Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi Raporları) aykırılık gösterenler, ayrıca kimyasal ve mineralojik analizlere tabii tutulmuş ve bu aykırılık gösteren değerlerin hangi nedenden ötürü yüksek olduğu yerbilimleri açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır.

6.1. Radyoaktivite Analizlerinden Elde Edilen Bulgular**6.2. Mermer Türleri**

Analizlerde, ülkemizde sıkça kullanılan ve yörelerini temsil edebilecek mermer türleriyle çalışılmasına dikkat edilmekle beraber, temin edilen mermer türlerinin olabildiğince, Türkiye'nin farklı bölgelerinde olmasına çalışılmıştır. Türkiye'nin mermerce zengin bölgeleri genelde Batı Anadolu olduğundan, çalışılan mermerlerin önemli bir kısmı Batı Anadolu bölgesine aittir.

Ayrıca, Türkiye'nin mermerce zengin diğer bölgelerindeki mermerler de araştırmaya dahil edilmiştir (Çizelge 6.1.).

Çizelge 6.1. Analizlerde kullanılan mermer türleri

DOĞAL TAŞ TÜRÜ	DOĞALTAŞ ADI	BULUNDUĞU YER
Mermer	Afyon-Beyaz 1	Afyon-İşçehisar
Mermer	Afyon Beyaz 2	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Beyaz 3	Afyon-İşçehisar
Mermer	Afyon Beyaz 4	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Beyaz 5	Afyon-İşçehisar
Mermer	Afyon Kaplan postu 1	Afyon-İşçehisar
Mermer	Afyon Kaplanpostu 2	Afyon-İşçehisar
Mermer	Afyon Damarlı 1	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Damarlı 2	Afyon-Karahisar
Mermer	Afyon Mermeri	Afyon-İşçehisar
Mermer	Aydın-Yaykın Kristal	Aydın-Yaykın
Mermer	Aydın-Yaykın Dolomit	Aydın-Yaykın
Mermer	Aydın Siyah	Aydın
Mermer	Bilecik Pembe	Bilecik
Mermer	Bilecik Gülkurusu	Bilecik
Mermer	Denizli Krem	Denizli
Mermer	Denizli Kahve	Denizli
Mermer	Denizli Pembe	Denizli
Mermer	Diyarbakır Bej 1	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır Bej 2	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır- Bej 3	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır-Şaklat-Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır Damarlı-Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır-Lice Bej	Diyarbakır
Mermer	Diyarbakır- Lice-Kırmızı Damarlı	Diyarbakır
Mermer	Elazığ Vişne	Elazığ
Mermer	Elazığ Gülkurusu 1	Elazığ
Mermer	Elazığ Gülkurusu 2	Elazığ
Mermer	Hatay Bej	Hatay
Mermer	Hatay Beyaz	Hatay
Mermer	İstanbul Sarı Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	İstanbul Açık Yeşil Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	İstanbul Beyaz Seden Karağaçlı Mevki	İstanbul
Mermer	Nevşehir –Kapadokya Kahve	Nevşehir
Mermer	Nevşehir –Kapadokya Bej Mermer	Nevşehir

Bu amaçla doğu ve güney bölgelerine ait, mermer türlerine ait örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve genel olarak toplam 35 farklı mermer türü üzerinde testler uygulanmıştır.

Çalışılan mermer türlerinin her birinin doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türlere ait, kimyasal ve petrografik özellikler içeren gerekli bilgiler ve yorumlar alt bölümlerde ayrı ayrı anlatılmaktadır.

6.2.1. Analizlerde Kullanılan Mermer Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri

Gamma spektrometrik analizleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)-SANAEM Nükleer Araştırma Merkezi'nde, bir süre radyoaktif dengeye gelmeleri için, darası alınmış ve numaralandırılmış marinelli sayım kaplarında bekletilmelerinin ardından, Canberra 767 tip, gamma spektrometre cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, her bir mermer türü için yukarıda da belirtildiği gibi, TAEK tarafından öngörülen miktarlar olan, 5 ila 10 adet, 500-1000 gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu numunelerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Ölçümler sonucunda, mermer numunelerinin içerdiği, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonlarının ortalama değerleri, (Bq/kg) cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca, bu aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak, Ra_{eq} değerleri, bulunmuştur. Deneyde kullanılan mermerlerin yerleşim yerlerinde yapıtaşı olarak kullanılacağı da varsayılarak dahili ve harici soğurulmuş doz ve etkin doz hızları, tehlike indeksleri (H_{ex} ve H_{in}), temsili aktivite konsantrasyon (I_{vr}) indeksleri de belirlenmiştir.

İlgili radyonüklid ölçüm sonuçları, doz hızları ve indeks hesaplamaları Çizelge 6.2. de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.2.Analizleri yapılan mermer türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri

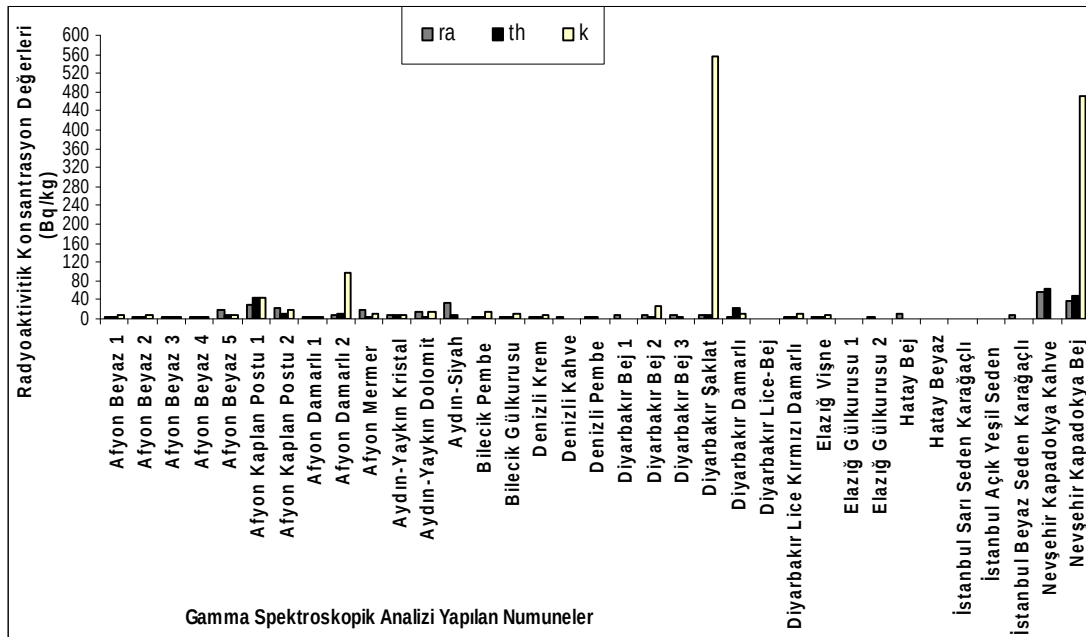
Mermer Türü	Radyasyon Aktivite Ortalama Değerleri (Bq /kg)			Ra _{eq} (Bq /kg)	H _{ex}	H _{in}	I _{yr}	Soğurulmuş Doz Hızı (nGy h ⁻¹)		Etkin Doz Hızı (mSv/y)	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					Dahili	Harici	Dahili	Harici
Afyon Beyaz 1	2.41	3.48	5.78	7.83	0.02	0.03	0.05	6.5	3.5	0.032	0.004
Afyon Beyaz 2	3.14	3.92	5.90	9.20	0.03	0.03	0.06	7.7	4.1	0.038	0.005
Afyon Beyaz 3	2.32	2.97	5.02	6.96	0.02	0.03	0.05	5.8	3.1	0.029	0.004
Afyon Beyaz 4	1.93	2.14	4.70	5.35	0.01	0.02	0.04	4.5	2.4	0.022	0.003
Afyon Beyaz 5	19.10	8.75	7.00	32.16	0.09	0.14	0.22	27.8	14.4	0.136	0.012
Afyon Kaplan Postu 1	29.80	43.60	46.90	95.76	0.26	0.34	0.67	79.1	42.1	0.389	0.051
Afyon Kaplan Postu 2	22.40	11.70	20.12	40.69	0.11	0.17	0.28	35.1	18.3	0.173	0.022
Afyon Damarlı 1	2.40	2.11	3.75	5.71	0.02	0.02	0.04	4.8	2.5	0.023	0.003
Afyon Damarlı 2	6.00	12.00	99.40	30.81	0.08	0.10	0.23	26.7	14.1	0.131	0.017
Afyon Mermer	19.50	4.6	12.50	27.04	0.07	0.12	0.18	24	12.3	0.118	0.015
Aydın-Yaykın Kristal	7.40	6.01	8.08	16.61	0.04	0.06	0.11	14.1	7.4	0.069	0.009
Aydın-Yaykın Dolomit	16.30	3.07	13.50	21.72	0.06	0.10	0.15	19.5	9.9	0.096	0.012
Aydın-Siyah	32.40	6.8	MDA	42.12	0.11	0.20	0.28	37.3	19.1	0.183	0.023
Bilecik Pembe	3.30	2.60	15.40	8.20	0.02	0.03	0.06	7.1	3.7	0.035	0.005
Bilecik Gülkurusu	3.70	3.00	10.00	8.76	0.02	0.03	0.06	7.5	3.9	0.037	0.005
Denizli Krem	5.60	3.80	6.5	11.53	0.03	0.05	0.08	9.9	5.2	0.048	0.006
Denizli Kahve	2.40	MDA	MDA	2.40	0.01	0.01	0.02	2.2	1.1	0.011	0.001
Denizli Pembe	2.00	2.21	MDA	5.16	0.01	0.02	0.04	4.3	2.3	0.021	0.003
Diyarbakır Bej 1	6.80	MDA	MDA	6.80	0.02	0.04	0.05	6.3	3.1	0.030	0.004
Diyarbakır Bej 2	8.80	2.00	28.00	13.81	0.04	0.06	0.10	12.6	6.4	0.062	0.008
Diyarbakır Bej 3	6.30	2.21	MDA	9.46	0.03	0.04	0.06	8.2	4.2	0.040	0.005
Diyarbakır Şaklat	7.02	9.20	556.5	63.03	0.17	0.19	0.51	61.1	32.0	0.300	0.039
Diyarbakır Damarlı	2.04	22.09	12.07	34.56	0.09	0.01	0.24	27.1	14.8	0.133	0.018
Diyarbakır Lice-Bej	1.80	MDA	MDA	1.80	0.01	0.01	0.01	1.7	0.8	0.008	0.001
Diyarbakır Lice Kırmızı Damarlı	5.10	1.90	10.40	8.62	0.02	0.04	0.06	7.6	3.9	0.037	0.004
Elazığ Vişne	4.20	2.60	9.00	8.61	0.02	0.03	0.06	7.4	3.9	0.036	0.005
Elazığ Gülkurusu 1	MDA	MDA	MDA	0	0	0	0	0	0	0	0
Elazığ Gülkurusu 2	3.60	1.80	MDA	6.17	0.02	0.03	0.04	5.3	2.8	0.026	0.003
Hatay Bej	11.60	1.30	MDA	13.46	0.04	0.07	0.09	12.1	6.1	0.059	0.007
Hatay Beyaz	MDA	MDA	MDA	0	0	0	0	0	0	0	0
İstanbul Sarı Seden Karağaçlı Mevki	MDA	MDA	MDA	0	0	0	0	0	0	0	0
İstanbul Açık Yeşil Seden Karağaçlı Mevki	MDA	MDA	MDA	0	0	0	0	0	0	0	0
İstanbul Beyaz Seden Karağaçlı Mevki	5.80	MDA	MDA	5.80	0.02	0.03	0.04	5.3	2.7	0.026	0.003
Nevşehir Kapadokya Kahve	55.30	63.70	MDA	146.39	0.40	0.54	1.01	120.9	64.0	0.594	0.078
Nevşehir Kapadokya Bej	38.40	48.10	473	143.60	0.39	0.50	1.05	126.1	66.5	0.619	0.081

Not: MDA (Minimum Detectible Activity) değerleri sayım süresine bağlı olarak ²²⁶Ra için 2,7 Bq/kg ila 4,2 Bq/kg arasında, ²³²Th için 2,5 Bq/kg ila 4,7 Bq/kg arasında, ⁴⁰K için 7,3 Bq/kg ila 14,8 Bq/kg arasında arasında değişmektedir.

35 mermer türüne ait radyasyon aktivite değerleri, genelde mermerler için dünyada kabul edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K için 40, 40, 400 Bq/kg ve Ra_{eq} için 370 Bq/kg ile kıyaslanmıştır.

Yapılan gözlemlerde sırasıyla, Afyon Kaplan Postu 1, Afyon Kaplan Postu 2 ve Aydın-Siyah türü mermerlerde 22.40 dan 32.40 Bq/kg'a değişen ^{226}Ra değerleri ile 6.8 ila 43.60 Bq/kg'a değişen ^{232}Th değerleri tespit edilmiş, Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej türü mermerlerde ise kabul edilen değerlerin üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.1.).

Bu iki tür mermerde ^{226}Ra değerleri, Nevşehir Kapadokya Kahve için 55.30, Nevşehir Kapadokya Bej için 38.40 Bq/kg ^{232}Th için ise sırasıyla Nevşehir Kapadokya Kahve için 63.70, Nevşehir Kapadokya Bej için 48.10 Bq/kg'dır. ^{40}K değerlerinde ise en yüksek değerler 556.5 Bq/kg ile Diyarbakır Şaklat türü mermerde ve 473 Bq/kg ile Nevşehir Kapadokya Bej mermerinde bulunmuştur (Şekil 6.1).

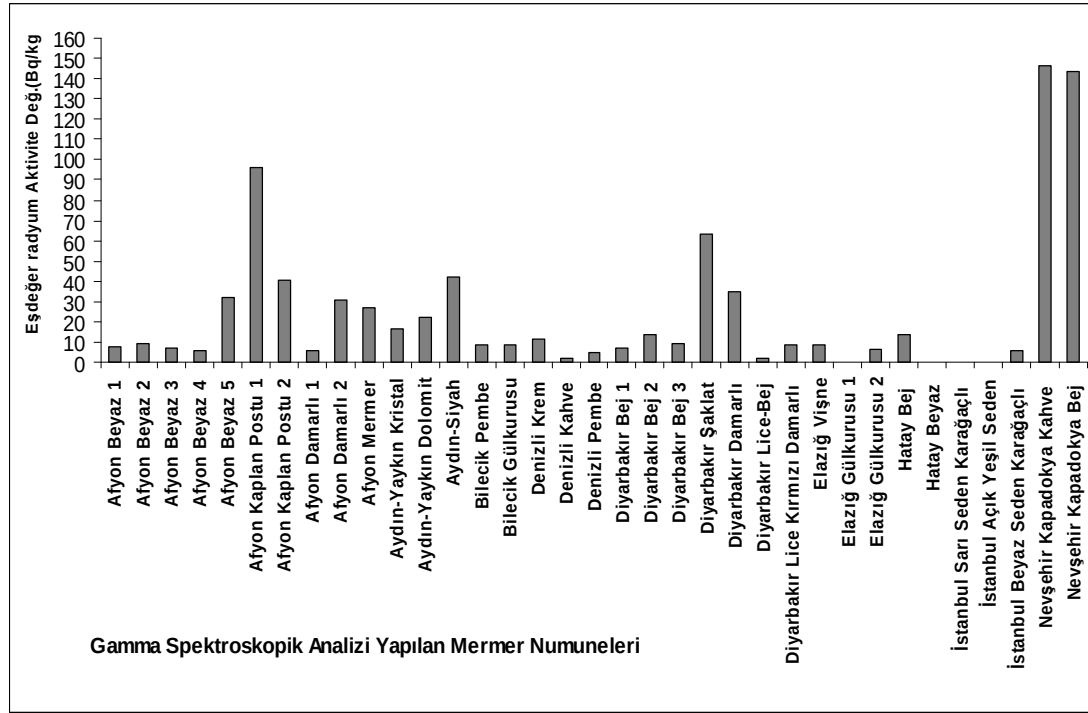


Şekil 6.1. 35 mermer türüne ait radyasyon aktivite değerleri (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K)

Bu iki değer de ^{40}K için dünyada kabul gören limit değer 400 Bq/kg'ın üzerindedir.

Ra_{eq} ise en yüksek değerler sırasıyla Nevşehir Kapadokya Kahve için 146.39 Bq/kg, Nevşehir Kapadokya Bej için 143.60 Bq/kg ve Afyon Kaplan Postu 1 için

95.76 Bq/kg ölçülmüştür. Bu 3 değer de dünyada kabul gören 370 Bq/kg'ın altında kalmıştır (Şekil 6.2).

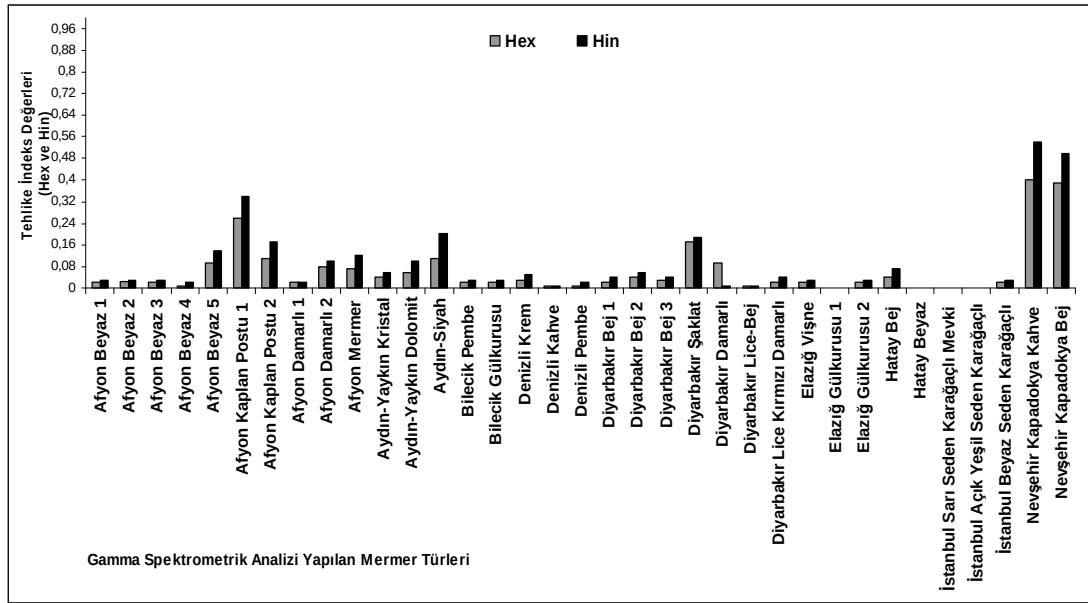


Şekil 6.2. 35 Mermer türüne ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri

Bulunan radyonüklid konsantrasyon değerlerinden, analizi yapılan mermer türlerinin yerleşim birimlerinde, iç ve dış kaplama malzemesi ya da başka amaçlı kullanımlarının uygun olup olmadığı ile ilgili harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indekslerinin de hesaplanması gerekir. 35 mermer türüne ait en yüksek H_{ex} , sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Kahve için 0.40, Nevşehir Kapadokya Bej için 0.39 bulunmuştur. Ayrıca, Afyon Kaplan Postu 1, mermerinde de diğer mermerlerden farklı bir değer olan 0.26 değeri ölçülmüştür. Bu 3 H_{ex} değeri de uluslararası kabul gören 1 'den küçüktür. H_{in} indeksinde ise aynı durum söz konusu olmakla beraber, sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Kahve için 0.54, Nevşehir Kapadokya Bej için 0.50 bulunmuştur. Ayrıca, Afyon Kaplan Postu 1, mermerinde de diğer mermerlerden farklı bir değer olan 0.34 değeri ölçülmüştür (Şekil 6.3.).

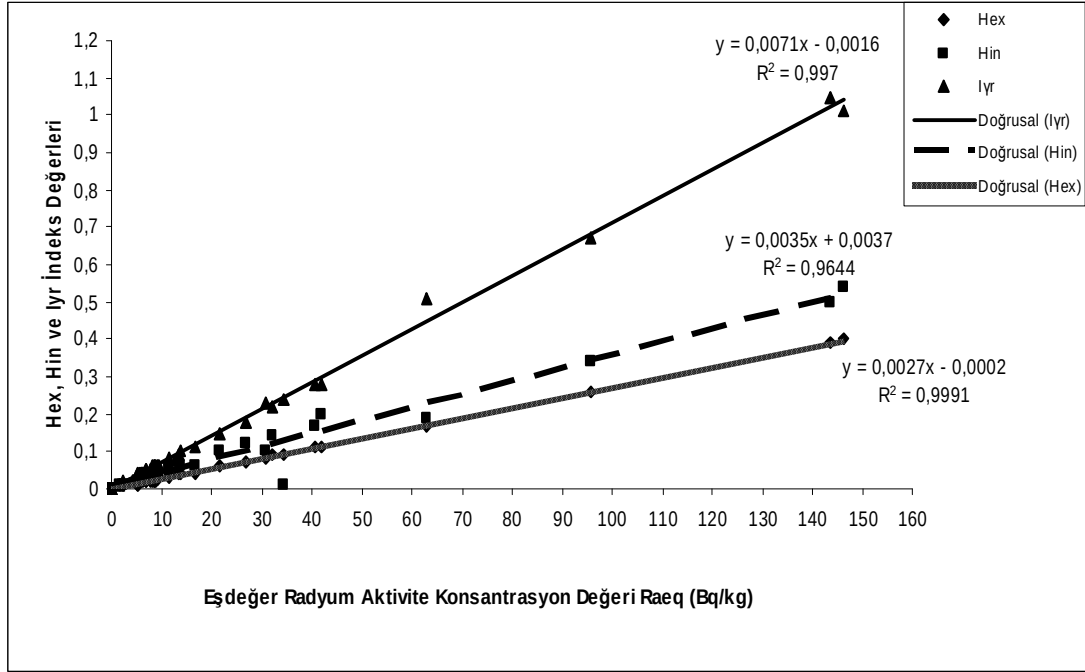
Aktivite konsantrasyon (I_{vr}), ise tüm mermer türlerinde, ölçülmüş, ve Nevşehir Kapadokya Kahve için 1.01, Nevşehir Kapadokya Bej için 1.05

bulunmuştur. Afyon Kaplan Postu 1 ve Diyarbakır Şaklat mermerinde aktivite konsantrasyon değerleri, 0.67 ve 0.51'dir. Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej mermerleri, limit değer olan yıllık 1mSv, doz oranını aştığı görülmektedir. Başka bir nokta ise Şekil 6.4 'de yapılan regresyon analizi sonucunda R_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma T}$ değerleri arasında lineer ve kuvvetli bir orantının olduğu yönündedir (H_{ex} - R_{eq} için $R^2=0.99$, H_{in} - R_{eq} için $R^2=0.96$ ve $I_{\gamma T}$ - R_{eq} için $R^2=0.99$).



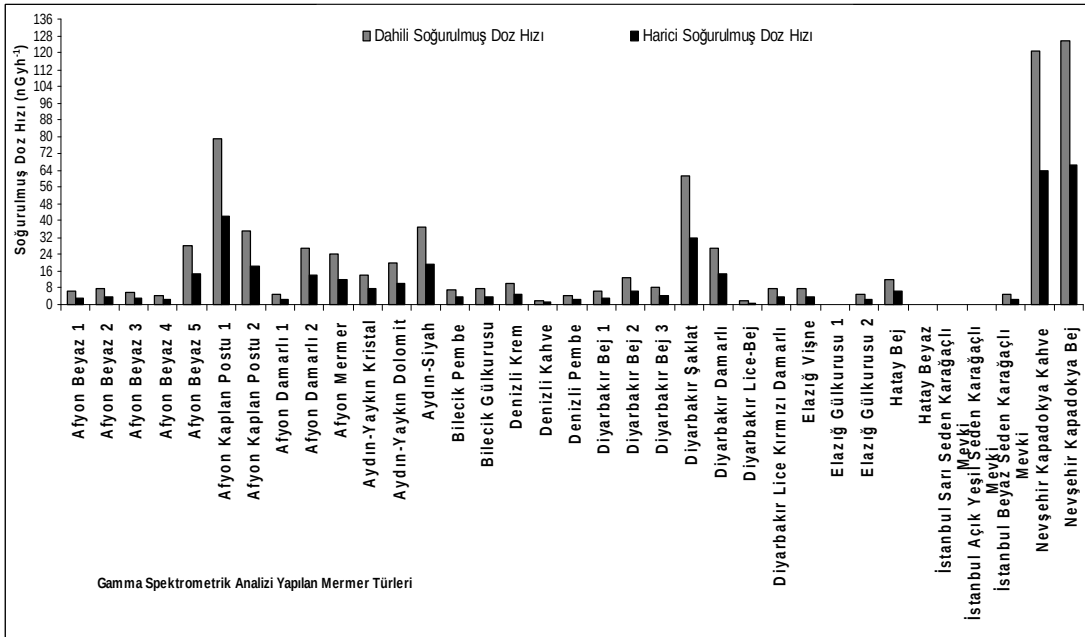
Şekil 6.3. Analizi yapılan mermer türlerine ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indeksleri

Mermerlerin dahili ve harici soğurulmuş doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; dahili soğurulmuş doz hızında, limit değer olan 84 nGyh^{-1} 'ı aşan türler belirlenmiştir. Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Bej, 126.1 ; Nevşehir Kapadokya Kahve, 120.9 ; Afyon Kaplan Postu 1, 79.1 ve Diyarbakır Şaklat 61.1 nGyh^{-1} 'dir. Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej mermerleri, limit değerlerin üzerindedir. Harici soğurulmuş doz hızında ise, sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Bej, 66.5 ; Nevşehir Kapadokya Kahve, 64.0 ; Afyon Kaplan Postu 1, 42.1 ve Diyarbakır Şaklat, mermerleri, 32.0 nGyh^{-1} 'dir



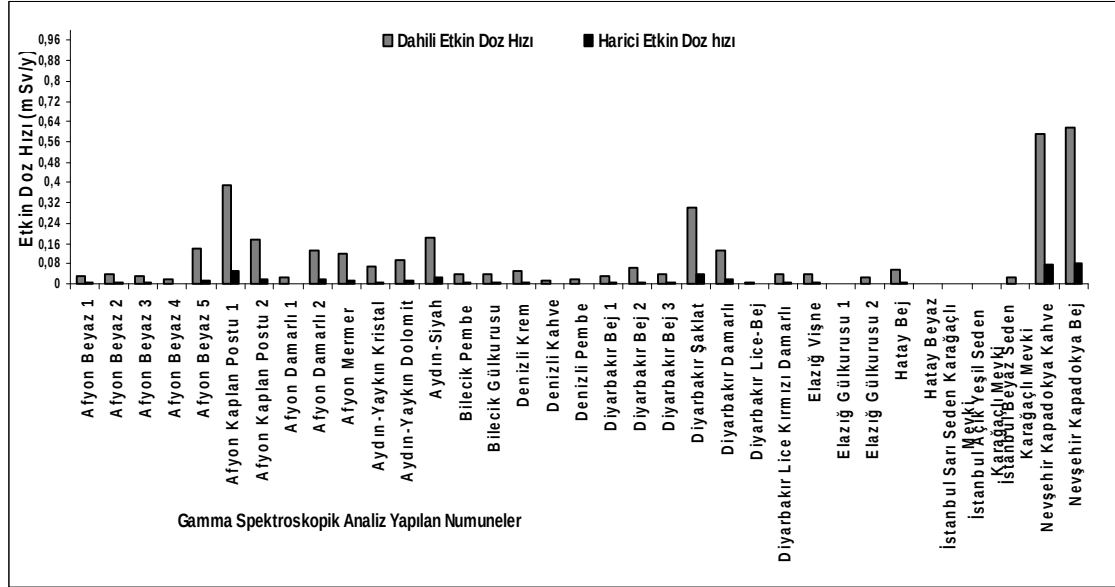
Şekil 6.4. Ra_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon

Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej mermerleri, limit değer olan $55 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 'in üzerindedir (Şekil 6.5.).



Şekil 6.5. Analizi yapılan mermer türlerine ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri

35 ayrı tür mermerin en son olarak dahili ve harici etkin doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; dahili etkin doz hızında, yıllık limit değer olan 1mSv'ı aşan türler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 6.6.).



Şekil 6.6. Analizi yapılan mermer türlerine ait dahili ve harici etkin doz değerleri

Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Bej, 0.62; Nevşehir Kapadokya Kahve, 0.60; Afyon Kaplan Postu 1, 0.39 ve Diyarbakır Şaklat mermerin de, 0.30 mSv/y'dır. Harici etkin doz hızında ise, sırasıyla, Nevşehir Kapadokya Bej, 0.081; Nevşehir Kapadokya Kahve, 0.078; Afyon Kaplan Postu 1, 0.051 ve Diyarbakır Şaklat, mermerleri, 0.039 mSv/y'dır. Tüm mermerler, harici etkin doz hızı limit değeri olan 0.46 mSv/yıl'ın altındadır.

6.2.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Mermer Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması

Analizleri yapılan mermer türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indekslerine göre, 5 adet mermer türünde, diğer analiz yapılan mermer türlerine göre, genel ortalama değerlerin üstünde veriler saptanmıştır. Bu listeleme türü, yöresel lokasyonlar da gözetilerek belirlenmiştir. Bunlar, liste sırasına göre, Afyon Kaplan Postu 1, Aydın-

Siyah , Diyarbakır Şaklat, Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej türü mermerlerdir.

Bu mermerlerin radyasyon aktivite değerlerinin hangi nedenle yüksek değerler içerdiğini saptamak amacıyla, mineralojik-petrografik yapılarını belirlemek, mineral ve mineral kompozisyonlarını incelemek gerekmektedir. Bu amaçla anomali gösteren mermer türlerinin yine TAEK-SANAEM’de XRF ve EDS’leri çekilmiştir. Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4. de radyoaktif anomali gösteren Nevşehir Kapadokya Bej ve Afyon Kaplan Postu 1 türü mermerlerin XRF(kimyasal analiz) değerleri ve Şekil 6.7. ve Şekil 6.8. de ise yine aynı mermer türlerine ait EDS’ler gösterilmiştir.

Doğal taş türlerinde radyoaktif minerallerin tayinine yardımcı olacak petrografik ve mineralojik bilgiler, 4. bölümde verilmişti. Bu bilgilere dayanarak, Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4.’deki kimyasal analiz değerlerinden aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkün olacaktır. Bu değerlendirmeler yapılırken, koyu renkte yazılmış mermer türleri, mineral türleri ve elementler, aşırı anomali gösteren mermerlere ait olup, başında *, ibaresi bulunan mermerler ise aynı yöreden fakat düşük radyoaktivite değerleri içeren örneklerden toparlanmıştır. Bu amaçla hangi mineral gruplarının ve elementlerin radyasyona neden olduğu gözle görülebilecektir.

Afyon Kaplan Postu 1 türü mermerde, elde edilen kimyasal veriler ışığında, bu mermerdeki doğal radyasyona, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları yüksek değerler itibariyle mümkündür. Bu bileşiklerdeki minerallerin, mermerlerde görülen, Zirkon ($Zr(SiO_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2), hematit (Fe_2O_3) ve allanit ($(Ca, Ce, Y, La, Th)_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$) (Şekil 6.9.) tali mineral gruplarının olması Heinrich (1958)’in kuramına uygundur. Ayrıca, kayalarda radyoaktiviteye neden olan Ce (seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkonyum), Nb (niyobyum) elementleri ve nadiren Mn (mangan) da bu mermer türünün radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır. Afyon kaplan Postu 2 türü mermer verileriyle, bu verilerin farklılığı görülebilir.

Aydın Siyah türü mermerde ise, radyoaktivite de belirleyici unsurlar, K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 mineral gruplarıyla, Th (toryum) ve U (uranyum) elementleridir. 321ppm’lik Sr (stronsiyum) değeri de göz önünde tutulmalıdır.

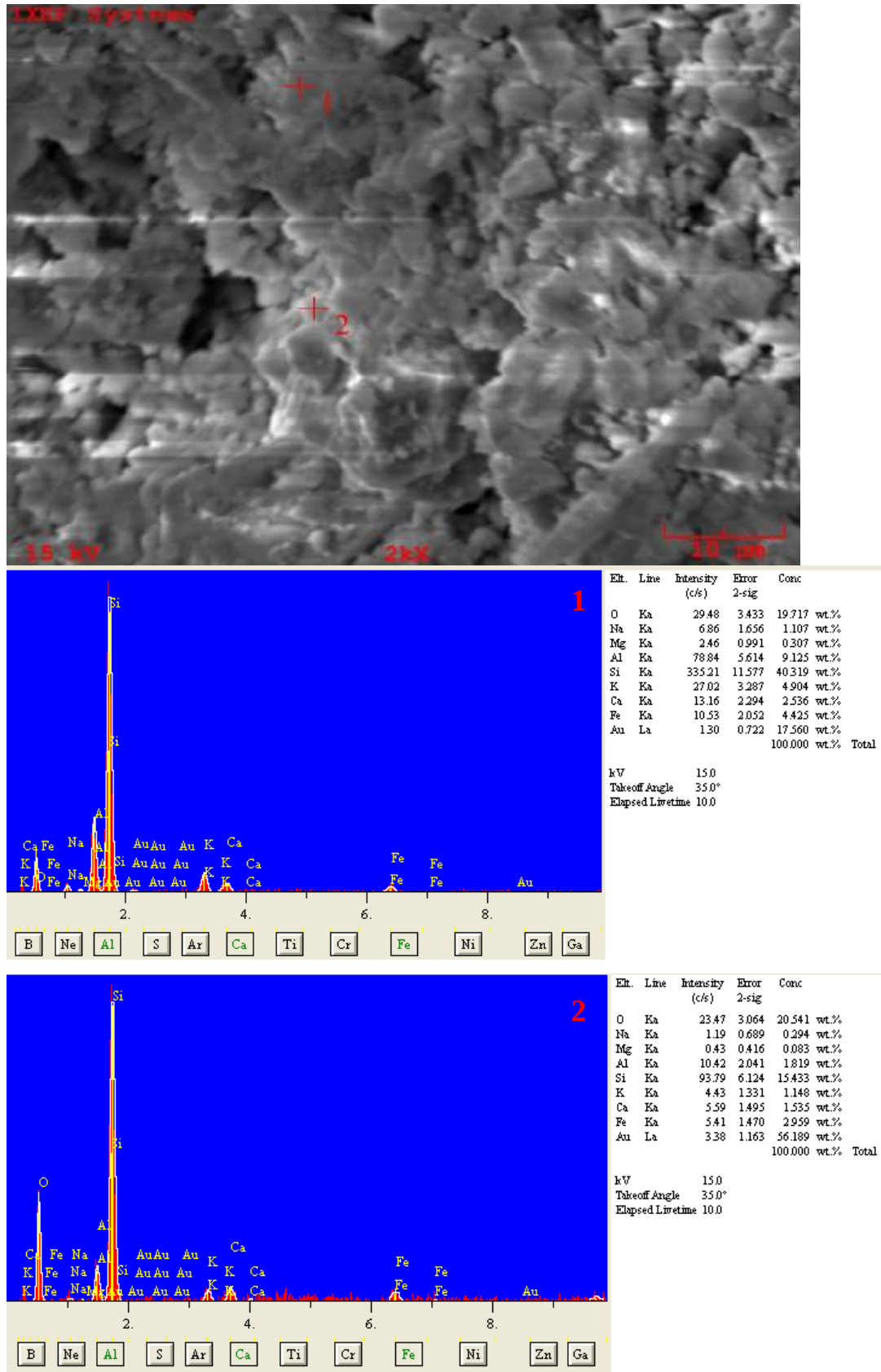
Çizelge 6.3. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren mermer türlerine ait kimyasal analiz sonuçları

Mermer Türü	Kimyasal Analiz Değerleri (XRF) (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	SO ₃
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti	S
*Afyon Beyaz 1		62.10	0.20	0.05	0.45	0.05	0.02		0.09	0.25
Afyon Kaplan Postu 1	11.90	16.50	4.37	1.48	2.52	1.05	0.08	40.80	0.64	0.29
*Aydın Yaygın Kristal		62.20	0.20	0.04	0.51	0.05	0.02		0.09	
Aydın Siyah		61.30	0.17	0.04	0.87	0.11	0.01		0.07	
*Diyarbakır Bej 1	0.17	60.90	0.22	0.15	0.76	0.09	0.16		0.11	
Diyarbakır Şaklat		60.90	0.27	0.05	0.70	0.09	0.08		0.10	
Nevşehir Kapadokya Kahve	12.10	2.22	3.06	2.35		3.02	0.13	59.50	0.58	
Nevşehir Kapadokya Bej	12.90	3.77	4.94	1.50	0.42	3.42	0.18	58.50	0.89	

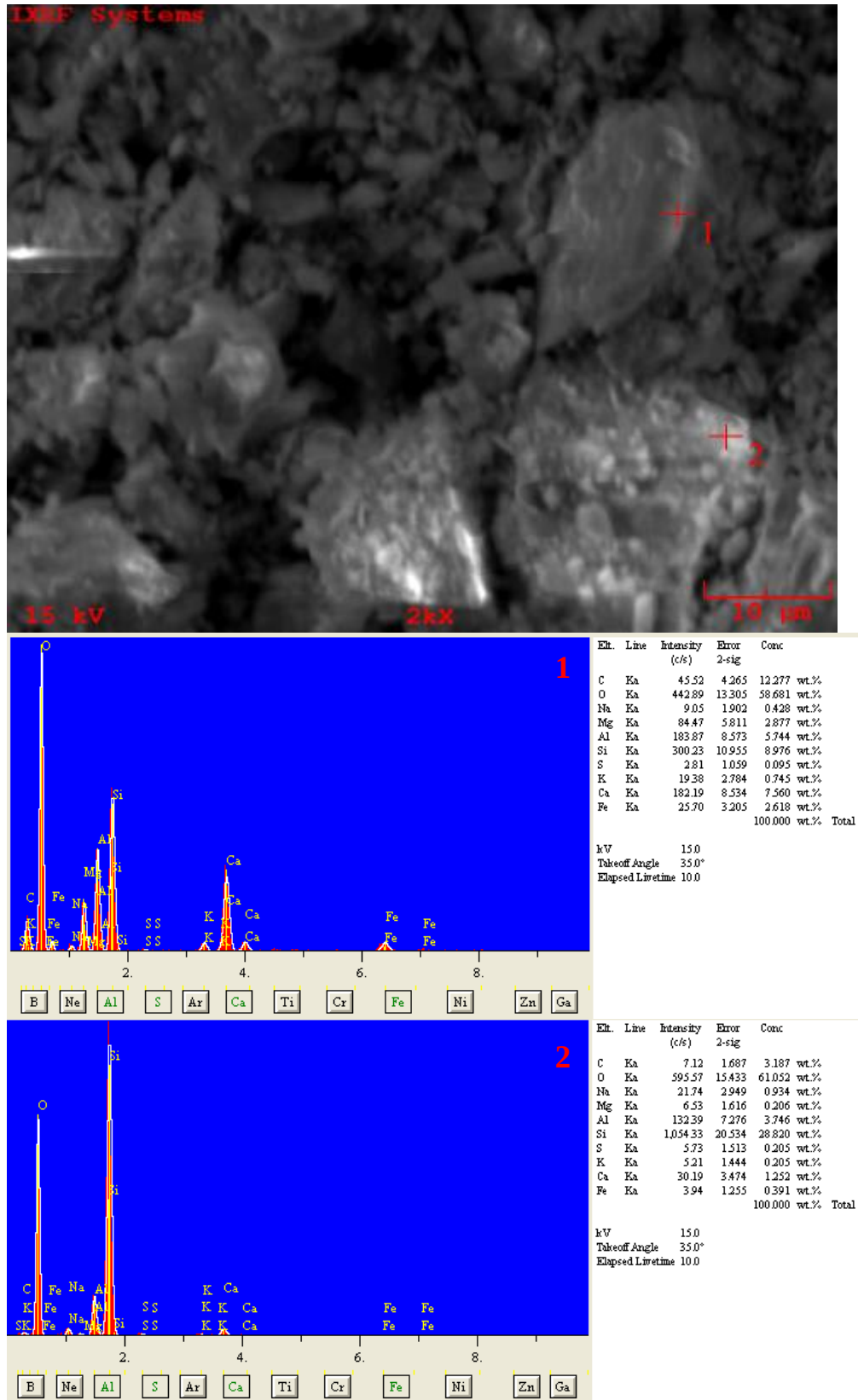
Çizelge 6.4. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren mermer türlerine ait tali elementlere ait analiz sonuçları

Element Türü	Mermer Türlerinde Tali Elementlerin PPM Cinsinden Miktarları							
	*Afyon Beyaz 1	Afyon Kaplan Postu 1	*Aydın Yaygın Kristal	Aydın Siyah	*D.bakır Bej 1	^a D.bakır Şaklat	^b Nev. Kap. Kahve	Nev. Kap. Bej
Sc	54	21	53	54	52	50	8	16
V	-	95	-	-	3	2	38	107
Cr	11	72	8	7	12	20	15	24
Mn	29	271	6	8	50	12	634	809
Co	1	10	-	-	-	1	6	13
Ni	7	28	-	-	2	5	7	13
Cu	-	7	-	-	-	-	10	29
Zn	2	48	2	2	7	7	51	62
Ga	-	12	-	-	1	-	17	17
As	1	12	1	-	5	4	8	3
Rb	3	58	1	1	4	-	90	65
Sr	747	312	83	321	157	2	243	332
Y	-	22	1	-	14	314	35	29
Zr	1	215	1	-	6	2	365	262
Nb	-	15	-	-	1	1	16	14
I	11	-	-	-	-	-	2	-
Cs	15	4	11	2	8	13	2	4
Ba	-	257	-	144	-	-	555	430
La	11	29	-	3	10	11	40	37
Ce	-	56	8	0	1	-	73	49
Nd	2	23	4	6	13	9	28	19
W	-	2	-	-	-	-	2	-
Pb	-	10	-	-	-	-	12	8
Th	3	13	1	2	2	1	17	14
U	3	4	-	4	1	3	6	5

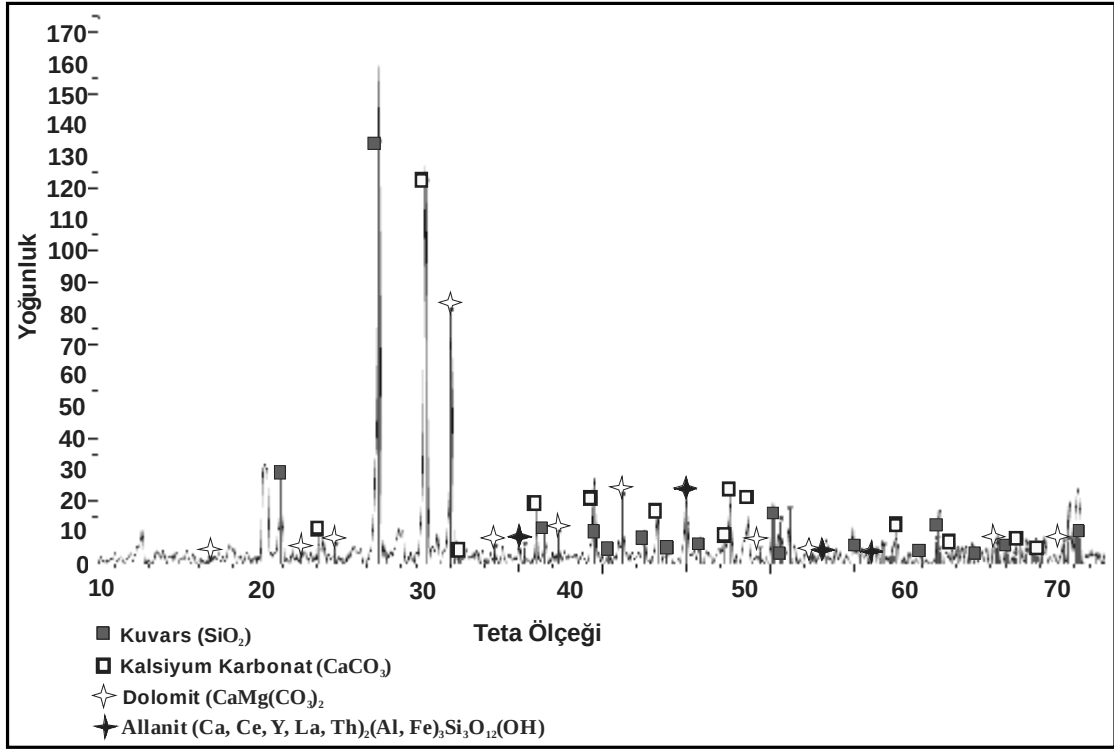
*a=Diyarbakır, b= Nevşehir, * Düşük seviye radyoaktiviteye sahip mermerler*



Şekil 6.7. Kapadokya Bej mermerine ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)



Şekil 6.8. Afyon Kaplan Postu 1 mermerine ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)

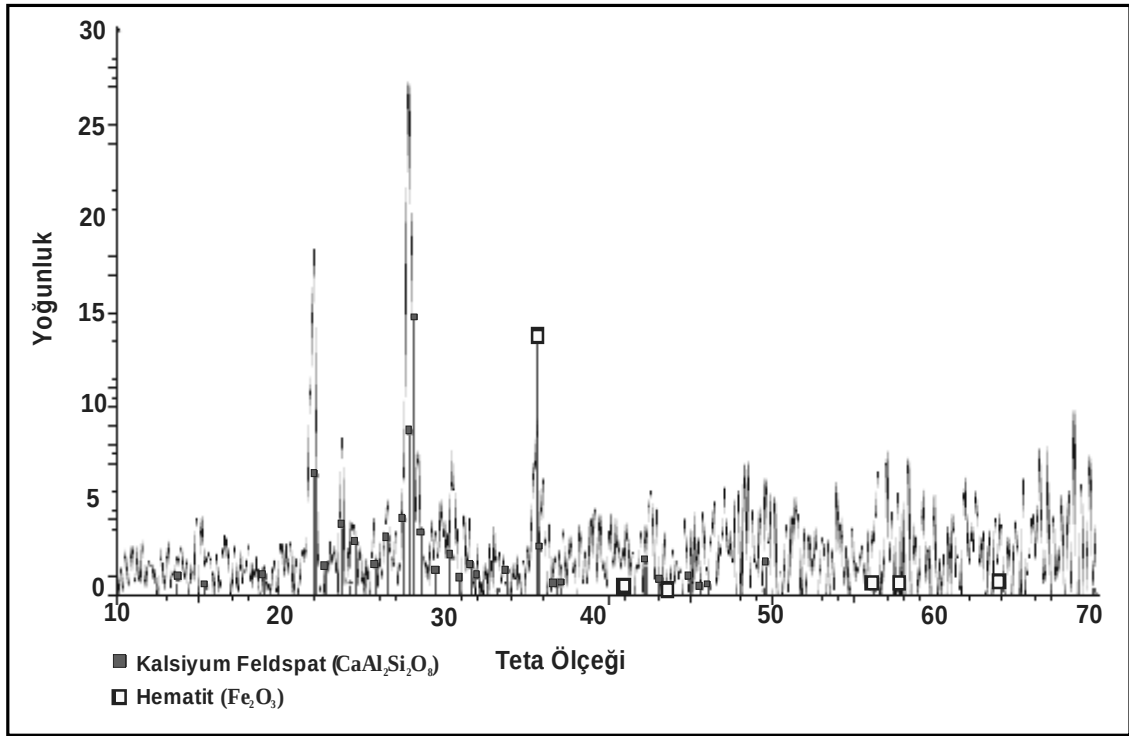


Şekil 6.9. Afyon Kaplanpostu 1 mermerine ait XRD diyagramı

Diyarbakır Şaklat mermerinde, K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 mineral gruplarıyla, Th (toryum) ve U (uranyum) radyasyon seviyesinde etkilidir.. Radyoaktif minerallerden, 314 ppm’lik Sr değeri de önemlidir.

Nevşehir Kapadokya Kahve ve Nevşehir Kapadokya Bej türü mermerlerde, kimyasal değerler, yukarıda sunduğumuz diğer mermer türlerinden elde edilen kimyasal verilerden bariz şekilde yüksektir. Radyoaktivite oluşturan unsurlardan olan, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinden kaynaklanmış olması; aldıkları yüksek değerlerden anlaşılmaktadır. Bu mermerlerde görülen, Zirkon ($Zr(SiO_4)$), yüksek Mn değerleri itibarıyla kolumbit($(Fe,Mn)(Ta, Nb)_2O_6$, pirit (FeS_2), rutil(TiO_2), hematit (Fe_2O_3) , bir kalsiyumlu feldspat olan, anortit ($CaAl_2Si_2O_8$) (Şekil 6.10.) ve allanit ($(Ca, Ce, Y, La, Th)_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$)’de radyoaktiviteye neden olan yaygın tali mineral gruplarıdır. Ayrıca, kayaçlarda radyoaktiviteye neden olan Ce (seryum),Th

(toryum), U (uranyum), Zr (zirkon), Nb (niyobyum) ve Y (yitriyum) elementleri de bu mermer türünün radyoaktivitesine katkıda bulunma olasılıkları yüksektir.



Şekil 6.10. Kapadokya Bej mermerine ait XRD diyagramı

Nevşehir Kapadokya Bej türü mermer, şu ana kadar kimyasal analizleri yapılan mermer türleri içinde en fazla radyoaktif mineral gurubu ve element içeren mermer olmuştur (Çizelge 6.3. ve Çizelge 6.4.).

Çıkarıldıkları yöre itibariyle en fazla radyoaktivite değerine sahip Afyon Kaplan Postu 1 ve Nevşehir Kapadokya Bej türü mermerlere ait SEM ve EDS sonuçları da yukarıda bahsettiğimiz yorumlara ışık tutmak açısından önemlidir. Ayrıca, Kapadokya Bej mermer türüne ait EDS verilerinde, Au (altın) elementinin ppm oranındaki yükseklikte, başka bir ilgi çekici nokta olmuştur.

6.3. Granit Türleri

Analizlerde, ülkemizde kırma taş ve blok taş olarak sıkça kullanılan ve çeşitli bölgelere yayılmış sayılı granit ocaklarından, yörelerini temsil edebilecek granit türleriyle çalışılmasına özen gösterilmiştir. Türkiye'nin geçmiş yıllarda da önem kazanmış granitçe zengin bölgeleri, Marmara, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri olduğundan, çalışılan granitler, bu bölgelere ait ocaklardan temin edilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla yukarıda bahsedilen 3 bölgeye ait granit türünde, örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve genel olarak toplam 7 farklı granit türü üzerinde testler uygulanmıştır.

Çalışılan granit türleri, Çizelge 6.5. de belirtilmekte olup, bu granit türlerinin her birinin doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türlere ait, kimyasal ve petrografik özellikler içeren gerekli bilgiler ve yorumlar alt bölümlerde ayrı ayrı anlatılmaktadır

Çizelge 6.5. Analizlerde kullanılan granit türleri

DOĞAL TAŞ TÜRÜ	DOĞAL TAŞ ADI	BULUNDUĞU YER
Granit	Giresun-Vizon	Giresun
Granit	Bergama Gri	Balıkesir
Granit	Aksaray Yaylak	Aksaray
Granit	Balaban-Green	Kırıkkale
Granit	Aksaray Pembe	Aksaray
Granit	Bandırma Granit	Balıkesir
Granit	Ayvalık Granit	Balıkesir

6.3.1. Analizlerde Kullanılan Granit Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri

Gamma spektrometrik analizleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)-SANAEM Nükleer Araştırma Merkezi'nde yapılan granit örnekleri, bir süre radyoaktif dengeye gelmeleri için, darası alınmış ve numaralandırılmış marinelli sayım kaplarında bekletilmelerinin ardından, Canberra 767 tip, gamma spektrometre cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, her bir granit türü için yukarıda da belirtildiği gibi, TAEK tarafından öngörülen miktarlar olan, 5 ila 10 adet, 500-1000 gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu numunelerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Ölçümler sonucunda, granit numunelerinin içerdiği, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonlarının ortalama değerleri, (Bq/kg) cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca, bu aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak, Ra_{eq} değerleri, bulunmuştur. Deneyde kullanılan granitlerin yerleşim yerlerinde yapıtaşı olarak kullanılacağı da varsayılarak dahili ve harici soğurulmuş doz ve etkin doz hızları, tehlike indeksleri (H_{ex} ve H_{in}), temsili aktivite konsantrasyon (I_{vr}) indeksleri de belirlenmiştir.

İlgili radyonüklid ölçüm sonuçları, doz hızları ve indeks hesaplamaları Çizelge 6.6. da detaylı olarak verilmiştir.

7 granit türüne ait radyasyon aktivite değerleri, genelde magmatik kökenli kayalar için dünyada kabul edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K için sırasıyla, 50, 50, 500 Bq/kg ve Ra_{eq} için 370 Bq/kg değerleri ile kıyaslanmıştır.

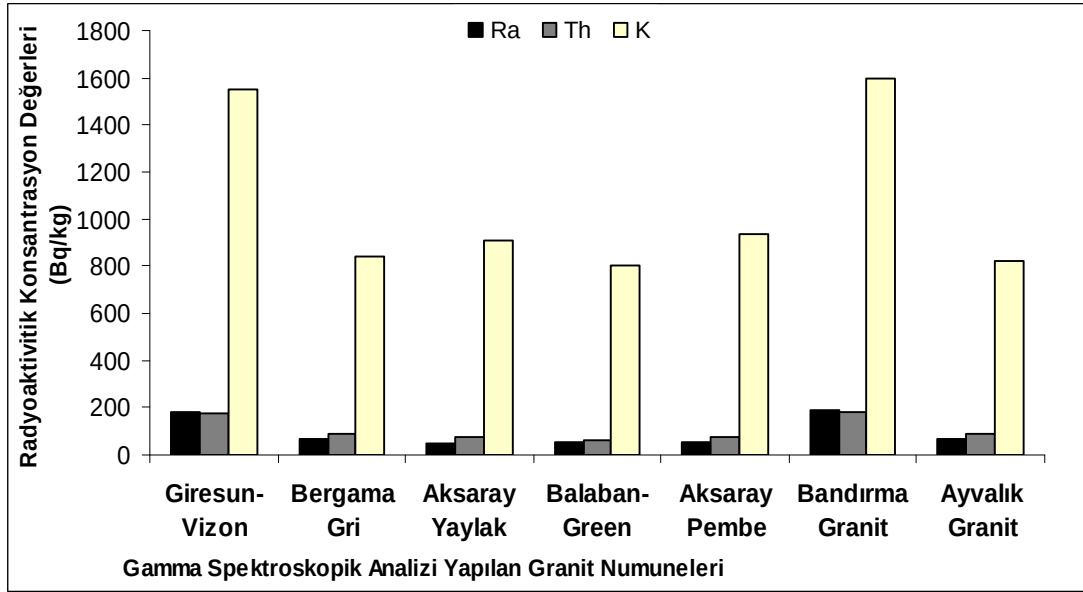
Yapılan ölçümlerde, sırasıyla, Bandırma Granit, Giresun-Vizon, Bergama Gri, Ayvalık Granit, Aksaray Pembe, Aksaray Yaylak ve Balaban-Green granitlerinin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için limit aktivasyon değerleri olan 50, 50, 500 Bq/kg'ı aştığı gözlenmiştir. Fakat, Giresun-Vizon graniti için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerleri, sırasıyla, 180, 176, 1550 Bq/kg ve Bandırma Granit için ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerleri sırasıyla, 187, 184, 1600 Bq/kg olup, en yüksek aktivasyonu olan granit türleridir ve limit değerlerin çok üzerindedir.

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerlerinin büyüklüğüne göre diğer granitler ise , Bergama Gri, Ayvalık Granit, Aksaray Pembe, Aksaray Yaylak ve Balaban Green'dir (Şekil 6.11.).

Çizelge 6.6. Analizleri yapılan granit türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri

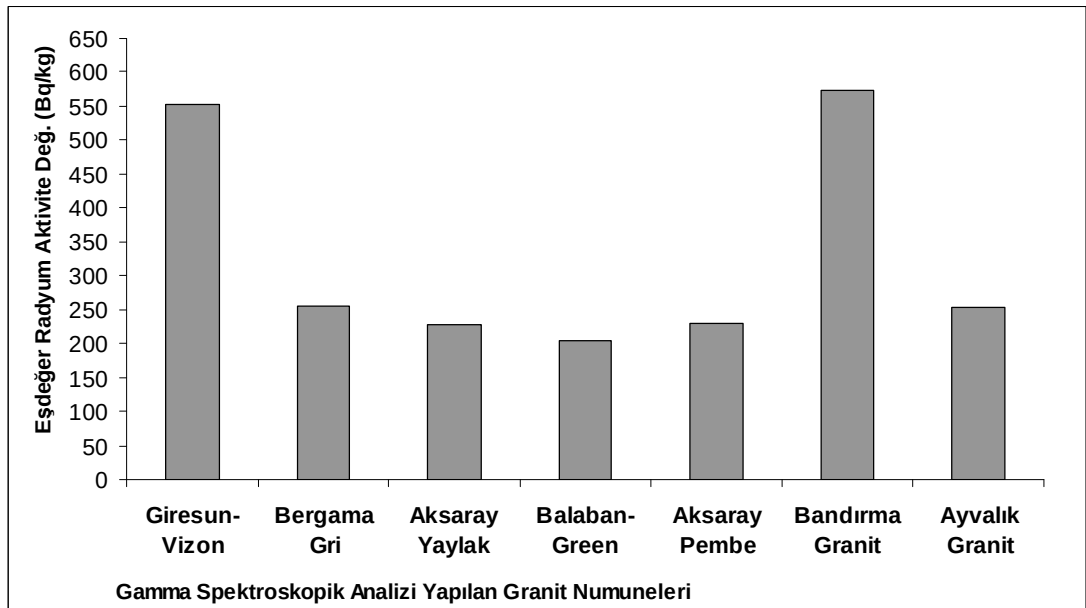
Granit Türü	Radyasyon Aktivite Ortalama Değerleri (Bq /kg)			Ra _{eq} (Bq /kg)	H _{ex}	H _{in}	I _{γr}	Soğurulmuş Doz Hızı (nGy h ⁻¹)		Etkin Doz Hızı (mSv/y)	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					Dahili	Harici	Dahili	Harici
Giresun-Vizon	180.0	176.0	1550.0	551.03	1.49	1.97	3.99	483.2	254.1	2.376	0.312
Bergama Gri	70.0	84.5	841.0	255.59	0.69	0.88	1.87	224.6	118.4	1.104	0.146
Aksaray Yaylak	48.9	76.1	908.0	227.63	0.61	0.75	1.69	201.3	106.4	0.990	0.131
Balaban-Green	54.5	61.2	805.0	204.00	0.55	0.70	1.51	181.9	95.7	0.894	0.118
Aksaray Pembe	52.3	73.8	938.0	230.06	0.62	0.76	1.71	204.3	107.8	1.005	0.132
Bandırma Granit	187.0	184.0	1600.0	573.32	1.55	2.05	4.15	502.4	264.3	2.470	0.325
Ayvalık Granit	68.0	85.5	825.0	253.79	0.69	0.87	1.86	222.6	117.5	1.095	0.144
Ortalama Değerler	94.3	105.8	1066.7	327.92	0.89	1.14	2.40	288.6	152.0	1.419	0.187

Not: MDA (Minimum Detectible Activity) değerleri sayım süresine bağlı olarak ²²⁶Ra için 2,7 Bq/kg ila 4,2 Bq/kg arasında, ²³²Th için 2,5 Bq/kg ila 4,7 Bq/kg arasında, ⁴⁰K için 7,3 Bq/kg ila 14,8 Bq/kg arasında değişmektedir.



Şekil 6.11. 7 Farklı granit türüne ait radyasyon aktivite değerleri (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K)

Ra_{eq} ise en yüksek değerler sırasıyla, Bandırma Granit için 573,32, Giresun Vizon için 551,03 ,Bergama Gri için 255,592 , Ayvalık Granit için 253,79 , Aksaray Pembe için 230,06, Aksaray Yaylak için 227,639 ve Balaban-Green için 204,001 Bq/kg ölçülmüştür. Bandırma Granit ve Giresun-Vizon granitleri dünyada kabul gören 370 Bq/kg'ın üstündedir (Şekil 6.12).

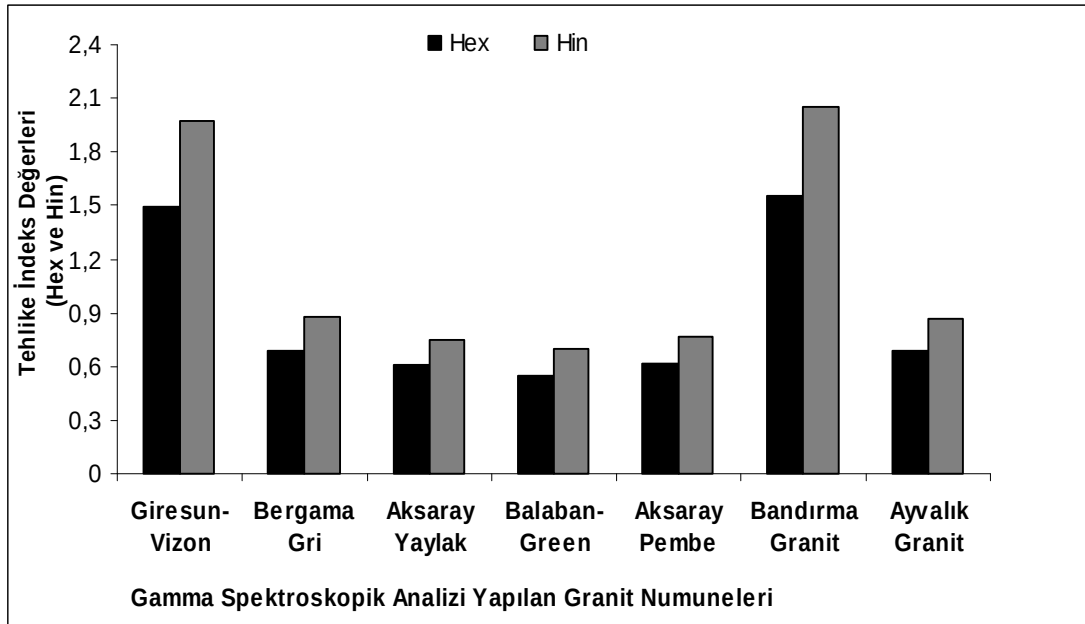


Şekil 6.12. 7 Farklı granit türüne ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri

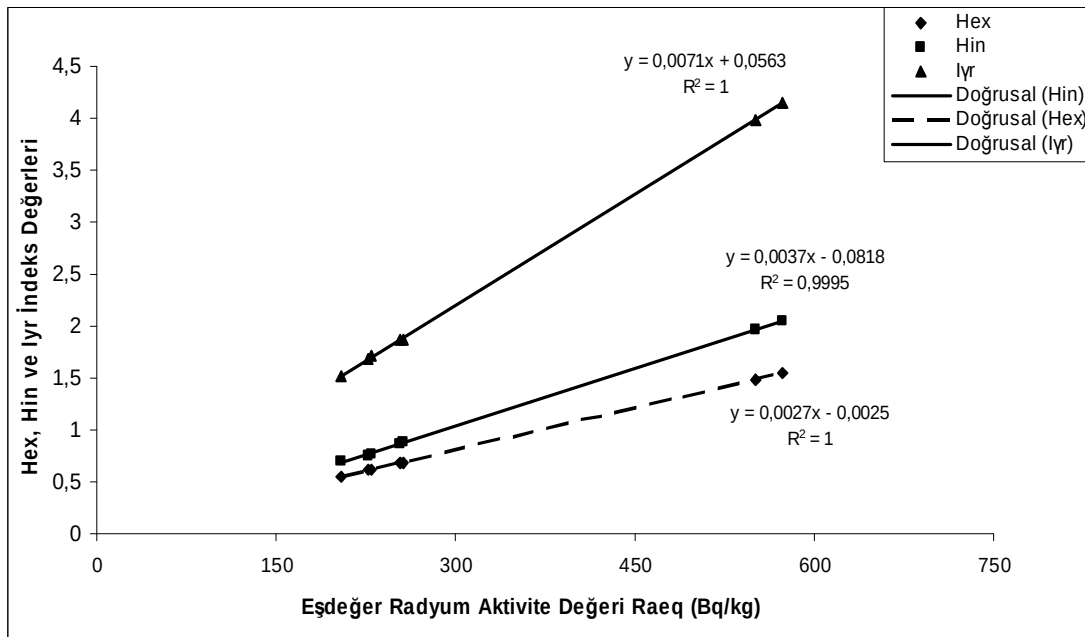
Bulunan radyonüklid konsantrasyon değerlerinden, analizi yapılan granit türlerinin yerleşim birimlerinde, iç ve dış kaplama malzemesi ya da başka amaçlı kullanımlarının uygun olup olmadığı ile ilgili harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indekslerinin de hesaplanması gerektiğinden, 7 farklı granit türüne ait en yüksek H_{ex} , sırasıyla, Bandırma Granit için 1.55, Giresun-Vizon için 1.49 bulunmuştur. Bu değerler, uluslararası kabul gören 1 değerinden büyüktür. Bergama Gri, Ayvalık Granit, Aksaray Pembe, Aksaray Yaylak ve Balaban-Green granitlerinde harici tehlike (H_{ex}) indeks değerleri uluslararası kabul gören 1 'den küçüktür. H_{in} indeksi ise aynı durum söz konusu olmakla beraber, sırasıyla, Bandırma Granit için 2.05, ve Giresun-Vizon için 1.97 bulunmuştur ve uluslararası kabul gören 1 değerinden büyüktür (Şekil 6.13.).

Aktivite konsantrasyon ($I_{\gamma r}$), ise tüm granit türlerinde, ölçülmüş, Bandırma Granit için 4.15, Giresun-Vizon için 3.99 bulunmuştur. Bulunan değerlerin, limit değer olan yıllık 1 mSv, doz oranını yaklaşık 4 katıdır. Bu bağlamda, ($I_{\gamma r}$), Bergama Gri için 1.87 , Ayvalık Granit için 1.86, Aksaray Pembe için 1.71, Aksaray Yaylak için 1.69 ve Balaban-Green için 1.51 olup, limit değer olan yıllık 1 mSv, doz oranını üzerindedir. Başka bir nokta ise Şekil 6.14 'de yapılan regresyon analizi sonucunda R_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasında lineer ve kuvvetli bir orantının olduğu yönündedir (H_{ex} - R_{eq} için $R^2=1$, H_{in} - R_{eq} için $R^2=0.99$ ve $I_{\gamma r}$ - R_{eq} için $R^2=1$).

Analizi yapılan granit numunelerinin, dahili ve harici soğurulmuş doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; dahili soğurulmuş doz hızında, limit değer olan 84 nGyh⁻¹'ı tüm granitlerin aştığı belirlenmiştir. Buna göre, en yüksek değerler sırasıyla, Bandırma Granit için 502.4 ve Giresun-Vizon için 483.2 nGyh⁻¹ bulunmuştur. Ayrıca, dahili soğurulmuş doz hızı, Bergama Gri için 224.6 , Ayvalık Granit için 222.6, Aksaray Pembe için 204.3, Aksaray Yaylak için 201.3 ve Balaban-Green için 181.9 nGyh⁻¹ olup, limit değer olan 84 nGyh⁻¹ doz oranını üzerindedir. Harici soğurulmuş doz hızında ise, sırasıyla, Bandırma Granit için, 264.3 ve Giresun-Vizon için, 254.1 nGyh⁻¹'lik çok yüksek değerler ölçülmüştür.

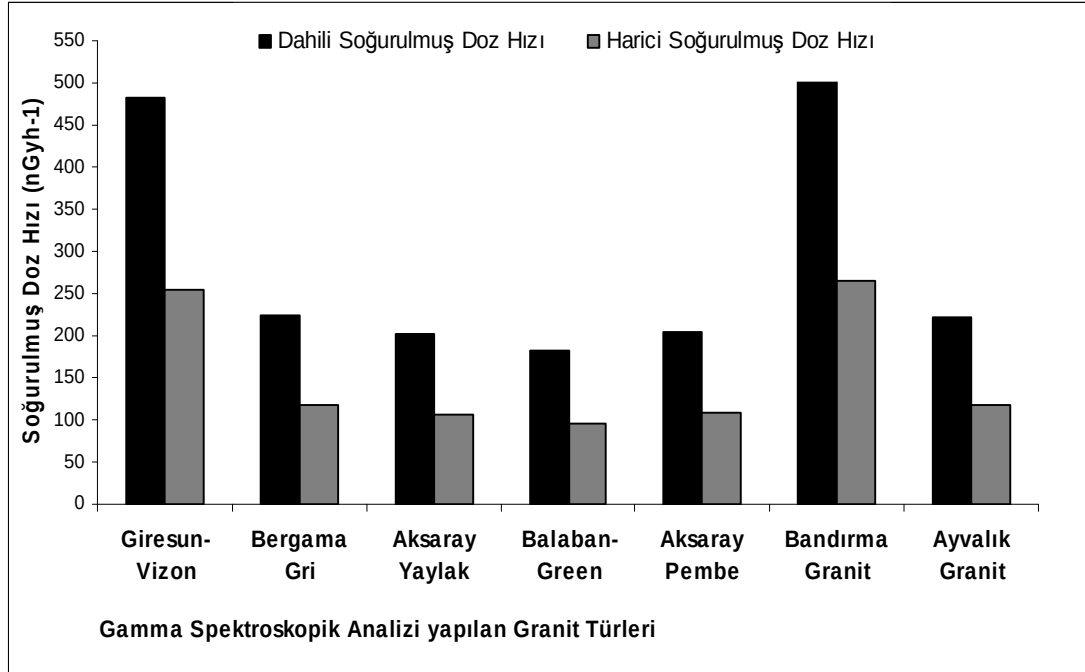


Şekil 6.13. Analizi yapılan granit türlerine ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri



Şekil 6.14. R_{aeq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , I_{yr} değerleri arasındaki regresyon

Bergama Gri , Ayvalık Granit, Aksaray Pembe, Aksaray Yaylak ve Balaban-Green granit türleri de, limit değer olan 55 nGy^{-1} 'ın üzerindedir (Şekil 6.15.).



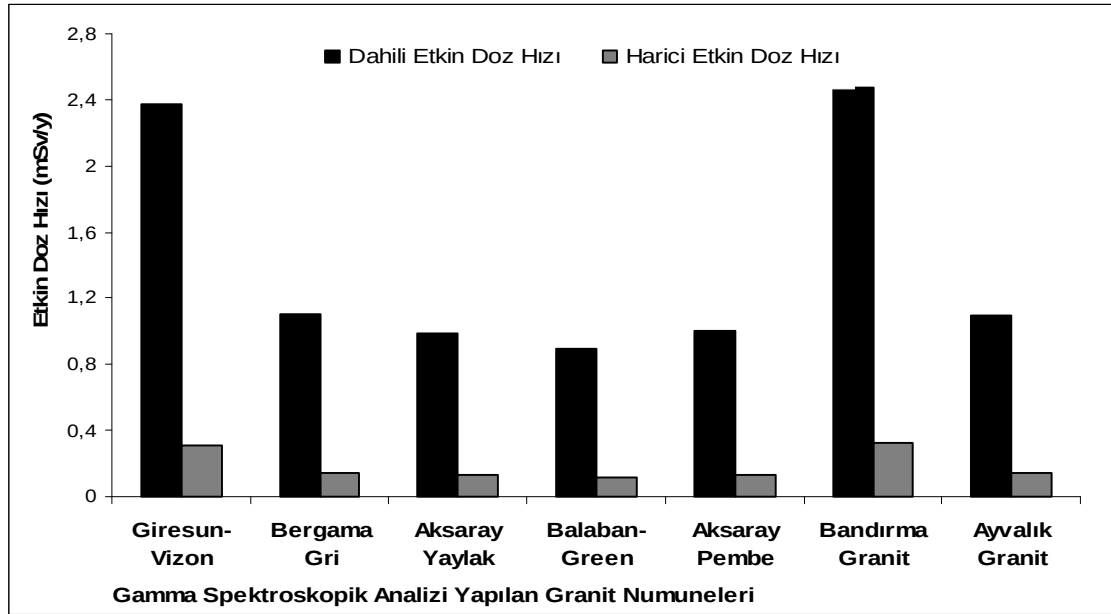
Şekil 6.15. Analizi yapılan granit türlerine ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri

7 ayrı tür granitin en son olarak dahili ve harici etkin doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; dahili etkin doz hızında, yıllık limit değer olan 1 mSv 'ı aşan türler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 6.16.).

Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, Bandırma Granit için 2.470 , Giresun-Vizon için 2.376 , Bergama Gri için 1.104 ve Ayvalık Granit için 1.095 mSv/yıl 'dır ve uluslararası kabul gören yıllık 1 mSv 'i aşmaktadır.

Harici etkin doz hızında ise en yüksek değerler, sırasıyla, Bandırma Granit için 0.325 , Giresun-Vizon için 0.312 ; Bergama Gri için 0.146 ve Ayvalık Granit için 0.144 mSv/yıl 'dır.

Tüm granit türleri, harici etkin doz hızı limit değeri olan 0.46 mSv/yıl 'ın altındadır.



Şekil 6.16. Analizi yapılan granit türlerine ait dahili ve harici etkin doz değerleri

6.3.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Granit Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması

Analizleri yapılan granit türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indekslerine göre hemen hemen tüm granit türlerinde, genel ortalama değerlerin üstünde veriler saptanmıştır. Bunlar, aktivite konsantrasyon oranlarına göre, Bandırma Granit, Giresun-Vizon, Bergama Gri, Ayvalık Granit, Aksaray Pembe, Aksaray Yaylak ve Balaban-Green türü granitlerdir.

Bu granit türlerinin radyasyon aktivite değerlerinin hangi nedenle yüksek değerler içerdiğini saptamak amacıyla, mineralojik-petrografik yapılarını belirlemek, mineral ve mineral kompozisyonlarını incelemek gerekmektedir. Bu amaçla aşırı anomali gösteren tüm granit türlerinin yine TAEK-SANAEM'de XRF ve EDS'leri çekilmiştir. Çizelge 6.7. ve Çizelge 6.8. de radyoaktif anomali gösteren granitlerin XRF(kimyasal analiz) değerleri ve Şekil 6.18. ve Şekil 6.20.'de ise yine aynı granit türlerine ait EDS'ler gösterilmiştir.

Doğal taş türlerinde radyoaktif minerallerin tayinine yardımcı olacak petrografik ve mineralojik bilgiler, 4. bölümde verilmişti. Bu bilgilere dayanarak, Çizelge 6.7. ve Çizelge 6.8.'deki kimyasal analiz değerlerinden aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkün olacaktır.

Çizelge 6.7. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren granit türlerine ait kimyasal analiz sonuçları

Granit Türü	Kimyasal Analiz Değerleri (XRF) (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	SO ₃
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti	S
Giresun-Vizon	13.60	3.02	3.30	4.92	0.89	2.37	0.18	55.67	0.42	-
Bergama Gri	11.40	3.31	3.21	2.95	1.66	2.41	0.23	55.23	0.47	-
Aksaray Yaylak	9.40	2.01	1.49	2.98	0.05	2.00	0.05	54.80	0.22	-
Balaban-Green	12.70	2.10	2.68	2.80	0.83	2.75	0.17	59.74	0.32	-
Aksaray Pembe	9.90	1.99	1.67	3.11	0.07	2.11	0.05	57.80	0.23	-
Bandırma Granit	12.60	3.02	3.28	5.01	0.93	2.23	0.18	51.25	0.42	-
Ayvalık Granit	9.60	3.32	3.05	2.86	1.25	2.05	0.20	45.89	0.44	-

Çizelge 6.8. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren granit türlerine ait tali elementlere ait analiz sonuçları

Element Türü	Granit Türlerinde Tali Elementlerin PPM Cinsinden Miktarları						
	Giresun Vizon	*Bergama Gri	*Aksaray Yaylak	*Balaban Green	*Aksaray Pembe	Bandırma Granit	*Ayvalık Granit
Sc	11	15	3	6	5	12	13
V	74	94	14	53	16	67	83
Cr	36	43	20	27	17	30	40
Mn	1234	671	615	466	675	1192	623
Co	7	10	2	7	3	7	10
Ni	8	15	2	8	3	7	14
Cu	53	6	2	2	2	49	6
Zn	128	46	34	55	37	135	44
Ga	14	16	11	17	12	14	16
As	18	4	3	*	3	20	3
Rb	302	124	139	95	145	290	124
Sr	435	643	180	464	179	425	646
Y	27	18	12	9	14	26	18
Zr	189	129	96	131	113	196	125
Nb	18	10	8	7	10	18	10
I	1	-	3	-	1	-	-
Cs	21	6	6	5	7	19	5
Ba	686	1154	545	1293	565	646	1097
La	41	23	23	25	22	37	33
Ce	78	50	41	37	41	72	40
Nd	28	21	11	17	13	26	18
W	14	1	-	-	1	13	-
Pb	89	25	30	11	30	82	23
Th	41	14	14	3	14	40	16
U	16	7	4	7	3	16	6

*Diğer granitlere göre düşük seviye radyoaktiviteye sahip granitler

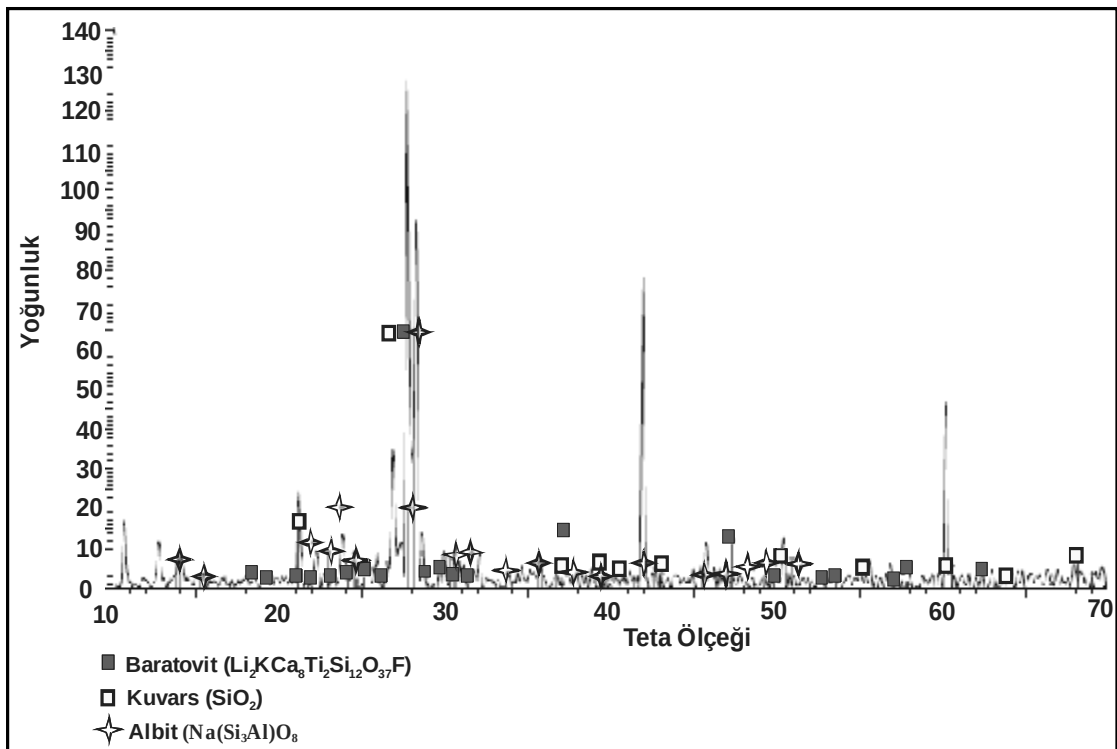
Bu değerlendirmeler yapılırken, koyu renkte yazılmış granit türleri mineral türleri ve elementler, aşırı anomali gösteren granitlere ait olup, başında *, ibaresi bulunan granitler ise düşük radyoaktivite değerleri içeren örneklerden toparlanmıştır. Bu amaçla hangi mineral gruplarının ve elementlerin radyasyona neden olduğu gözle görülebilecektir. Radyoaktif hesaplamalarda, aktivite konsantrasyon ve doz oranları en yüksek çıkan 2 granit türü (Bandırma Granit ve Giresun Vizon) hakkında mineralojik yorumlar aşağıda verilmiştir.

Bandırma Granit'te, elde edilen kimyasal veriler ışığında, bu granitteki doğal radyasyona, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları yüksek değerler itibariyle mümkündür. Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit $(\text{K}_2\text{O}_6(\text{MgFe})\text{OAl}_2\text{O}_3\cdot 6(\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}))$) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır.

Bu bileşiklerdeki minerallerin, granitlerde görülen, Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2), hematit (Fe_2O_3), feldspatlar gurubundan bir plajiolaz olan albit ($\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$) ve baratovit ($\text{Li}_2\text{KCa}_8\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{37}\text{F}$) (Şekil 6.17.) tali mineral gruplarının olması Heinrich (1958)'in kuramına uygundur. Baratovit element gurubundaki, Ti (titanyum), Florit (F) ve K (potasyum) elementi de doğal radyoaktivitenin yüksek olmasının sebeplerinden olabilir. Ayrıca, kayalarda radyoaktiviteye neden olan Ce (seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Nb (niyobyum) elementleri de bu granit türünün radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır. Mn (mangan) elementinin 1192 ppm olması da nadiren euksenit ($\text{Y,Ce, U, Th}(\text{Ca, Mg,Mn})_2(\text{Ti, Nb, Ta}(\text{Fe}_3)\text{O}_6)$) ve kolumbit ($(\text{Fe,Mn})(\text{Ta, Nb})_2\text{O}_6$) mineralinin olabileceğini göstermiştir. Bu granit türüne ait SEM ve EDS verileri Şekil 6.18.'de görülmektedir.

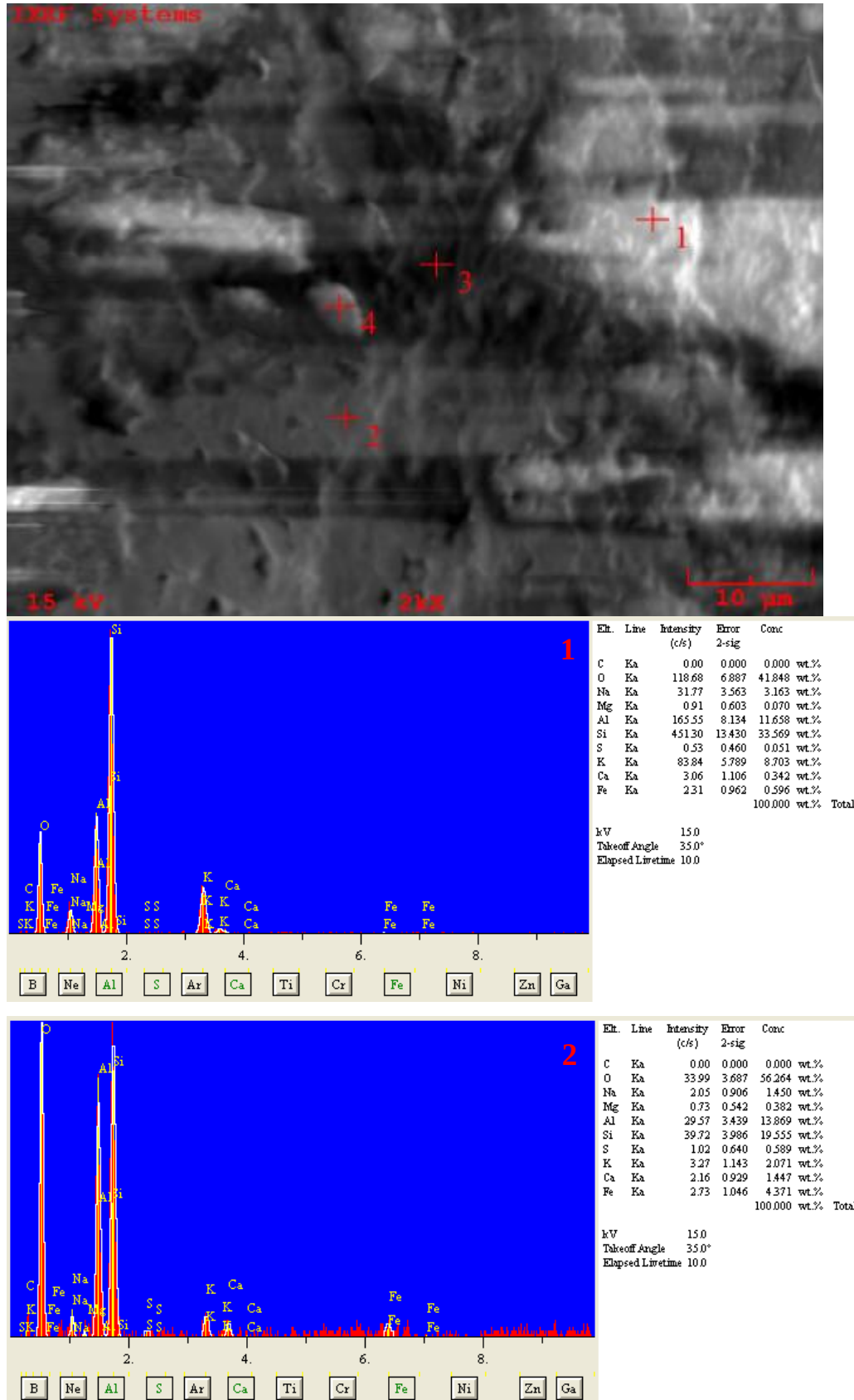
Doğal radyoaktivite değerleri yüksek çıkan ve diğer granit türleri arasında aykırılık gösteren ikinci granit türü ise Giresun Vizon'dur. Bu granit türünden elde edilen kimyasal veriler ışığında, doğal radyasyona, Bandırma Granit türünde olduğu gibi, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti benzeri elementlerin neden olabileceği; aldıkları yüksek değerler itibariyle olasıdır. Hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U (uranyum veya uraninit (UO_2)) ve Th (toryum

veya uranotorit (U,Th)SiO₄) elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit (K₂O₆(MgFe)OAl₂O₃6(SiO₂.2H₂O))) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır. Bu bileşiklerdeki minerallerin, granitlerde görülen, Zirkon (Zr(SiO₄)), pirit (FeS₂), rutil (TiO₂), hematit (Fe₂O₃), feldspat fenokristalleri ve analsit içeren bir trakit türü olan, şakanit (Ca₂₄Mg₈(BO₃)₁₃(AlSi₄(O,OH)O.73(CO₃)₈7H₂O) ve renksiz tuzlardan olan potasyum demir siyanit (K₂Fe(SCN)₆/K₂[Fe(SCN)₄(NCS-SCN)] (Şekil 6.19.) tali mineral grupları içerir.



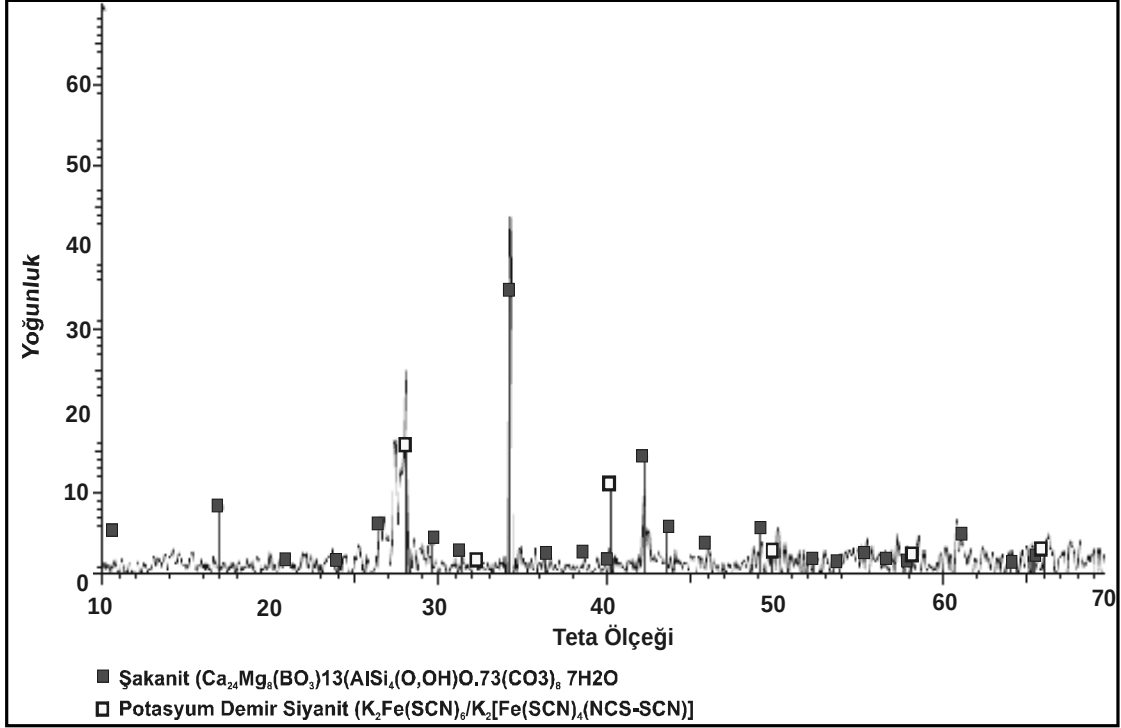
Şekil 6.17. Bandırma Granit türüne ait XRD diyagramı

Bu tuzun insan sağlığı açısından çok tehlikeli ve zehirleyici bir yönü bulunmaktadır (wikipedia.org). İçindeki Fe elementi de doğal radyasyonu artırıcı bir etki yapabilir Şakanit'in ihtiva edebileceği biyotit, hornblend, arfvedsonit, ejirin ve ojit ile aksesuar minerali olarak bilinen apatit, zirkon ve demir oksitler ise radyoaktif unsurları artırıcı yönde etki yapabilmesi açısından Heinrich (1958)'in çalışmalarıyla çelişmez.



Şekil 6.18. Bandırma Granit türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)

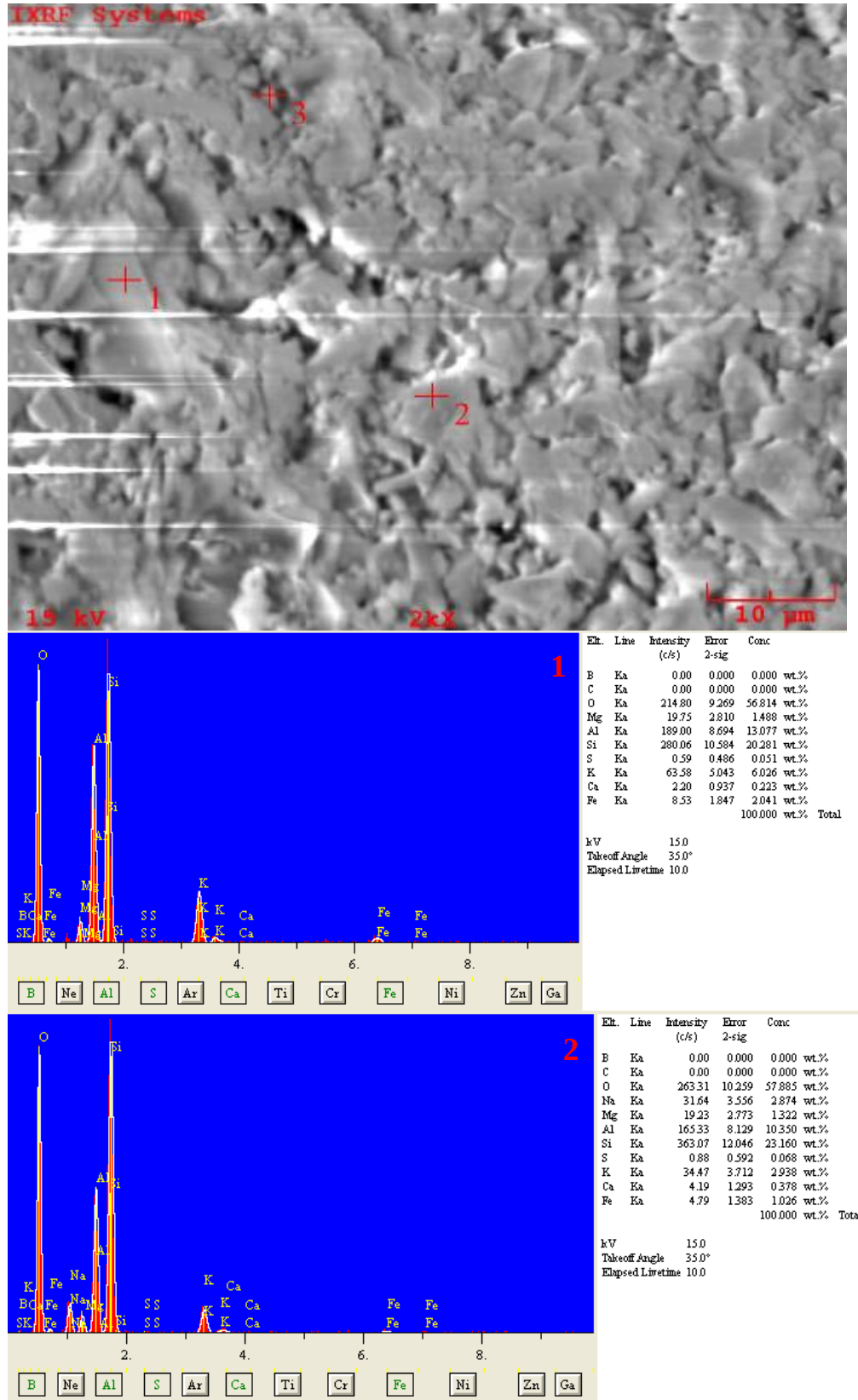
Ayrıca, kayalarda radyoaktiviteye neden olan Ce (seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Nb (niyobyum) elementleri de bu granit türünün radyoaktivitesine katkıda bulunabilecek faktörlerdir.



Şekil 6.19. Giresun Vizon türüne ait XRD diyagramı

Bu granit türünde de Mn (mangan) elementinin 1234 ppm olması da nadiren euksenit (Y,Ce, U, Th(Ca, Mg,Mn)₂(Ti, Nb, Ta(Fe₃)O₆) ve kolumbit ((Fe,Mn)(Ta, Nb)₂O₆) mineralinin olabileceğini göstermiştir. Bu granit türüne ait SEM ve EDS verileri Şekil 6.20’ de görülmektedir.

Sonuç olarak elde edilen verilerden, çıkarıldıkları yöre itibariyle en fazla radyoaktivite ve radyoaktif mineral-element değerine sahip granit türleri, Bandırma Granit ve Giresun Vizon türü granitler olmuştur.



Şekil 6.20. Giresun Vizyon granit türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)

6.4. Bazalt ve Bazaltik Pomza Türleri

Bu bölümde, ülkemizde kırma taş ve blok taş olarak sıkça kullanılan ve çeşitli bölgelere yayılmış olup, sayılı bazalt rezervlerine sahip, Diyarbakır ve Osmaniye bölgelerini temsil edebilecek, bazalt ve ayrıca, Osmaniye yöresinde bulunan ve bölgede yerleşim birimlerine çimento sağlayan fabrikaların, katkı hammaddesi olarak kullandığı, bazaltik pomza türü numunelerin radyoaktivite, kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır.

Bu amaçla yukarıda bahsedilen 2 bölgeye ait bazalt türünde, örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve genel olarak bazaltik pomza da dahil, toplam 5 farklı bazaltik kökenli doğaltaş türü üzerinde testler uygulanmıştır.

Çalışılan bazaltik türler; Çizelge 6.9. da belirtilmekte olup, bu bazaltik türlerinin her birinin doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türlere ait, kimyasal ve petrografik özellikler içeren gerekli bilgiler ve yorumlar alt bölümlerde ayrı ayrı anlatılmaktadır.

Çizelge 6.9. Analizlerde kullanılan bazaltik doğal taş türleri

DOĞAL TAŞ TÜRÜ	DOĞAL TAŞ ADI	BULUNDUĞU YER
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 1	Diyarbakır-Kuzeybatı
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 2	Diyarbakır-Güney
Bazalt	Diyarbakır- Bazalt 3	Diyarbakır-Güneybatı
Bazalt	Osmaniye Bazalt	Osmaniye
Bazaltik Pomza	Osmaniye Bazaltik Pomza	Osmaniye-Toprakkale

6.4.1. Analizlerde Kullanılan Bazaltik Türlerin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri

Gamma spektrometrik analizleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)-SANAEM Nükleer Araştırma Merkezi'nde yapılan bazaltik örnekler, bir süre radyoaktif dengeye gelmeleri için, darası alınmış ve numaralandırılmış marinelli sayım kaplarında bekletilmelerinin ardından, Canberra 767 tip, gamma spektrometre cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, her bir bazalt türü için yukarıda da belirtildiği gibi, TAEK tarafından öngörülen miktarlar olan, 5 ila 10 adet, 500-1000 gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu numunelerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Ölçümler sonucunda, bazalt numunelerinin içerdiği, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonlarının ortalama değerleri, (Bq/kg) cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca, bu aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak, Ra_{eq} değerleri, bulunmuştur.

Deneyde kullanılan bazaltik türlerin, yerleşim yerlerinde yapıtaşı olarak kullanılacağı da varsayılarak dahili ve harici soğurulmuş doz ve etkin doz hızları, tehlike indeksleri (H_{ex} ve H_{in}), temsili aktivite konsantrasyon (I_{vr}) indeksleri de belirlenmiştir.

Radyonüklid ölçüm sonuçları, doz hızları ve indeks hesaplamaları Çizelge 6.10. da detaylı olarak verilmiştir.

5 bazaltik türe ait radyasyon aktivite değerleri, genelde magmatik kökenli türler için baz alınan ve dünyada kabul edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K için sırasıyla, 50, 50, 500 Bq/kg ve Ra_{eq} için 370 Bq/kg değerleri ile kıyaslanmıştır.

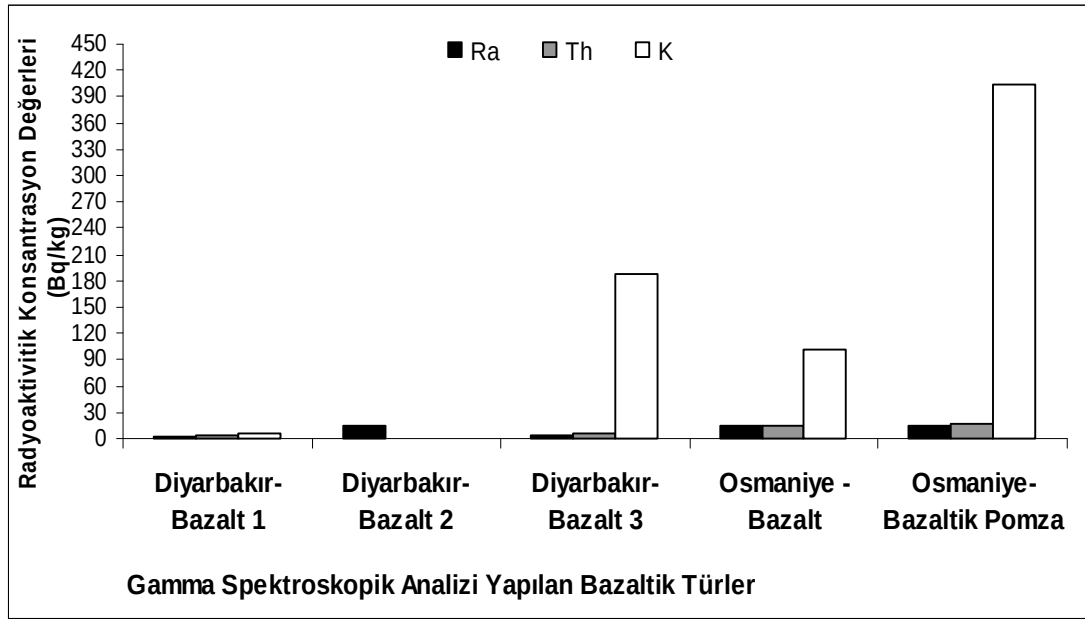
Analizlerde, sırasıyla, Diyarbakır- Bazalt 1, Diyarbakır- Bazalt 2, Diyarbakır- Bazalt 3, Osmaniye Bazalt ve Osmaniye Bazaltik Pomza'sının, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için limit aktivasyon değerler olan 50, 50, 500 Bq/kg'ın çok altında olduğu gözlenmiştir. Fakat, Osmaniye Bazaltik Pomza'sı, Osmaniye Bazaltı ve Diyarbakır- Bazalt 3 bazaltının ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerleri, sırasıyla, 15.7, 16.1, 403 Bq/kg, 14.5, 14.8. 102.0 Bq/kg ve 4.0, 7.3, 188 Bq/kg olup, bazaltik türler içinde en yüksek aktivasyonu olan türlerdir ve limit değerlerin altındadır.

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerlerinin büyüklüğüne göre diğer bazaltik türler ise , Diyarbakır- Bazalt 1 ve Diyarbakır- Bazalt 2 'dir (Şekil 6.21.).

Çizelge 6.10. Analizleri yapılan bazaltik türlerin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri

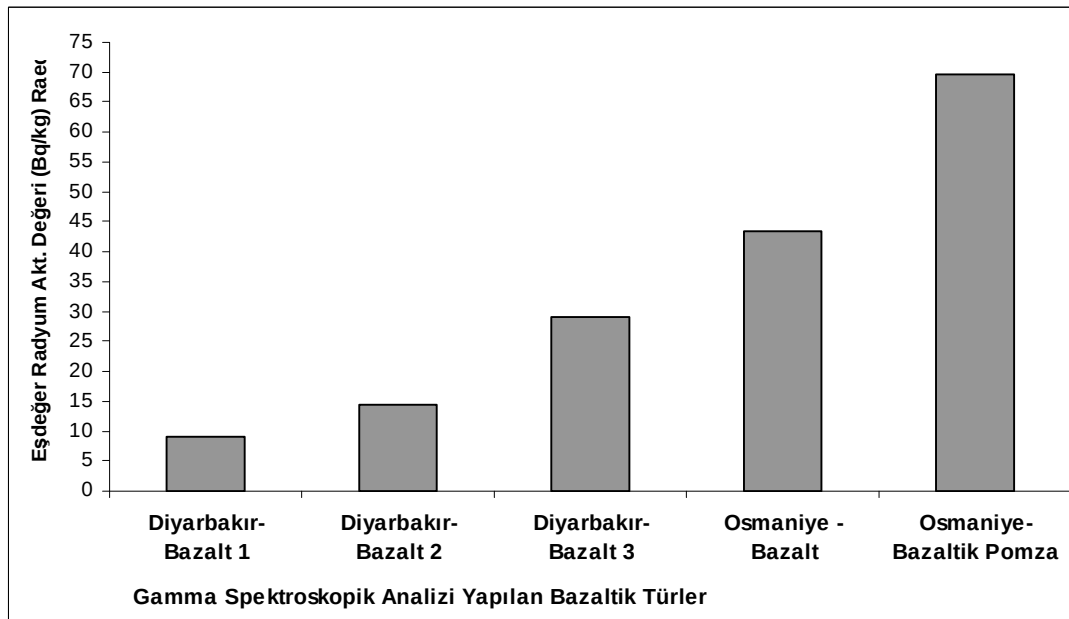
Bazaltik Türler	Radyasyon Aktivite Ortalama Değerleri (Bq /kg)			Ra _{eq} (Bq /kg)	H _{ex}	H _{in}	I _{yr}	Soğurulmuş Doz Hızı (nGy h ⁻¹)		Etkin Doz Hızı (mSv/y)	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					Dahili	Harici	Dahili	Harici
Diyarbakır- Bazalt 1	2.9	3.9	7.0	9.01	0.02	0.03	0.06	7.5	4.0	0.037	0.005
Diyarbakır- Bazalt 2	14.3	MDA	MDA	14.30	0.04	0.07	0.10	13.2	6.6	0.065	0.008
Diyarbakır- Bazalt 3	4.0	7.3	188.0	28.91	0.08	0.09	0.23	26.8	14.0	0.132	0.017
Osmaniye -Bazalt	14.5	14.8	102.0	43.52	0.12	0.16	0.31	37.8	19.9	0.186	0.024
Osmaniye-Bazaltik Pomza	15.7	16.1	403.1	69.78	0.18	0.23	0.53	64.4	33.8	0.317	0.041
Ortalama Değerler	10.2	8.4	140.0	33.11	0.09	0.12	0.25	29.9	15.7	0.147	0.019

Not: MDA (Minimum Detectible Activity) değerleri sayım süresine bağlı olarak ²²⁶Ra için 2,7 Bq/kg ila 4,2 Bq/kg arasında, ²³²Th için 2,5 Bq/kg ila 4,7 Bq/kg arasında, ⁴⁰K için 7,3 Bq/kg ila 14,8 Bq/kg arasında değişmektedir.



Şekil 6.21. 5 Farklı bazaltik türe ait radyasyon aktivite değerleri (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K)

Eşdeğer radyum aktivite, Ra_{eq} 'de ise en yüksek değerler sırasıyla, Osmaniye Bazaltik Pomza'sı 69.78 , Osmaniye Bazaltı için 43.52 , Diyarbakır- Bazalt 3 için 28.91, Diyarbakır Bazalt 2 için 14.30 ve Diyarbakır Bazalt 1 için ise 9.01 Bq/kg ölçülmüştür. Tüm bazaltik türlerde, dünyada kabul gören 370 Bq/kg'ın altında değerler mevcuttur (Şekil 6.22).



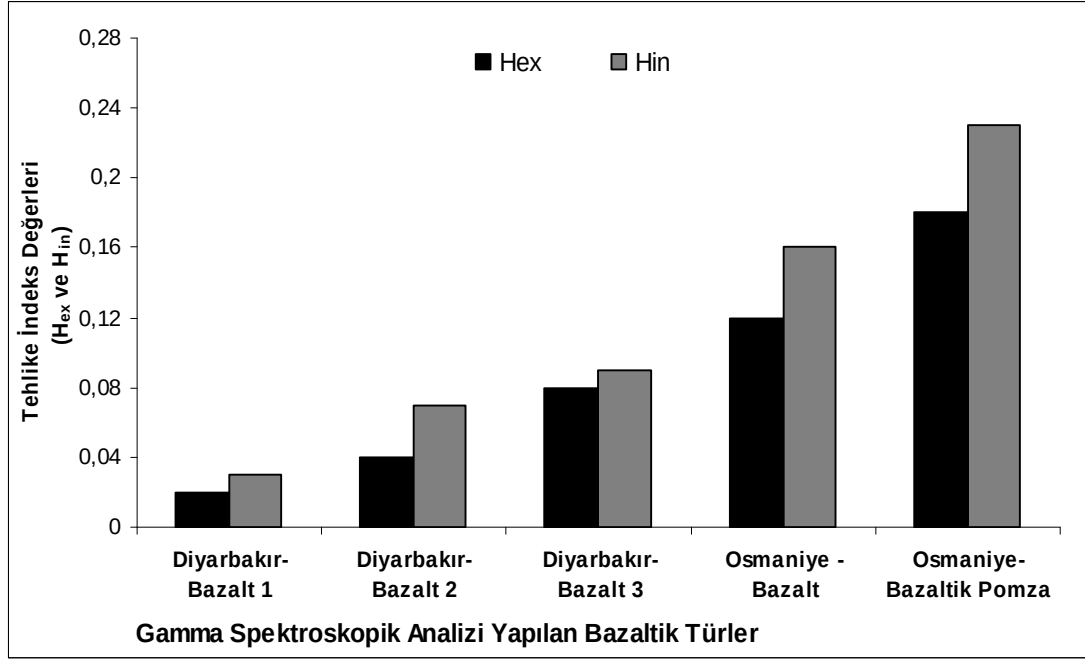
Şekil 6.22. 5 Farklı bazaltik türe ait Ra_{eq} (eşdeğer radyum aktivite) değerleri

Hesaplanan radyonüklid konsantrasyon değerlerinden, analizi yapılan bazalt türlerinin yerleşim birimlerinde, iç ve dış kaplama malzemesi ya da başka amaçlı kullanımlarının uygun olup olmadığı ile ilgili harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indekslerinin de hesaplanması gerektiğinden, 5 farklı bazaltik türe ait en yüksek H_{ex} , sırasıyla, Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 0.18, Osmaniye Bazaltı'nda 0.12 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 0.08 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, uluslararası kabul gören 1 değerinden oldukça altındadır. Diyarbakır Bazalt 2 ve Diyarbakır Bazalt 1 bazaltik türler için de, harici tehlike (H_{ex}) indeks değerleri uluslararası kabul gören 1 'den oldukça küçüktür. H_{in} indeksinde ise aynı durum söz konusu olmakla beraber, sırasıyla, Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 0.23, Osmaniye Bazaltı'nda 0.16 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 0.09 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.23.).Tüm bazaltik türlerin H_{in} değerleri 1 mSv/yıl'ın altındadır.

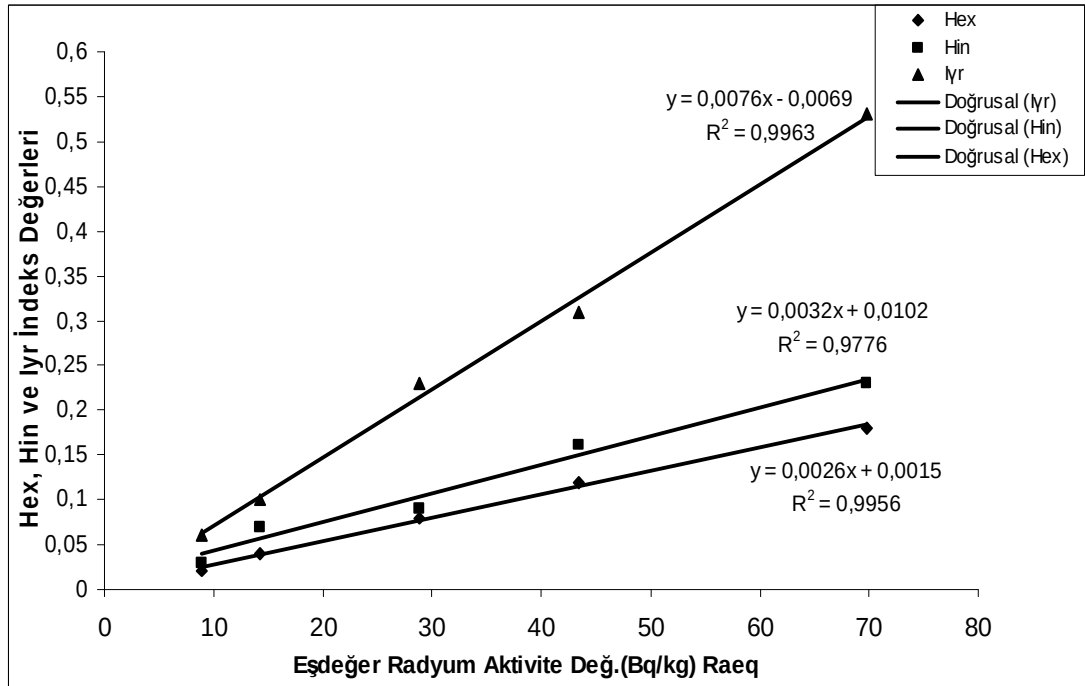
Temsili aktivite konsantrasyon (I_{yr}), ise tüm bazaltik türlerde, ölçülmüş, Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 0.53, Osmaniye Bazaltı'nda 0.31 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 0.23 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin, limit değer olan yıllık 1 mSv, doz oranını yaklaşık yarısına yakındır. Diğer 2 türde de bu değerler çok düşük kalmaktadır. Bu bağlamda, (I_{yr}) için, başka bir nokta ise Şekil 6.24 'de yapılan regresyon analizi sonucunda R_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , I_{yr} değerleri arasında lineer ve kuvvetli bir orantının olduğu yönündedir (H_{ex} - R_{eq} için $R^2=0.99$, H_{in} - R_{eq} için $R^2=0.97$ ve I_{yr} - R_{eq} için $R^2=0.99$).

Bazaltik numunelerin, dahili ve harici soğurulmuş doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; tüm türlerde, dahili soğurulmuş doz hızında, limit değer olan 84 nGyh^{-1} 'in altında değerler hesaplanmıştır. Buna göre, en yüksek değerler sırasıyla Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 64.4, Osmaniye Bazaltı'nda 37.8 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 27.8 olarak hesaplanmıştır. Osmaniye Bazaltik Pomza'sı limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahiptir. Ayrıca, dahili soğurulmuş doz hızı, Diyarbakır Bazalt 2 ve Diyarbakır Bazalt 1 türleri için sırasıyla, 13.2 ve 7.5 nGyh^{-1} olup, limit değer olan 84 nGyh^{-1} doz oranını çok altındadır.

Harici soğurulmuş doz hızında ise, sırasıyla, Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 33.8, Osmaniye Bazaltı'nda 19.9 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 14.0 nGyh^{-1} olarak hesaplanmış ve Osmaniye Bazaltik Pomza'sı limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahip olduğu görülmüştür.

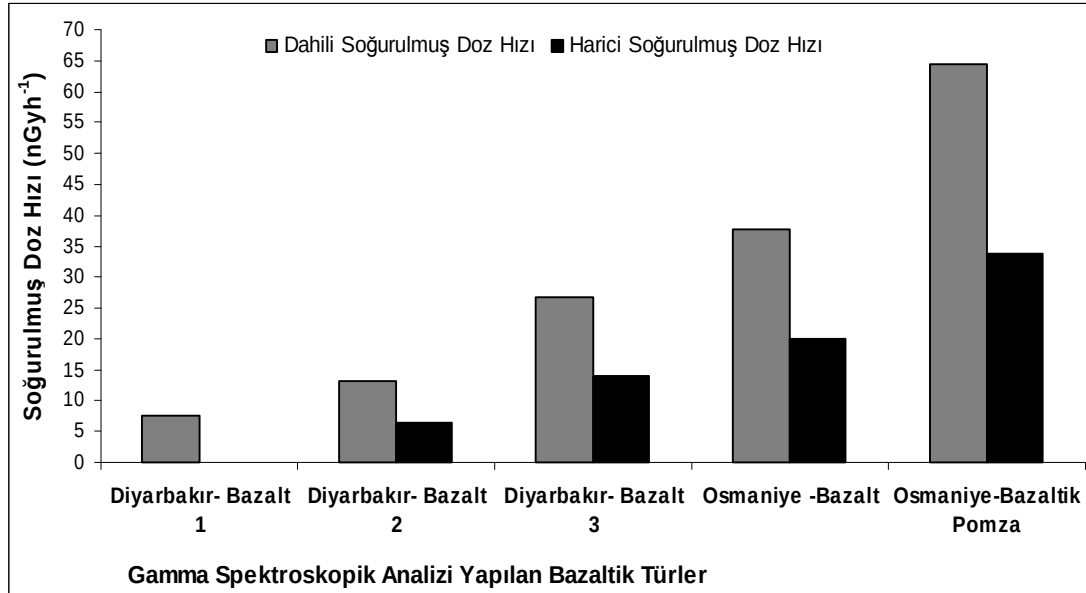


Şekil 6.23. Analizi yapılan bazaltik türlere ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri



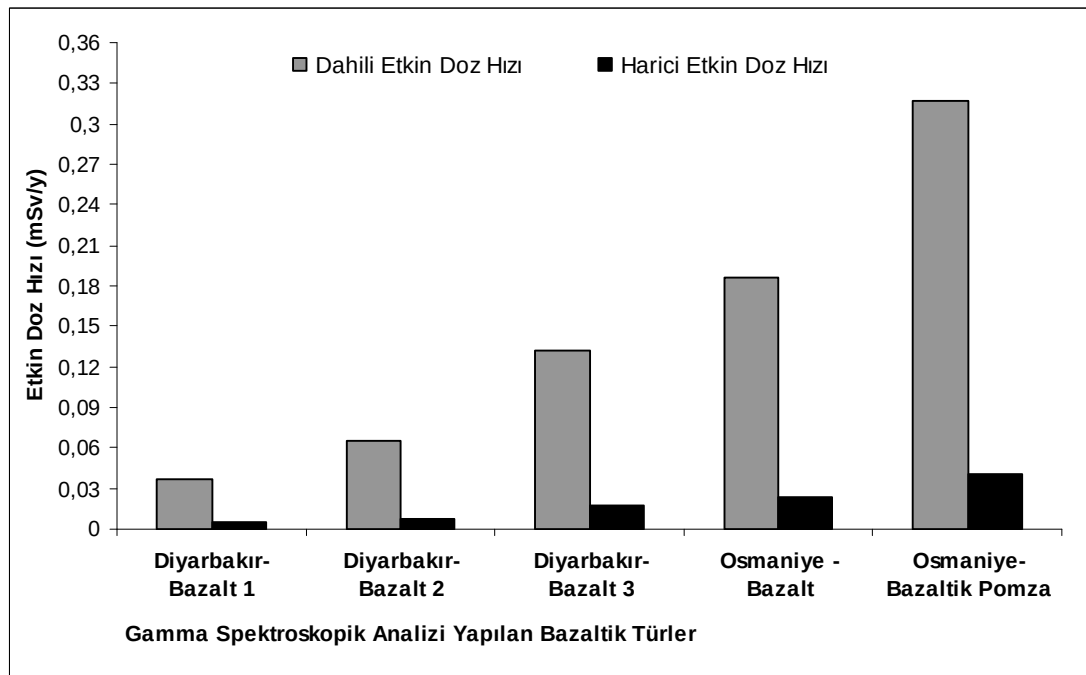
Şekil 6.24. R_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , I_{yr} değerleri arasındaki regresyon

Diyarbakır Bazalt 2 ve Diyarbakır Bazalt 1 türlerinin harici soğurulmuş doz hızları da, limit değer olan 55 nGyh^{-1} 'in altındadır (Şekil 6.25.).



Şekil 6.25. Analizi yapılan bazaltik türlere ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri

5 ayrı bazaltik türün en son olarak dahili ve harici etkin doz hızları hesaplanmış; dahili etkin doz hızında, yıllık limit değer olan 1 mSv/y 'ı aşan türler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 6.26.).



Şekil 6.26. Analizi yapılan bazaltik türlere ait dahili ve harici etkin doz değerleri

Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, yine Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 0.317, Osmaniye Bazaltı'nda 0.186 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 0.132 mSv/yıl'dır ve uluslararası kabul gören yıllık 1 mSv'in altındadır. Harici etkin doz hızında ise yine, en yüksek değerler, sırasıyla, Osmaniye Bazaltik Pomza'sında 0.041, Osmaniye Bazaltı'nda 0.024 ve Diyarbakır- Bazalt 3 için 0.017 mSv/yıl'dır. Tüm bazalt türleri, harici etkin doz hızı limit değeri olan 0.46 mSv/yıl'ın altındadır.

6.4.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Bazaltik Türlerin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması

Analizleri yapılan bazaltik türlerde, gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indekslerine göre hemen hemen tüm bazaltik numunelerde, genel ortalama değerlerin altında veriler saptanmıştır. Aktivite konsantrasyon oranlarına göre Osmaniye Bazaltik Pomza, Osmaniye Bazaltı, Diyarbakır Bazalt 3, Diyarbakır Bazalt 2 ve Diyarbakır Bazalt 1 bazaltik türleridir.

Bu bazalt türlerinin, radyasyon aktivite değerlerinin kaynağını saptamak amacıyla, mineralojik-petrografik yapılarını belirlemek, mineral ve mineral kompozisyonlarını incelemek gerekmektedir.

Bu amaçla, kendi içlerinde anomali gösteren tüm bazaltik türlerin, yine TAEK-SANAEM'de XRF ve EDS'leri çekilmiştir. Çizelge 6.11. ve Çizelge 6.12. de kendi içlerinde, radyoaktif anomali gösteren bazaltik türlerin, XRF (kimyasal analiz) değerleri ve Şekil 6.28. ve Şekil 6.30. da ise yine aynı türlere ait EDS'ler gösterilmiştir.

Doğal taş türlerinde radyoaktif minerallerin tayinine yardımcı olacak petrografik ve mineralojik bilgiler, 4. bölümde verilmişti. Bu bilgilere dayanarak, Çizelge 6.11. ve Çizelge 6.12.'deki kimyasal analiz değerlerinden aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkün olacaktır.

Bu değerlendirmeler yapılırken, koyu renkte yazılmış bazaltik türler, mineral türleri ve elementler, anomali gösteren türlere ait olup, başında *, ibaresi bulunan bazaltik türler ise düşük radyoaktivite değerleri içeren örneklerden toparlanmıştır. Bu amaçla hangi mineral gruplarının ve elementlerin radyasyona neden olduğu gözle görülebilecektir.

Çizelge 6.11. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazaltik türlere ait kimyasal analiz sonuçları

Bazaltik Türler	Kimyasal Analiz Değerleri (XRF) (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	SO ₃
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti	S
Diyarbakır- Bazalt 1	0.041	61.20	0.30	0.06	0.55	0.07	0.07	-	0.10	-
Diyarbakır- Bazalt 2	10.95	7.60	8.19	0.78	1.70	2.48	0.23	33.58	1.30	-
Diyarbakır- Bazalt 3	11.68	7.76	8.46	0.77	1.96	2.65	0.23	36.04	1.33	-
Osmaniye -Bazalt	13.67	7.44	9.12	1.11	5.19	3.22	0.70	40.37	1.83	-
Osmaniye-Bazaltik Pomza	12.70	7.34	9.21	1.33	5.11	2.88	0.73	45.21	2.26	-

Çizelge 6.12. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazaltik türlere ait tali element analiz sonuçları

Element Türü	Bazaltik Türlerde Tali Elementlerin PPM Cinsinden Miktarları				
	*Diyarbakır Bazalt 1	* Diyarbakır Bazalt 2	Diyarbakır Bazalt 3	Osmaniye Bazalt	Osmaniye Bazaltik Pomza
Sc	54	23	23	24	20
V	-	190	199	201	167
Cr	9	254	265	389	254
Mn	14	1073	1103	1384	1432
Co	2	48	48	56	51
Ni	9	114	119	335	278
Cu	-	46	49	63	53
Zn	5	76	78	84	76
Ga	-	22	22	18	11
As	-	7	4	1	1
Rb	1	14	14	16	14
Sr	196	442	445	956	944
Y	2	19	19	24	18
Zr	2	120	122	181	223
Nb	-	13	13	43	46
I	-	1	3	-	-
Cs	8	8	7	3	1
Ba	-	158	151	347	237
La	5	22	20	42	38
Ce	-	36	39	96	92
Nd	1	14	19	46	51
W	-	1	-	1	2
Pb	-	-	1	-	-
Th	1	3	2	4	5
U	1	2	2	4	7

*Diğer bazaltik türlere göre düşük seviye radyoaktiviteye sahip granitler

Radyoaktif hesaplamalarda, aktivite konsantrasyon ve doz oranları yüksek çıkan ve yöresel olmaları da göz önünde tutularak ve Osmaniye Bazaltı'ndaki kimyasal ve mineralojik veriler, hemen hemen Osmaniye Bazaltik Pomzası'na yakın olduğundan: sadece 2 bazaltik tür, (Osmaniye Bazaltik Pomza ve Diyarbakır- Bazalt 3) hakkında mineralojik yorumlar aşağıda verilmiştir.

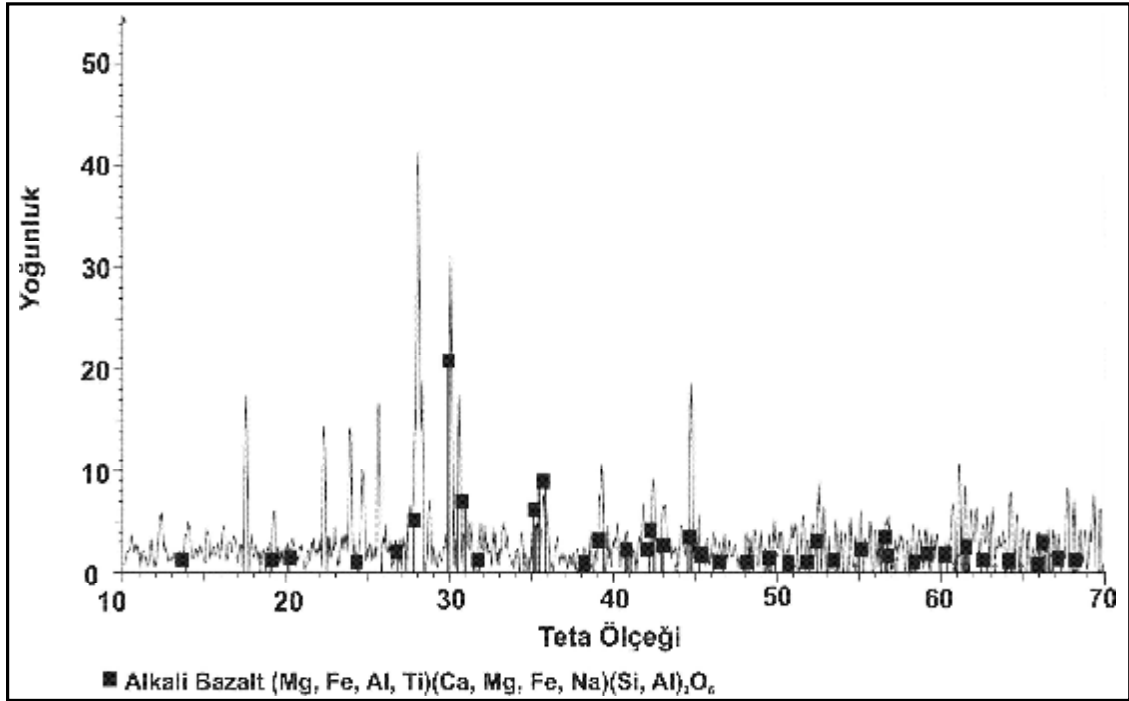
Osmaniye Bazaltik Pomza'da, elde edilen kimyasal veriler, bu bazaltik türdeki, doğal radyasyon düzeyine, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları değerler itibariyle mümkündür.

Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit ($\text{K}_2\text{O}_6(\text{MgFe})\text{OAl}_2\text{O}_3\cdot 6(\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O})$)) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır.

Bu bileşiklerdeki minerallerin, bazaltik kayalarda görülen, Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2) ve hematit (Fe_2O_3) tali mineral gruplarından olması ihtimali Heinrich (1958)'in kuramına uygundur. Şekil 6.27'deki görülen Osmaniye Bazaltik Pomza'sının XRD diyagramında, alkali bazalt ((Mg, Fe, Al, Ti)(Ca, Mg, Fe, Na)(Si, Al) $_2\text{O}_6$)(ojit)'ı oluşturan, Ti (titanyum), ve Fe (demir) elementleri de doğal radyoaktivitenin yüksek olmasının sebeplerinden olabilir. Çünkü, alkali bazaltlar, zengin ojit (Ca, Mg, Fe, Na)(Si, Al) $_2\text{O}_6$ ve plajiolaz (Na, Ca(Al Si $_3\text{O}_8$)) fenokristalleri ve demir oksit içeriği ile ince kristallerden oluşur. Ayrıca, alkali bazaltlarda, olivin, bu kayaç türünde, fayalit (FeSiO_4) uç üyelerine yakın, kahverengi veya siyah renkler içeren bir halde bulunur.

Ayrıca, içerdiği yüksek orandaki, Mg (magnezyum) içeriği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bazaltik türde, radyoaktiviteye neden olan Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon), Sr (stronsiyum) ve Nb (niyobyum) elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır.

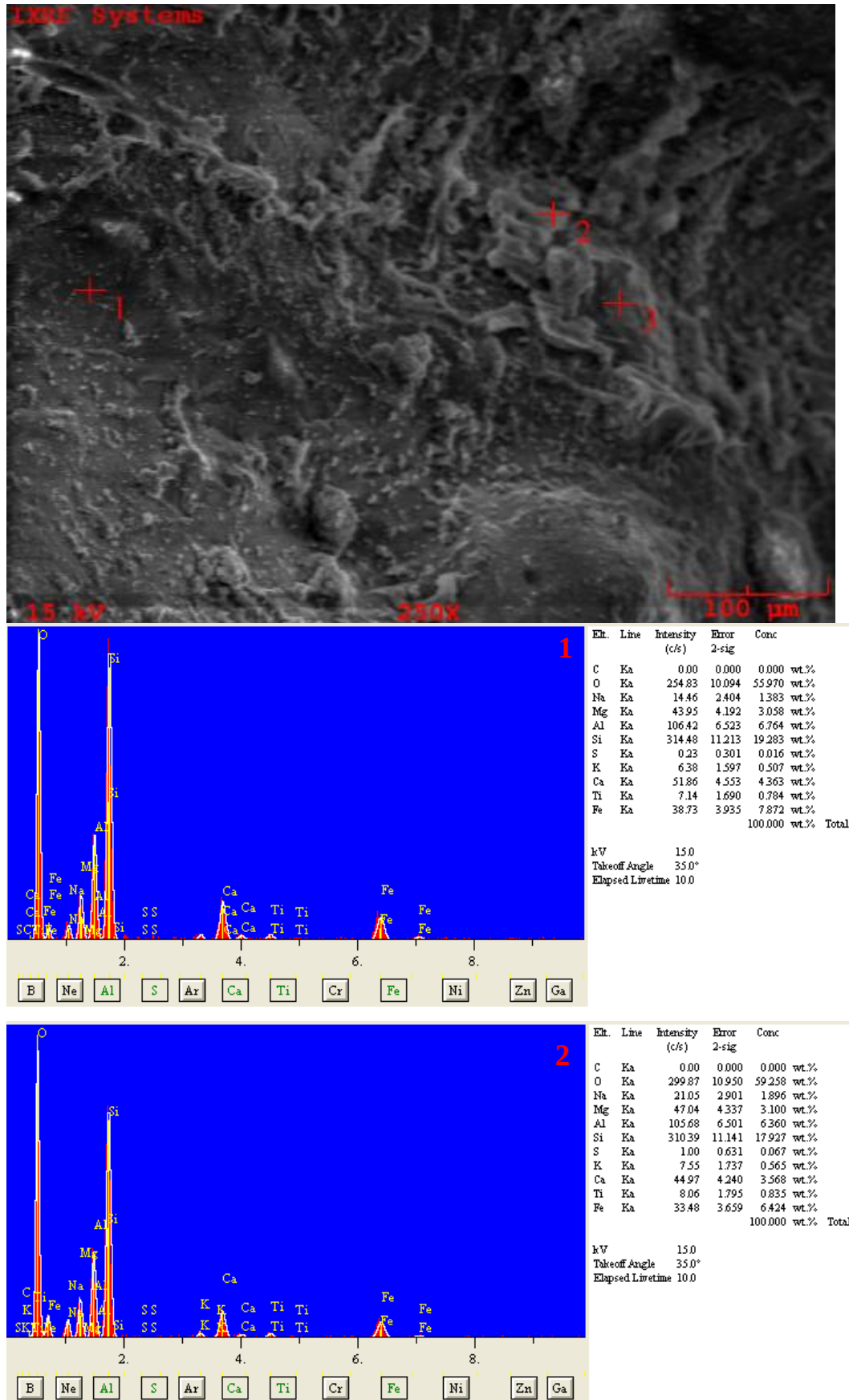


Şekil 6.27. Osmaniye Bazaltik Pomza türüne ait XRD diyagramı

Mn (mangan) elementinin 1432 ppm olması da nadiren euksenit (Y,Ce, U, Th(Ca, Mg,Mn)₂(Ti, Nb, Ta(Fe₃)O₆) ve kolumbit ((Fe,Mn)(Ta, Nb)₂O₆) mineralinin olabileceğini göstermiştir. Bu türe ait SEM ve EDS verileri Şekil 6.28’de görülmektedir.

Doğal radyoaktivite düzeyi bakımından, üçüncü sırada olan, fakat yöresel bazda, mineralojik açıdan bir farklılık gösteren Diyarbakır- Bazalt 3, bazalt türünün, elde edilen kimyasal veriler ışığında, doğal radyasyona, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları değerler itibariyle olasıdır.

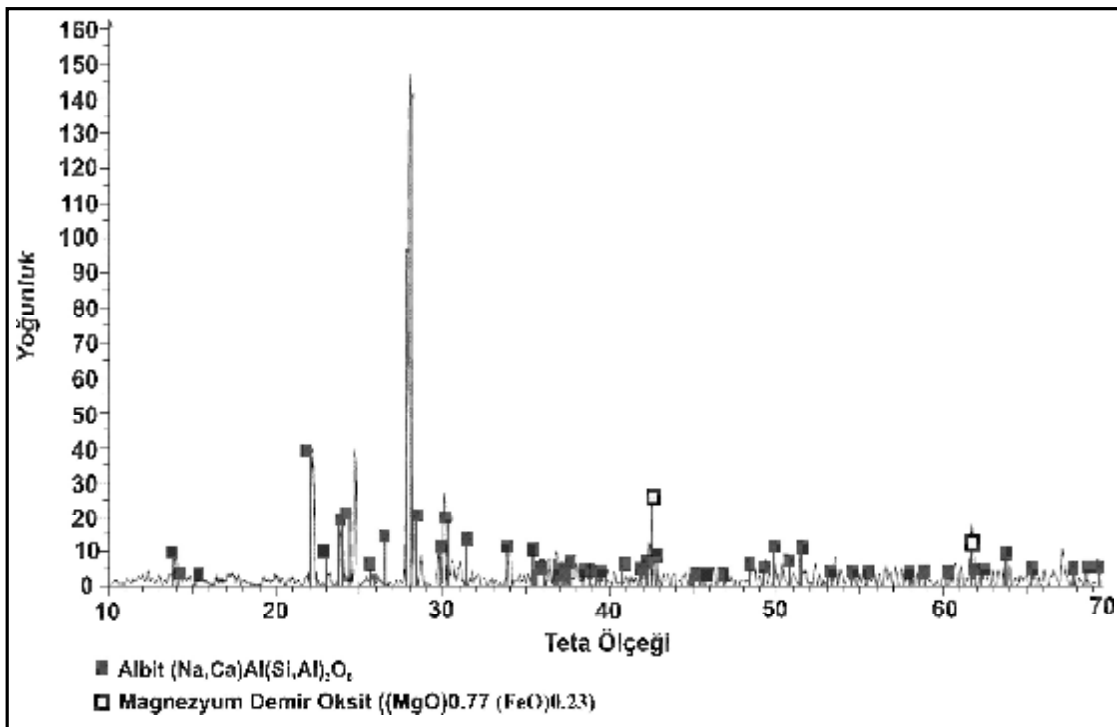
Hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U (uranyum veya uraninit (UO₂) ve Th (toryum veya uranotorit (U,Th)SiO₄) elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit (K₂O₆(MgFe)OAl₂O₃6(SiO₂.2H₂O)) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alabilir.



Şekil 6.28. Osmaniye Bazaltik Pomza türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 3. noktalar)

Bu bileşiklerdeki minerallerin, bazaltik türlerde görülen, Zirkon ($Zr(SiO_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2), hematit (Fe_2O_3), feldspatlar gurubundan bir plajioklas olan, albit ($Na(Si_3Al)O_8$) ve nadiren magnezyum demir oksit ($(MgO)0.77 (FeO)0.23$) (Şekil 6.29.) tali mineral gurupları içerir.

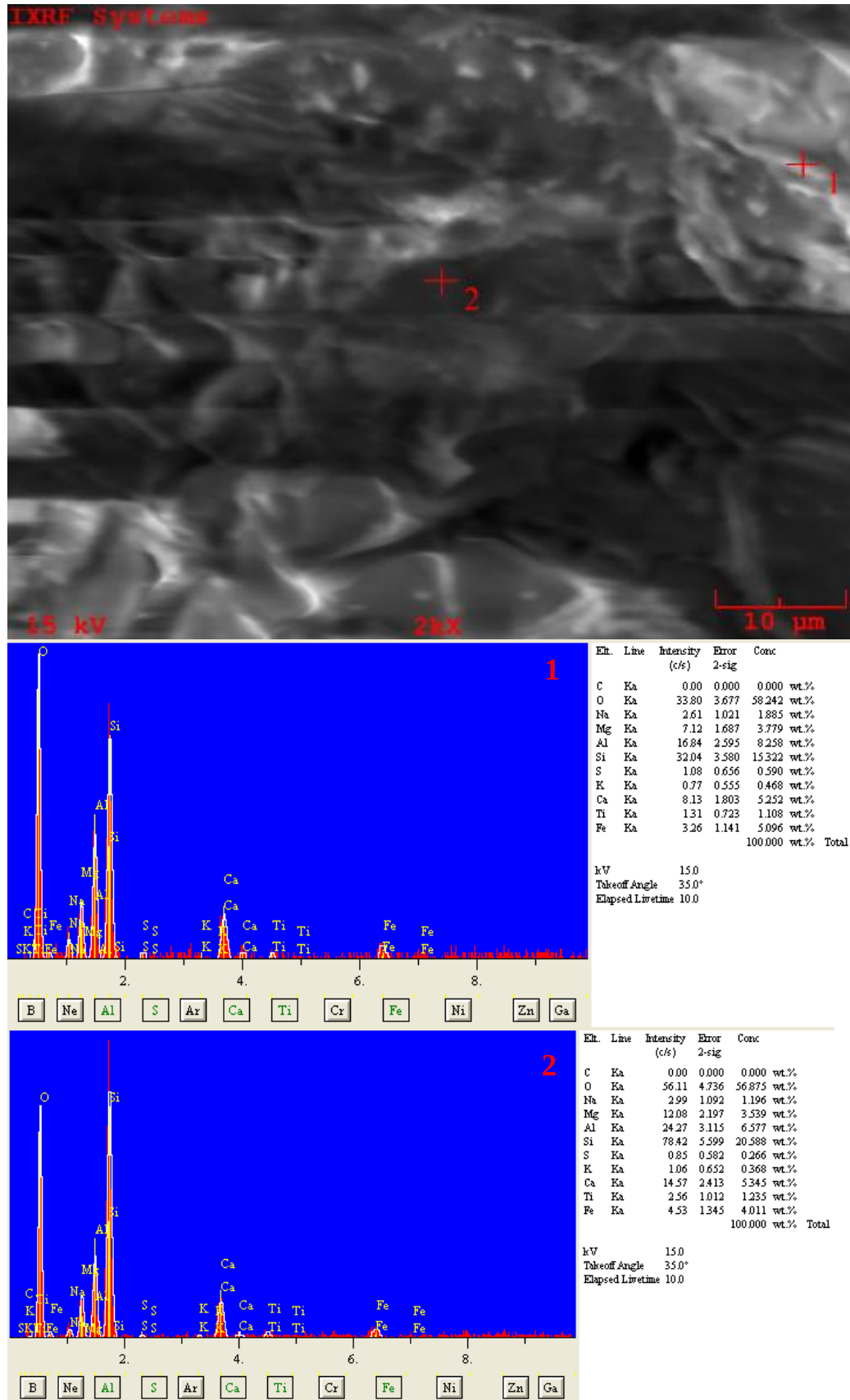
Ayrıca, bu bazaltik türde, radyoaktiviteye neden olan Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon), Sr (stronsiyum) ve Nb (niyobyum) elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır.



Şekil 6.29. Diyarbakır Bazalt 3 bazalt türüne ait XRD diyagramı

Mn (mangan) elementinin 1103 ppm olması da nadiren euksenit ($Y,Ce, U, Th(Ca, Mg,Mn)_2(Ti, Nb, Ta(Fe_3)O_6)$ ve kolumbit ($(Fe,Mn)(Ta, Nb)_2O_6$) mineralinin olabileceğini göstermiştir. Bu türe ait SEM ve EDS verileri Şekil 6.30’da görülmektedir.

Sonuç olarak elde edilen verilerden, çıkarıldıkları yöre itibariyle en fazla radyoaktivite ve radyoaktif mineral-element değerine sahip bazaltik türler, Osmaniye Bazaltik Pomzası ve Osmaniye Bazaltı olmuştur.



Şekil 6.30. Diyarbakır Bazalt 3 bazalt türüne ait SEM ve EDS verileri (1. ve 2. noktalar)

6.5. Diğer Bazı Endüstriyel Hammadde Türleri

Bu son bölümde, çoğunluğu Doğu Akdeniz Bölgesi'ne ait ve bu yörede inşaat sektöründe, kırma-blok taş, çimento ve boya katkı hammaddesi olarak kullanılan kireçtaşı ve kireç türlerini; ayrıca, cam-seramik-porselen sektörüne hammadde sağlayan Mersin yöresi kuvarsit türlerini ve en son olarak da Sivas yöresine ait ve son yıllarda kaplama ve süsleme taşı olarak sıkça kullanılan traverten türüne ait numunelerin, radyoaktivite, kimyasal ve mineralojik analizleri irdelenecektir.

Bu amaçla yukarıda bahsedilen 3 bölgeye ait endüstriyel hammadde türünde, örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve genel olarak Sivas Bölgesi Traverten türü de dahil , toplam 6 farklı doğaltaş türü üzerinde testler uygulanmıştır.

Çalışılan türler; Çizelge 6.13. da belirtilmekte olup, bu bazaltik türlerinin her birinin doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türlere ait, kimyasal ve petrografik özellikler içeren gerekli bilgiler ve yorumlar alt bölümlerde ayrı ayrı anlatılmaktadır

Çizelge 6.13. Analizlerde kullanılan endüstriyel hammadde türleri

DOĞALTAŞ TÜRÜ	DOĞALTAŞ ADI	BULUNDUĞU YER
Kireçtaşı	Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı	Adana
Kireç	Adana Karaisalı Bölgesi Kireç	Adana
Kireç	Adana Ceyhan Bölgesi Kireç	Adana
Kireçtaşı	Mersin Bölgesi Kireçtaşı	Mersin
Kuvarsit	Mersin Bölgesi Kuvarsit	Mersin
Traverten	Sivas Bölgesi Traverten	Sivas

6.5.1. Analizlerde Kullanılan Endüstriyel Hammadde Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri

Gamma spektrometrik analizleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)-SANAEM Nükleer Araştırma Merkezi'nde yapılan endüstriyel hammadde örnekleri, bir süre radyoaktif dengeye gelmeleri için, darası alınmış ve numaralandırılmış marinelli sayım kaplarında bekletilmelerinin ardından, Canberra 767 tip, gamma spektrometre cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde, her bir endüstriyel hammadde türü için yukarıda da belirtildiği gibi, TAEK tarafından öngörülen miktarlar olan, 5 ila10 adet, 500-1000

gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu numunelerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Ölçümler sonucunda, endüstriyel hammadde numunelerinin içerdiği, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklid konsantrasyonlarının ortalama değerleri, (Bq/kg) cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca, bu aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak, Ra_{eq} değerleri, bulunmuştur. Deneyde kullanılan hammadde türlerinin, yerleşim yerlerinde yapıtaşı olarak kullanılacağı da varsayılarak dahili ve harici soğurulmuş doz ve etkin doz hızları, tehlike indeksleri (H_{ex} ve H_{in}), temsili aktivite konsantrasyon(I_{vr}) indeksleri de belirlenmiştir.

Radyonüklid ölçüm sonuçları, doz hızları ve indeks hesaplamaları Çizelge 6.14. de detaylı olarak verilmiştir.

6 hammadde türüne ait radyasyon aktivite değerleri, genelde endüstriyel alanlarda kullanılan türler için baz alınan ve dünyada kabul edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K için sırasıyla, 40, 40, 400 Bq/kg ve Ra_{eq} için 370 Bq/kg değerleri ile kıyaslanmıştır.

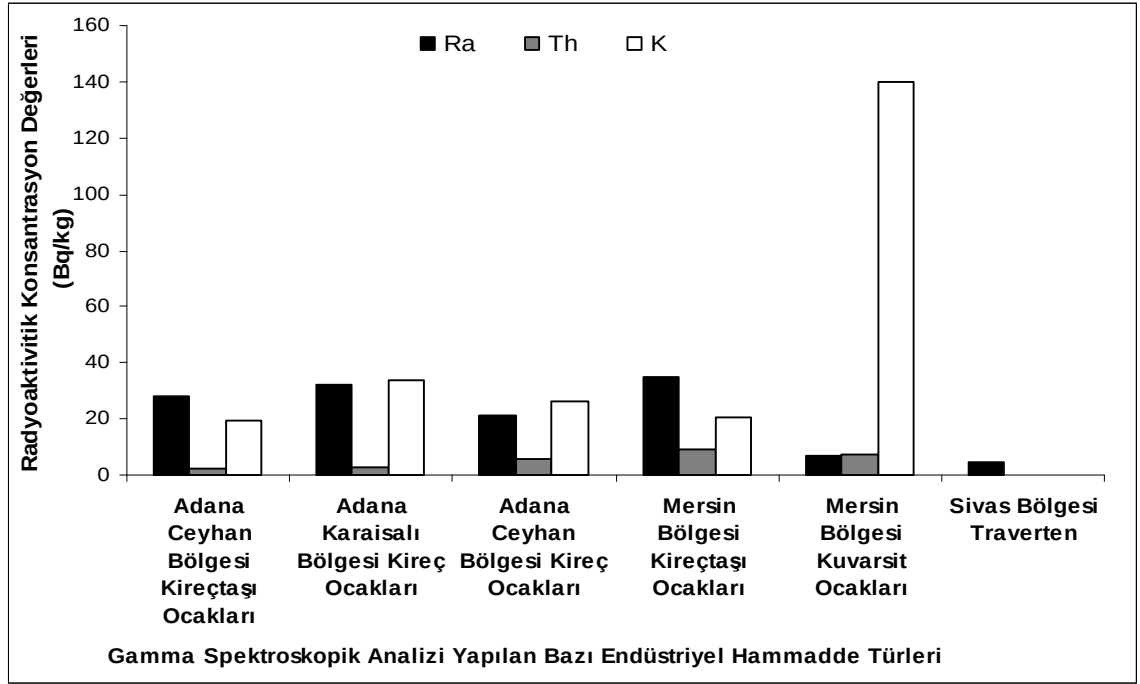
Analizlerde yapılan ölçümler neticesinde, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten numunelerinin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için limit aktivasyon değerler olan, 40, 40, 400 Bq/kg'ın çok altında olduğu gözlenmiştir. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları, ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan alınan numunelerin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerleri, sırasıyla, 34,9, 9,1, 20,5 Bq/kg, 32,4, 3,0. 34,1 Bq/kg ve 28,3, 2,2, 19,3 Bq/kg olup, endüstriyel türler içinde en yüksek aktivasyonu olan türlerdir ve limit değerlerin altındadır.

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerlerinin büyüklüğüne göre diğer endüstriyel türler ise, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten 'dir (Şekil 6.31.).

Çizelge 6.14. Analizleri yapılan endüstriyel hammadde türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri

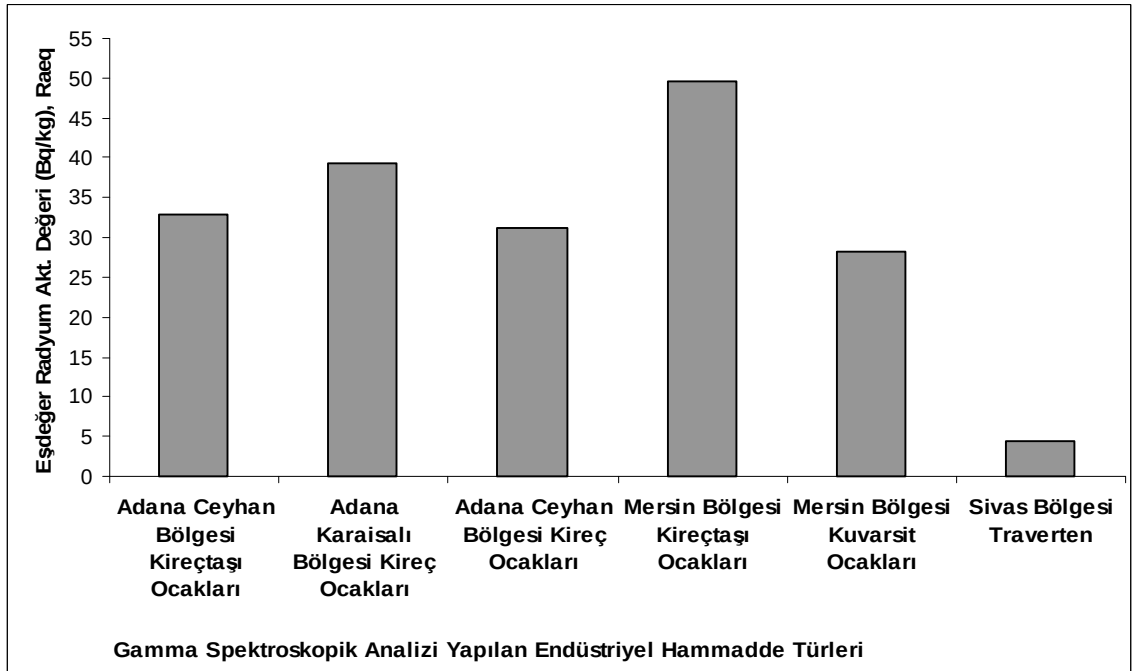
Endüstriyel Hammadde Türleri	Radyasyon Aktivite Ortalama Değerleri (Bq /kg)			Ra _{eq} (Bq /kg)	H _{ex}	H _{in}	I	Soğurulmuş Doz Hızı (nGy h ⁻¹)		Etkin Doz Hızı (mSv/y)	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					Dahili	Harici	Dahili	Harici
Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	28.3	2.2	19.3	32.93	0.09	0.17	0.11	30.0	15.2	0.148	0.019
Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	32.4	3.0	34.1	39.31	0.11	0.19	0.13	35.8	18.2	0.176	0.022
Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	21.2	5.6	26.5	31.24	0.08	0.14	0.15	27.8	14.3	0.137	0.018
Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	34.9	9.1	20.5	49.49	0.13	0.23	0.16	43.8	22.5	0.215	0.028
Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	6.9	7.3	140.0	28.11	0.08	0.09	0.05	25.6	13.4	0.126	0.016
Sivas Bölgesi Traverten	4.4	MDA	MDA	4.4	0.01	0.02	0.01	4.0	2.0	0.019	0.002
Ortalama Değerler	21.4	4.5	40.1	30.91	0.08	0.14	0.102	27.8	14.3	0.136	0.017

Not: MDA (Minimum Detectible Activity) değerleri sayım süresine bağlı olarak ²²⁶Ra için 2,7 Bq/kg ila 4,2 Bq/kg arasında, ²³²Th için 2,5 Bq/kg ila 4,7 Bq/kg arasında, ⁴⁰K için 7,3 Bq/kg ila 14,8 Bq/kg arasında değişmektedir.



Şekil 6.31. 6 Farklı endüstriyel hammadde türüne ait radyasyon aktivite değerleri (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K)

Numunelerin, eşdeğer radyum aktivite, Ra_{eq} ölçümlerinde de yine en yüksek değerler sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 49.49, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 39.31 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan alınan numuneler için 32.93 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Tüm ölçülen, endüstriyel hammadde türlerinde, dünyada kabul gören 370 Bq/kg'ın altında değerler mevcuttur. (Şekil 6.32).



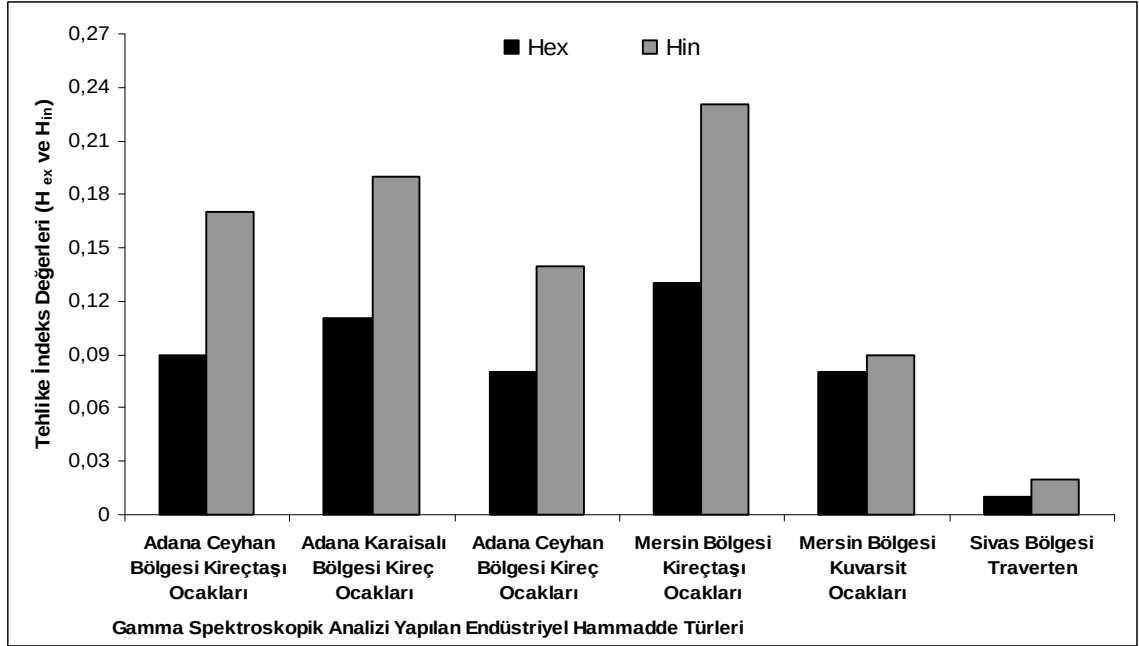
Şekil 6.32. 6 Farklı endüstriyel hammadde türüne ait Ra_{eq} (eşdeğ. radyum akt.) değerleri

Hesaplanan radyonüklid konsantrasyon değerlerinden, analizi yapılan endüstriyel hammadde türlerinin yerleşim birimlerinde, iç ve dış kaplama malzemesi ya da başka amaçlı kullanımlarının uygun olup olmadığı ile ilgili harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indekslerinin de hesaplanması gerektiğinden, 6 farklı endüstriyel hammadde türüne ait en yüksek H_{ex} , sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.13, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0.11 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.09 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, uluslararası kabul gören 1 değerinden oldukça düşüktür. Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten türleri için de, harici tehlike (H_{ex}) indeks değerleri uluslararası kabul gören 1 'den oldukça küçüktür. H_{in} indeksinde ise aynı durum söz konusu olmakla beraber, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.23, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0.19 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.17 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.33.).Tüm endüstriyel hammadde türlerinin H_{in} değerleri 1 mSv/yıl'ın altındadır.

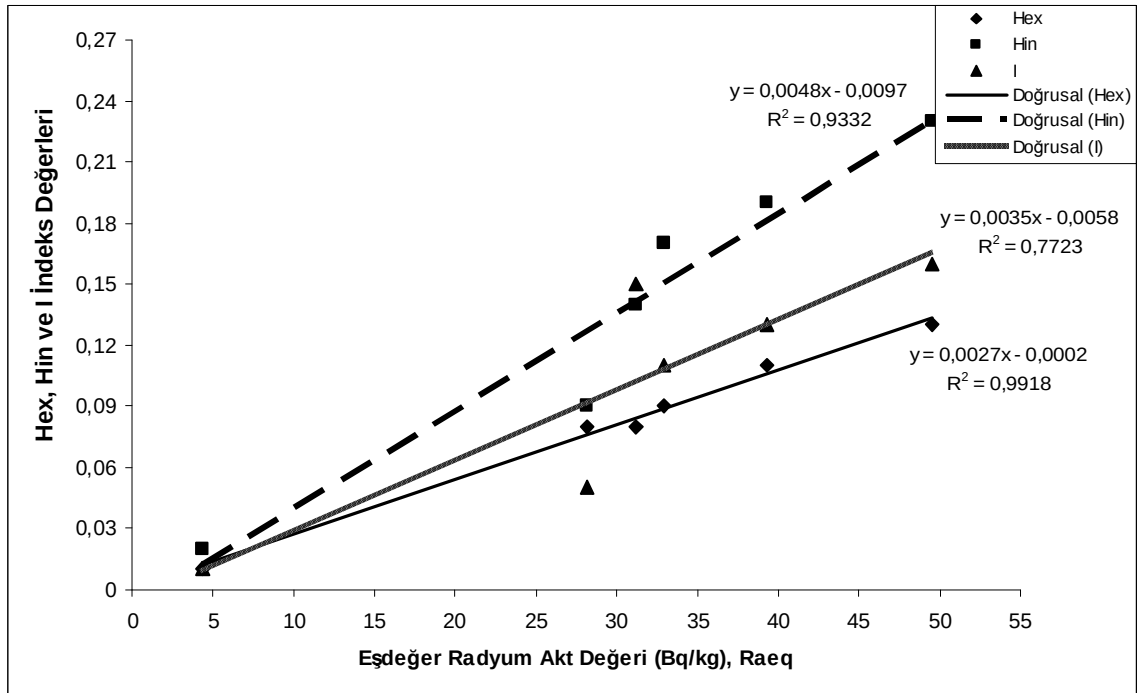
Önceki hesaplamalarda, temsili aktivite konsantrasyon (I_{yr}) değerini kullanmış olmamıza karşın, endüstriyel hammadde türlerinde, doğaltaş türü olarak doğal radyasyon tehlikesi daha düşük olduğundan, normal malzemeler için kullanılan aktivite konsantrasyon indeksi I' 'yı kullanmak gerekmektedir. I, tüm endüstriyel türlerde, ölçülmüş: Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.16, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları için 0.15, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0.13 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.11 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin, limit değer olan yıllık 1 mSv, doz oranını yaklaşık 1/10'una yakındır. Diğer 2 türde de bu değerler çok düşük kalmaktadır. Bu bağlamda, (I) için, başka bir nokta ise Şekil 6.34 'de yapılan regresyon analizi sonucunda R_{eq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , I_{yr} değerleri arasında lineer ve kuvvetli bir orantının olduğu yönündedir (H_{ex} - R_{eq} için $R^2=0.99$, H_{in} - R_{eq} için $R^2=0.93$ ve I - R_{eq} için $R^2=0.77$). Buradaki I değerinin, öteki değerlerden düşük bir regresyon oluşturması, endüstriyel türlerdeki, orantısız ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K dağılımından ötürüdür.

Endüstriyel türlere ait numunelerin, dahili ve harici soğurulmuş doz hızları, ayrı ayrı hesaplanmış; tüm türlerde, dahili soğurulmuş doz hızında, limit değer olan 84 nGyh^{-1} 'in altında değerler hesaplanmıştır. Buna göre, en yüksek değerler sırasıyla Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 43.8, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 35.8 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 30 nGyh^{-1} olarak hesaplanmıştır.

Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 43.8 nGyh^{-1} 'lık değer, limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahiptir. Ayrıca, dahili soğurulmuş doz hızı, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten türleri için sırasıyla, 27.8, 25.6 ve 4.0 nGyh^{-1} olup, limit değer olan 84 nGyh^{-1} doz oranını çok altındadır.



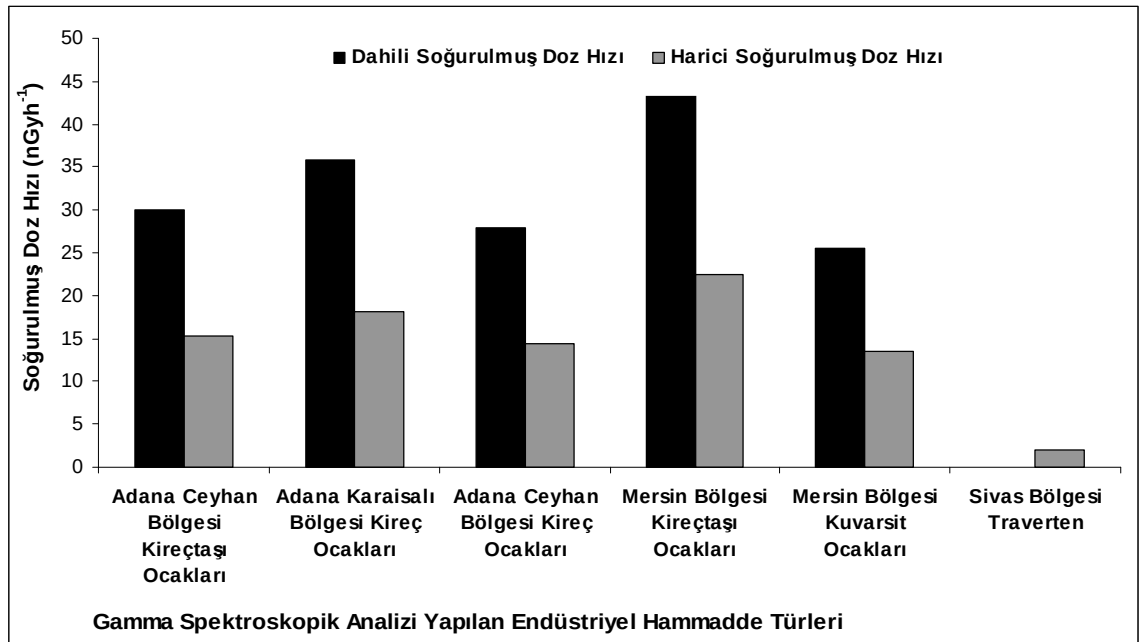
Şekil 6.33. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) indeksleri



Şekil 6.34. R_{aeq} değeri ile H_{ex} , H_{in} , $I_{\gamma r}$ değerleri arasındaki regresyon

Harici soğurulmuş doz hızında ise, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 22.5, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 18.2 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 15.2 nGyh^{-1} olarak hesaplanmış ve Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'nın limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahip olduğu görülmüştür.

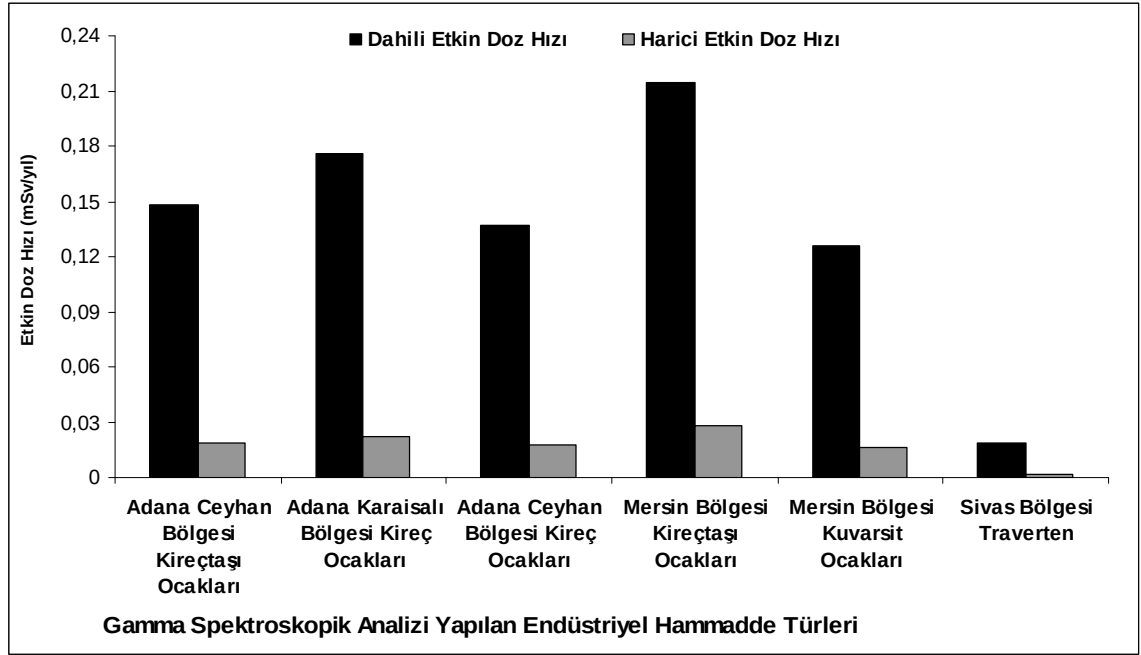
Diğer endüstriyel türlerin harici soğurulmuş doz hızları da, limit değer olan 55 nGyh^{-1} 'in altındadır. (Şekil 6.35.).



Şekil 6.35. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait dahili ve harici soğurulmuş doz değerleri

Ayrıca, 6 ayrı endüstriyel türün en son olarak dahili ve harici etkin doz hızları hesaplanmış; dahili etkin doz hızında, yıllık limit değer olan 1 mSv 'ı aşan türler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 6.36.).

Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, yine Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.215, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0.176 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.148 mSv/yıl 'dır ve uluslararası kabul gören yıllık 1 mSv 'in altındadır. Harici etkin doz hızında ise yine, en yüksek değerler, sırasıyla Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.028, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0.022 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.019 mSv/yıl 'dır. Tüm endüstriyel türler, harici etkin doz hızı limit değeri olan 0.46 mSv/yıl 'ın altındadır



Şekil 6.36. Analizi yapılan endüstriyel türlere ait dahili ve harici etkin doz değerleri

6.5.2. Analizlerde Kullanılan ve Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Endüstriyel Hammadde Türlerinin Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması

Analizleri yapılan endüstriyel hammadde türlerinde, gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indekslerine göre tüm numunelerde, genel ortalama değerlerin altında veriler saptanmıştır. Aktivite konsantrasyon oranlarına göre, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten türleridir.

Bu endüstriyel türlerinin radyasyon aktivite değerlerinin hangi nedenle; düşükte olsa, radyoaktivite değerleri içerdiğini saptamak amacıyla, mineralojik-petrografik yapılarını belirlemek, mineral ve mineral kompozisyonlarını incelemek gerekmektedir. Bu amaçla, kendi içlerinde anomali gösteren tüm bazaltik türlerin, yine TAEEK-SANAEM'de XRF ve XRD'leri çekilmiştir. Çizelge 6.15. ve Çizelge 6.16. de kendi içlerinde, radyoaktif anomali gösteren endüstriyel türlerin, XRF (kimyasal analiz) değerleri ve Şekil 6.37. ve Şekil 6.38. de ise yine aynı türlere ait XRD'ler gösterilmiştir.

Doğal taş türlerinde radyoaktif minerallerin tayinine yardımcı olacak petrografik ve mineralojik bilgiler, 4. bölümde verilmişti. Bu bilgilere dayanarak, Çizelge 6.15. ve

Çizelge 6.16.'daki kimyasal analiz değerlerinden aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkün olacaktır. Bu değerlendirmeler yapılırken, koyu renkte yazılmış endüstriyel hammadde türleri, mineral türleri ve elementler, anomali gösteren türlere ait olup, başında *, ibaresi bulunan endüstriyel hammadde türleri ise diğerlerine oranla, düşük radyoaktivite değerleri içeren örneklerden toparlanmıştır.

Bu amaçla hangi mineral gruplarının ve elementlerin radyasyona neden olduğu gözle görülebilecektir. Radyoaktif hesaplamalarda, aktivite konsantrasyon ve doz oranları yüksek çıkan ve yöresel olmaları da göz önünde tutularak, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları ve Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları hakkında mineralojik yorumlar aşağıda verilmiştir.

Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan, elde edilen kimyasal veriler, bu endüstriyel türdeki, doğal radyasyon düzeyine, diğer doğaltaş türlerinde olduğu gibi, Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları diğerlerine nazaran, değerler, itibariyle mümkündür.

Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit ($\text{K}_2\text{O}_6(\text{MgFe})\text{OAl}_2\text{O}_3\cdot 6(\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O})$)) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır.

Bu bileşiklerdeki minerallerin, endüstriyel hammadde türlerini oluşturan, kayaçlarda görülen, Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2) ve hematit (Fe_2O_3) tali mineral gruplarından olması ihtimali Heinrich (1958)'in kuramına uygundur.

Şekil 6.37'de görülen Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları 'nın XRD diyagramında, Kalsit 'i oluşturan CaCO_3 minerali oldukça yüksek oranda görülebilir fakat bu radyoaktivite bazda önemli bir faktör değildir.

Bu endüstriyel türün, düşük de olsa, eser miktarlarda, Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Sr (stronsiyum) elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır.

Özellikle Sr (stronsiyum) elementi değerinin 234 ppm ve ayrıca, Mn (mangan) elementinin 70 ppm olması da nadiren euksenit ($\text{Y,Ce, U, Th}(\text{Ca, Mg,Mn})_2(\text{Ti, Nb, Ta}(\text{Fe}_3)\text{O}_6)$ ve kolumbit ($(\text{Fe,Mn})(\text{Ta, Nb})_2\text{O}_6$) mineralinin olabileceğini göstermiştir.

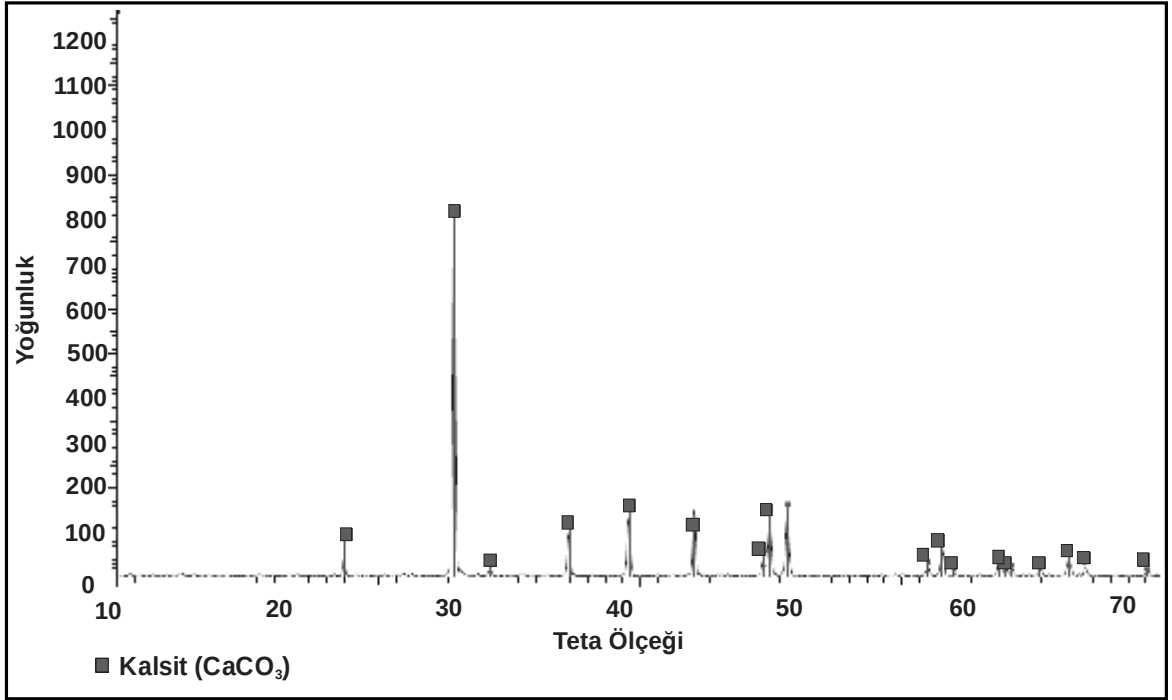
Çizelge 6.15. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait kimyasal analiz sonuçları

Bazı Endüstriyel Hammadde Türleri	Kimyasal Analiz Değerleri (XRF) (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	SO ₃
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti	S
Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	-	61.8	0.15	0.04	0.52	0.49	0.03	-	0.09	-
Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	0.38	68.5	0.16	-	0.75	0.02	0.05	0.35	0.08	-
Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	0.21	69.9	0.18	-	0.81	0.04	0.04	0.25	0.12	-
Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	-	62.2	0.24	0.14	0.50	0.05	0.03	-	0.21	-
Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	1.79	1.3	0.09	0.45	0.65	0.42	0.05	43.13	0.42	-
Sivas Bölgesi Traverten	12.70	61.6	0.20	0.03	0.69	0.08	0.02	-	0.09	-

Çizelge 6.16. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait tali element analiz sonuçları

Element Türü	Bazı Endüstriyel Hammadde Türlerinde Tali Elementlerin PPM Cinsinden Miktarları					
	* Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	*Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	*Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	*Sivas Bölgesi Traverten
Sc	52	48	65	54	28	52
V	7	9	11	4	3	-
Cr	12	7	9	9	1	3
Mn	71	181	198	70	23	16
Co	-	-	-	3	-	1
Ni	4	3	3	3	2	2
Cu	-	-	72	-	-	-
Zn	2	65	-	2	3	4
Ga	-	-	-	-	-	-
As	-2	1	2	-	-	-
Rb	1	1	1	1	1	1
Sr	234	502	743	234	150	280
Y	1	-	-	1	1	-
Zr	1	3	2	1	8	1
Nb	-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	7
Cs	14	17	12	6	5	11
Ba	-	62	80	-	-	-
La	3	2	4	4	6	12
Ce	-	-	-	-	-	2
Nd	4	5	4	7	3	4
W	-	-	-	-	-	3
Pb	-	-	-	-	-	-
Th	-	1	1	2	1	1
U	4	1	1	4	2	-

*Diğer endüstriyel hammadde türlerine göre düşük seviye radyoaktiviteye sahip türler



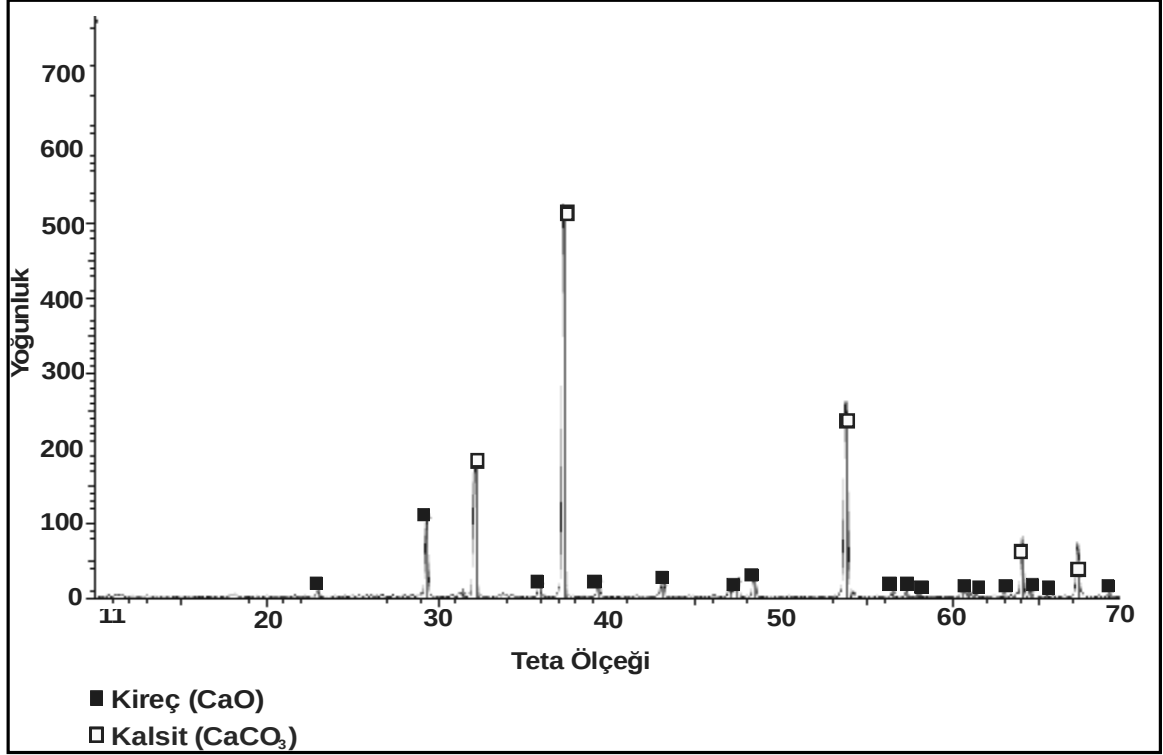
Şekil 6.37. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'na ait numunelerden bir XRD diyagramı

Doğal radyoaktivite düzeyi bakımından, ikinci sırada olan, fakat yöresel bazda, mineralojik açıdan bir farklılık gösteren Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'ndan elde edilen numunelerin, ölçülen kimyasal veriler ışığında, doğal radyasyona, yine aynı faktörlerin, yani Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları değerler itibariyle olasıdır.

Ayrıca, endüstriyel hammadde türlerini oluşturan, kayalarda görülen, Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2) ve hematit (Fe_2O_3) tali mineral guruplarından olması mümkündür. Şekil 6.38'de görülen Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'nın XRD diyagramında, Kalsit (CaCO_3) az miktarlarda ve Kireçi oluşturan CaO bileşikleri oldukça yüksek oranda görülebilir fakat bu radyoaktivitik bazda önemli bir faktör değildir.

Bu endüstriyel türün de tıpkı, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları gibi, düşük de olsa, eser miktarlarda, Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Sr (stronsiyum) elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle Sr

(stronsiyum) elementi değerinin 502 ppm ve ayrıca, Mn (mangan) elementinin 181 ppm olması da doğal radyoaktiviteyi artıran bir unsurdur



Şekil 6.38. Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'na ait numunelerden bir XRD diyagramı

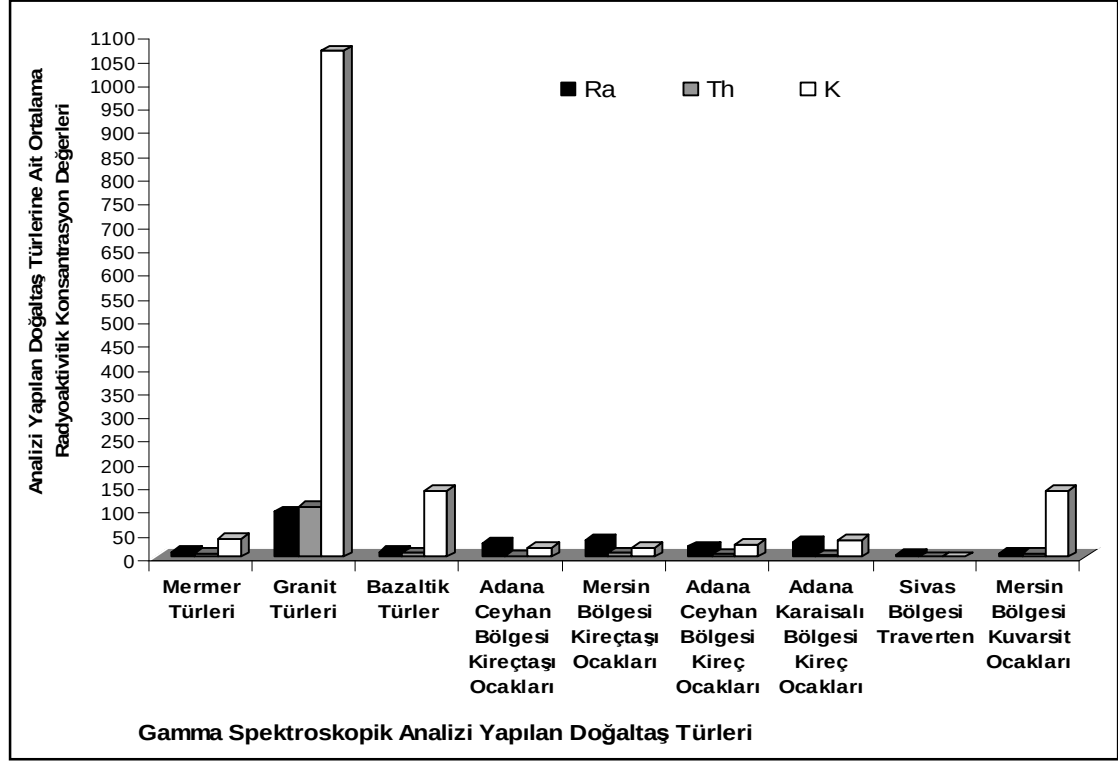
Sonuç olarak elde edilen verilerden, çıkarıldıkları yöre itibariyle en fazla radyoaktivite ve radyoaktif mineral-element değerine sahip endüstriyel hammadde türleri, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları ve Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları bölgesinden çıkarılan hammaddeler olmuştur.

6.6. Bulguların Sentezi

6.6.1. Doğal Taş Türlerinden Elde Edilen Radyoaktivitik Hesaplamalar ve Sonuçları

Bu bölümde ilk olarak, doğal radyasyon ölçümleri ve konsantrasyonları belirlenen tüm doğal taş türlerinin (^{226}Ra ve ^{232}Th ürün radyonüklitlerinin ve ^{40}K radyoizotopunun özgün radyoaktivitik konsantrasyonları) şematik olarak karşılaştırılması yerinde olacaktır.

Şekil 6.39.'dan da görüldüğü üzere, Granit tipi doğal taş türlerinde, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları, diğer doğal taş türlerinden daha fazla olup, sırasıyla, ortalama, 94.39, 105.88 ve 1066.71 Bq/kg'lık değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

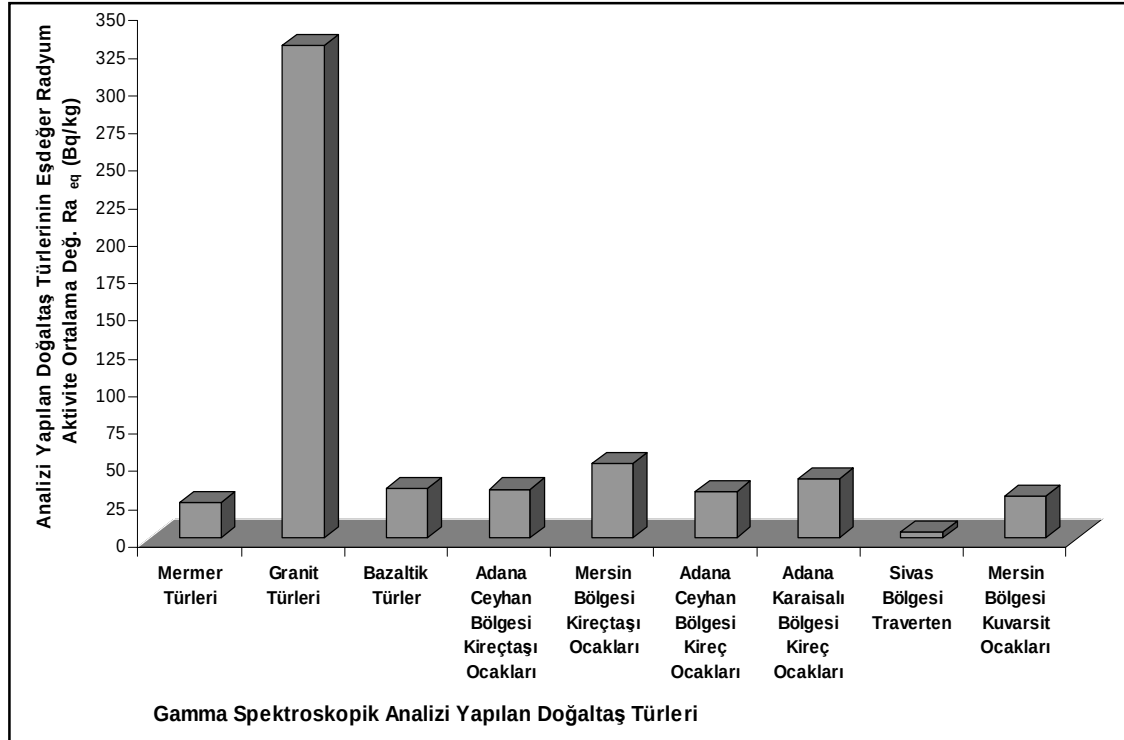


Şekil 6.39. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarının şematik olarak karşılaştırılması

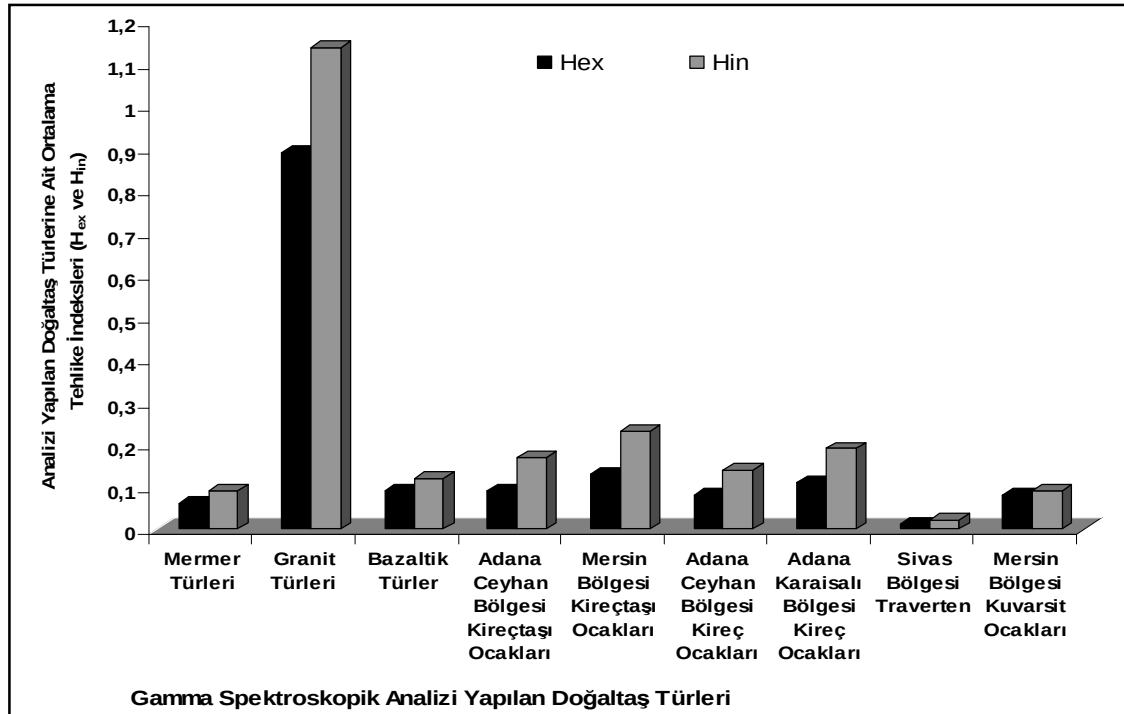
^{40}K radyonüklidinin tek başına ihtiva ettiği yüksek konsantrasyonlar nedeniyle, yine bu doğal taş türü için hesaplanan; eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra_{eq}) (Şekil 6.40.), iç (H_{in}) ve dış (H_{ex}) tehlike indeksleri (Şekil 6.41.), aktivite konsantrasyon indeksleri (I_{yr}) ve (I) (Şekil 6.42.), soğurulmuş doz hızları (Şekil 6.43.) ve etkin doz hızları (Şekil 6.44.) da limitlerin üzerinde veya sınırında ortalama değerler almışlardır.

Analizi yapılan, 7 farklı granit tipi doğal taş türlerinde, açığa çıkması kuvvetle muhtemel radon ve toron gazlarının solunması ve bunların, kanserojen bir madde olması sebebiyle, hemen hemen tümü yapıtaşı olarak kapalı ortamlarda kullanılması sakıncalı olmasına rağmen, Bandırma Granit ve Giresun Vizon türleri, yapıtaşı olarak kapalı ortamlarda kesinlikle kullanılmamalıdır. Dış ortamlarda kullanım için ise, yine tüm granit türleri (direkt olarak soluma yoluyla alınan radon ve toron tipi kanserojen gazlarının, açık havadaki derişimleri düştüğünden) sakıncalı olmakla beraber, Bandırma Granit ve Giresun Vizon türleri dahil, hava akımlarının yüksek olduğu yerlerde

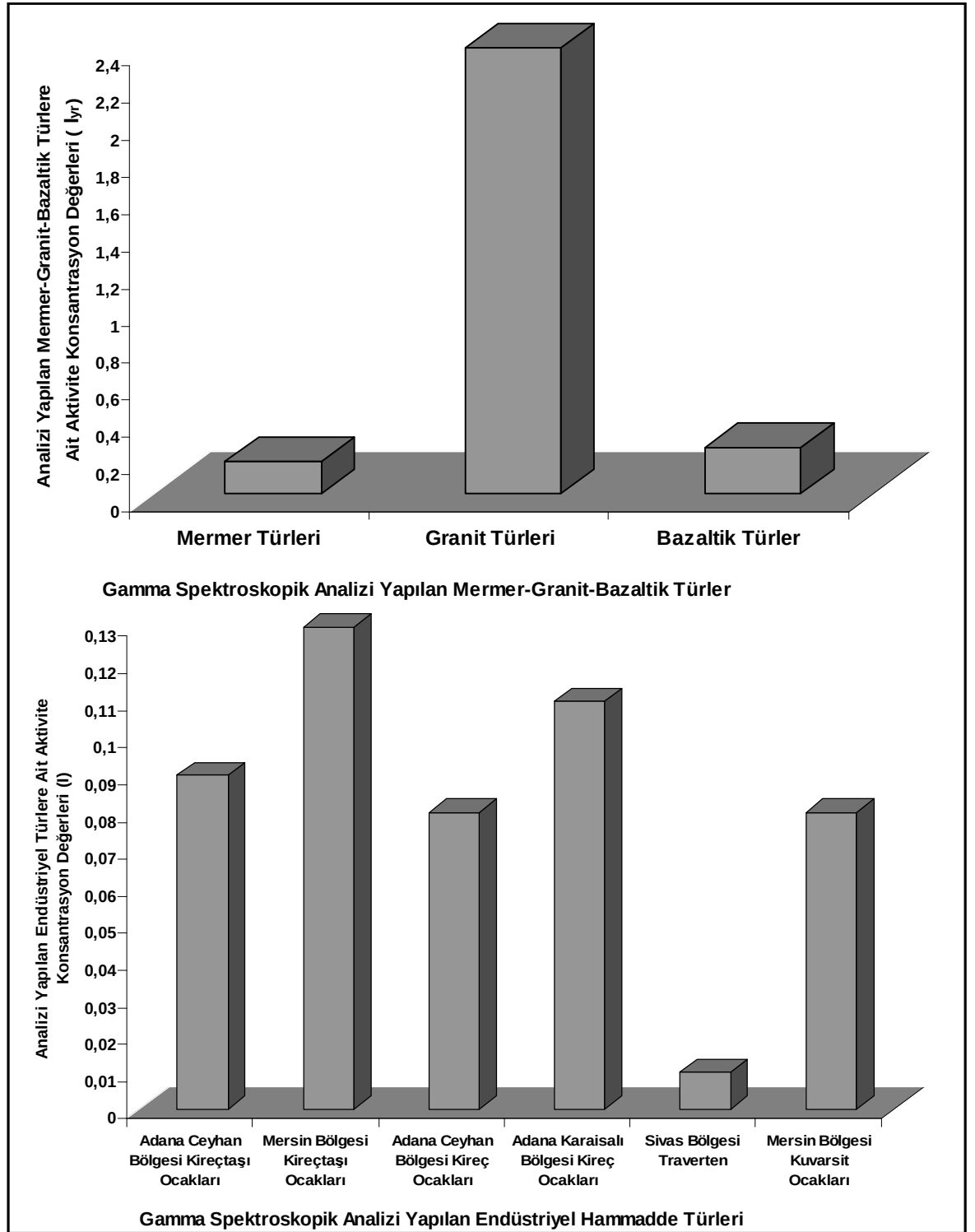
kullanılması uygun olabilir. Fakat, açık hava akımlarının yoğun olması, kanser olma riskini azaltıcı bir unsurdur ve tamamen bu riski ortadan kaldırmaz.



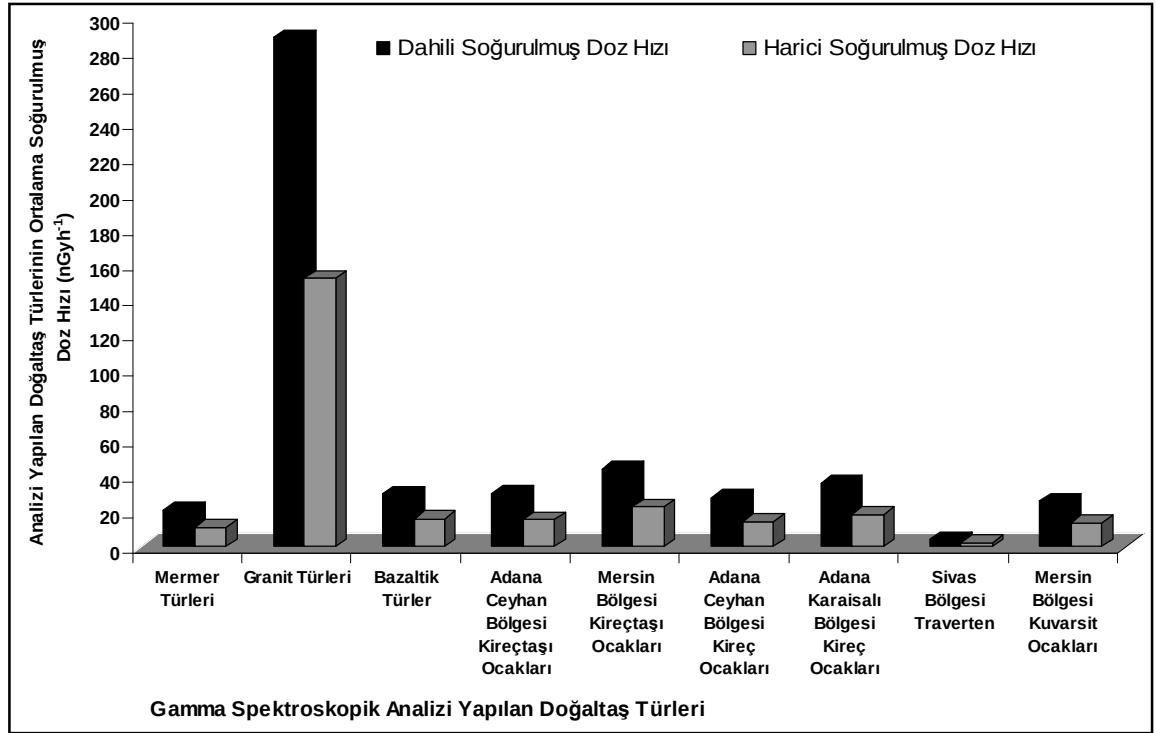
Şekil 6.40. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra_{eq}) açısından şematik olarak karşılaştırılması



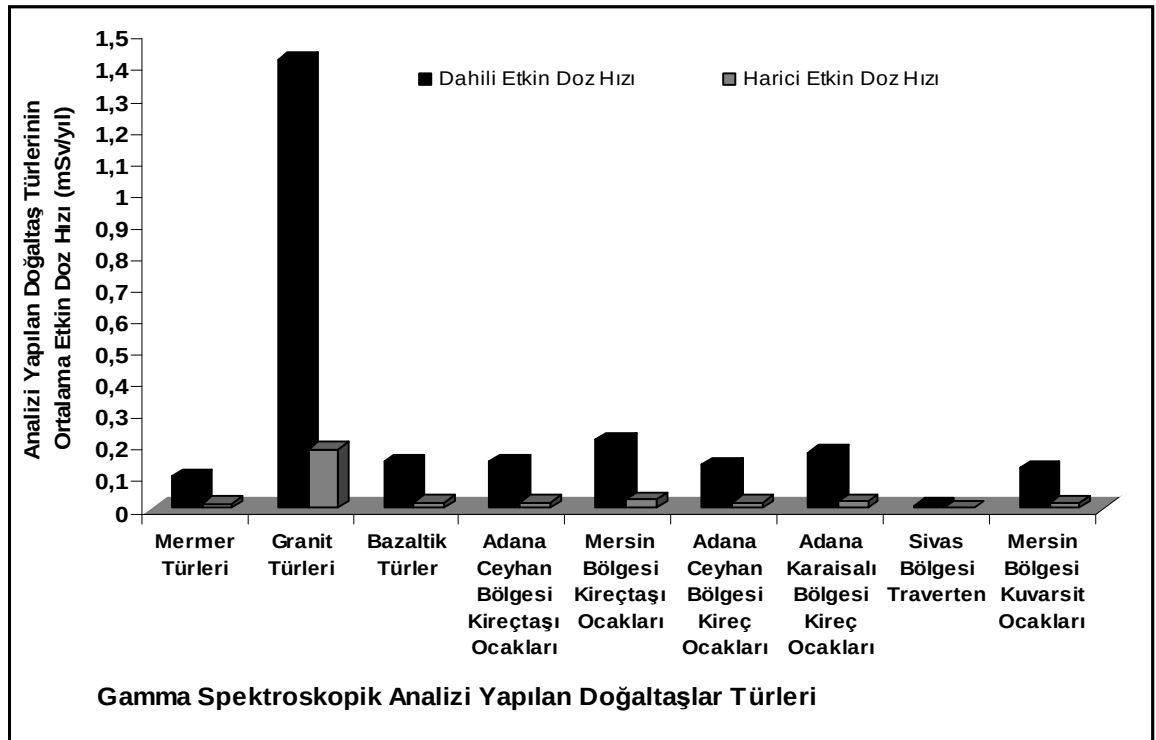
Şekil 6.41. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, dış (H_{ex}) ve iç (H_{in}) tehlike indeksleri açısından şematik olarak karşılaştırılması



Şekil 6.42. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, aktivite konsantrasyon indeksleri ($I_{\gamma r}$ ve I)



Şekil 6.43. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, soğurulmuş doz hızları (dahili ve harici)



Şekil 6.44. Tüm doğal taş türlerinin içerdiği ortalama, etkin doz hızları (dahili ve harici)

Ölçümlerde kullanılan diğer doğal taş türlerinden, 35 farklı mermer tipinin tümünde; eşdeğer radyum aktivite değerleri (R_{eq}) (Şekil 6.40.), iç (H_{in}) ve dış (H_{ex})

tehlike indeksleri (Şekil 6.41.), aktivite konsantrasyon indeksleri (I_{γ})(Şekil 6.42.), soğurulmuş doz hızları (Şekil 6.43.) ve etkin doz hızları (Şekil 6.44.) da limitlerin altında ortalama değerler almışlardır. Nevşehir Kapadokya Bej, Nevşehir Kapadokya Kahve ve Afyon Kaplan Postu 1 tipi mermerlerde, ölçülen ve hesaplanan tüm radyoaktivite değerler, limitlerin altında olup, mermer türleri içinde sırasıyla en yüksek değerlere sahiptirler. Analizi yapılan, mermer tipi doğal taş türlerinin tümünün, yapıtaşı olarak kapalı ve açık ortamlarda kullanılması sakıncalı değildir.

5 farklı bazaltik doğal taş türünde ise; eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra_{eq}) (Şekil 6.40.), iç (H_{in}) ve dış (H_{ex}) tehlike indeksleri (Şekil 6.41.), aktivite konsantrasyon indeksleri (I_{γ})(Şekil 6.42.), soğurulmuş doz hızları (Şekil 6.43.) ve etkin doz hızları (Şekil 6.44.) da limitlerin altında ortalama değerler almışlardır. Osmaniye Bazaltik Pomza'sı, Osmaniye Bazaltı ve Diyarbakır-Bazalt 3 tipi bazaltik türlerde, ölçülen ve hesaplanan tüm radyoaktivite değerler, limitlerin altında olup, kendi türleri içinde sırasıyla en yüksek değerlere sahiptirler. Ölçümleri yapılan, bazaltik tipi doğal taş türlerinin tümünün, yapıtaşı olarak kapalı ve açık ortamlarda kullanılması sakıncalı değildir.

En son olarak, diğer bazı endüstriyel hammadde türleri için yapılan ölçümler ve hesaplamalarda ise; yine tüm türlerde; eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra_{eq}) (Şekil 6.40.), iç (H_{in}) ve dış (H_{ex}) tehlike indeksleri (Şekil 6.41.), aktivite konsantrasyon indeksleri (I)(Şekil 6.42.), soğurulmuş doz hızları (Şekil 6.43.) ve etkin doz hızları (Şekil 6.44.) da limitlerin altında ortalama değerler almışlardır. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları, Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları ve Sivas Bölgesi Traverten tipi endüstriyel türlerde, ölçülen ve hesaplanan tüm radyoaktivite değerler, limitlerin altında olup, kendi türleri içinde sırasıyla en yüksek değerlere sahiptirler. Ölçümleri yapılan, endüstriyel hammadde tipi doğal taş türlerinin tümünün, yapıtaşı olarak kapalı ve açık ortamlarda kullanılması sakıncalı değildir.

6.6.2. Doğal Taş Türlerinden Elde Edilen Kimyasal ve Mineralojik Analiz Sonuçlarının Radyoaktivite ile İlişkisinin Yorumlanması

Radyoaktif özelliklerine dayanarak, yapılan ölçümlerin ve hesaplamaların ışığında yukarıda yapılan yorumlara ek olarak, radyoaktiflik yönünden anomali (aykırılık) gösteren doğal taş türlerinin içerdikleri kimyasal bileşik ve elementleri,

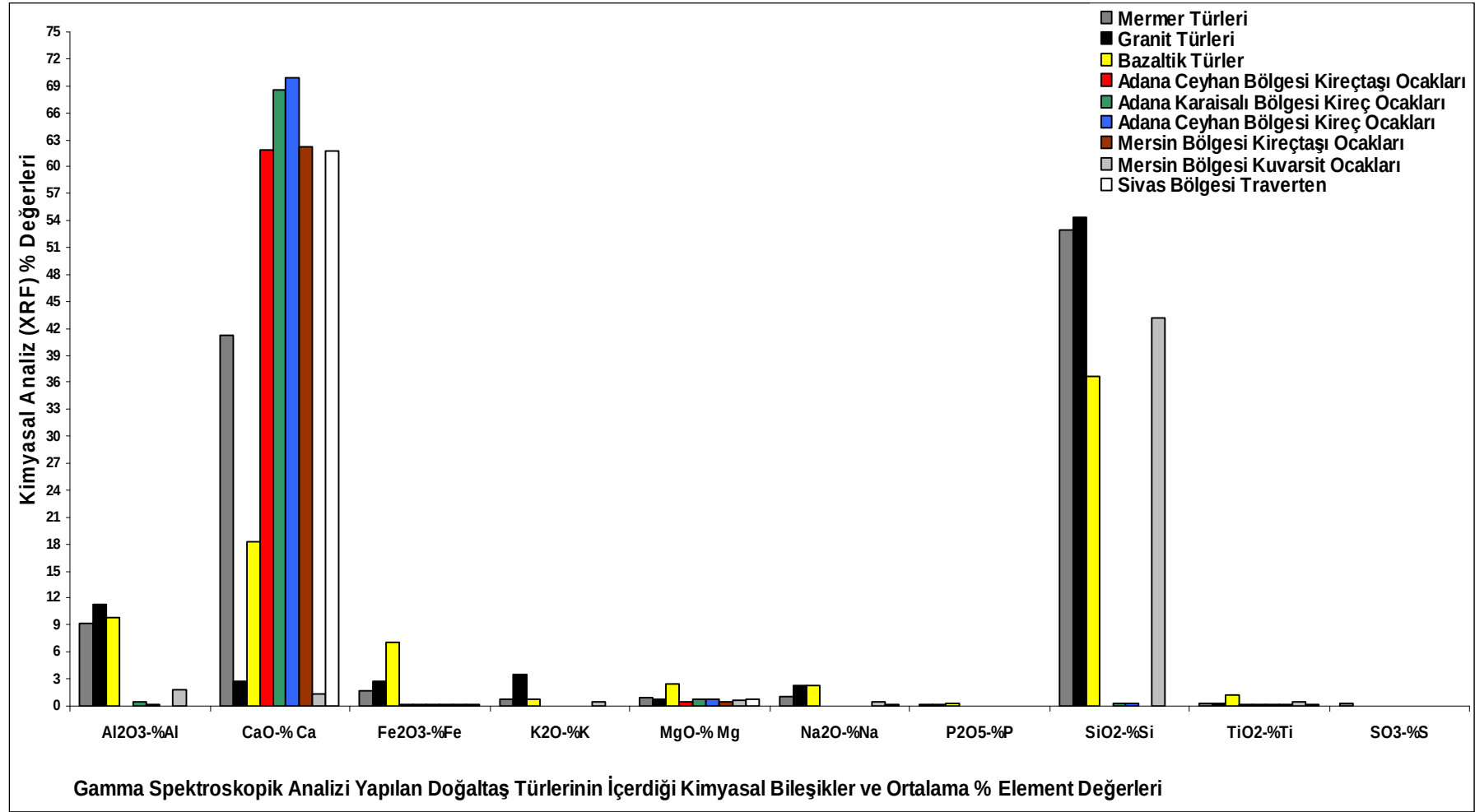
oluşturdukları mineral ve mineral gurupları açısından şematize etmek ve yorumlamak yerinde olacaktır.

Doğal taş türlerinde radyoaktif minerallerin tayinine yardımcı olacak petrografik ve mineralojik bilgiler, “Radyoaktivite İçeren Kayaçlar” adlı bölümde verilmişti. Bu bilgilere dayanarak, doğal taş türlerinin XRF, XRD, SEM ve EDS verilerinden de faydalanılarak bu bölümde değerlendirmeler yapılmıştı. Şekil 6.45.’de radyoaktivite analizi yapılan tüm doğal taş türlerini oluşturan kimyasal bileşik ve elementlerin % ortalama değerleri verilmiştir. “Radyoaktivite İçeren Kayaçlar” adlı. bölümde bahsedilen kayaçlarda radyoaktif mineral ve element tayinine yardımcı olacak elementlerin yanı sıra diğer tali elementler de bu grafikte verilmiştir.

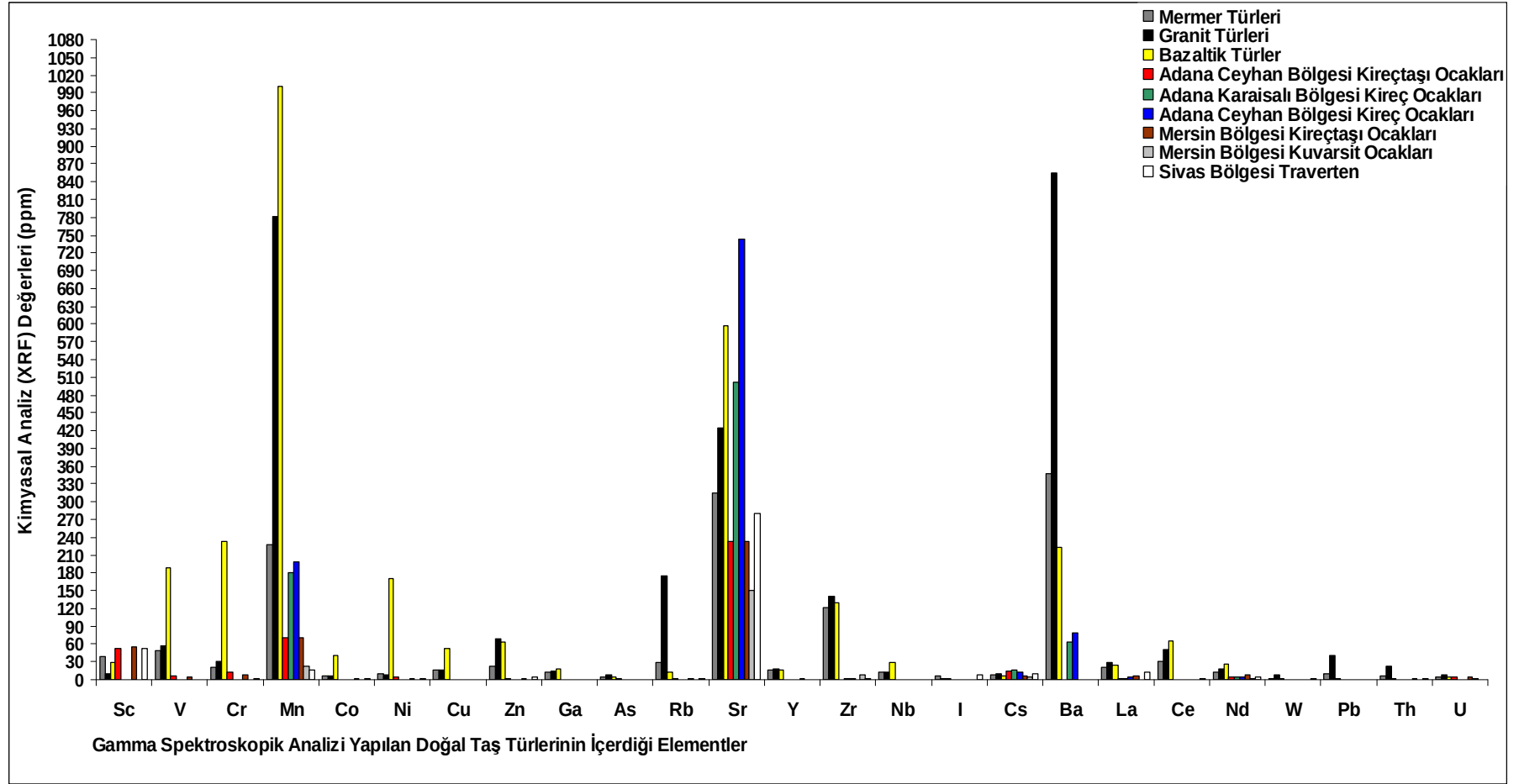
Bölüm 6.6.1. de yapılan radyometrik yorumlara katkıda bulunacak şekilde kayaçlarda, radyoaktifliğe katkıda bulunan, Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 gruplarındaki yüzde, Fe, K ve Ti elementlerinin miktarlarının, granit ve bazaltik türlerde fazla olduğu, özellikle K (potasyum) elementinin radyoaktivite değerleri yüksek çıkan granitlerde yüksek değerlere ulaştığı en önemli noktalardan biridir. CaO , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 ve P_2O_5 bileşiklerindeki yüzde Ca (kalsiyum), Al (alüminyum) ve P (fosfor)’nda nadir olarak apatit ($Ca_5(PO_4)_3$), sfen ($CaTiSiO_5$), feldspatlar gurubundan bir plajiolklas olan albit ($Na(Si_3Al)O_8$), Zirkon ($Zr(SiO_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2), hematit (Fe_2O_3) ve ksenotim (YPO_4) vb. 4. bölümde verilen mineral guruplarının da radyoaktifliğe katkıda bulunduğu önemli bir noktadır. Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit ($K_2O_6(MgFe)OAl_2O_3 \cdot 6(SiO_2 \cdot 2H_2O)$)) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır. Şekil 6.46.’da doğal taş türlerinin içerdiği, radyoaktifliğe neden olan elementler, ppm cinsinden, bu paragrafta anlatılanlarla açıkça örtüşmektedir.

Ayrıca, kayaçlarda radyoaktiviteye neden olan Ce (seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon), Sr (stronsiyum) ve Nb (niyobyum) elementleri de doğal taşlarda radyoaktifliği artıran unsurlardır. Mn (mangan) elementinin yüksek ppm lerde olması da, bu tür doğal taşlarda nadiren eksenit ($Y, Ce, U, Th(Ca, Mg, Mn)_2(Ti, Nb, Ta(Fe_3)O_6)$) ve kolumbit ($(Fe, Mn)(Ta, Nb)_2O_6$) mineralinin olabileceğini göstermiştir. Bu yorumlara yardımcı olacak, SEM ve EDS görüntüleri önceki bu bölümde verilmişti.

Mermer ve diğer endüstriyel hammadde türlerinde ise, yukarıda bahsettiğimiz kimyasal özellikleri taşıyan mineralleri ve bileşikleri oluşturan elementler bakımından, düşük konsantrasyonlar içerdiğinden, doğal radyoaktivite oranları da aynı ölçüde düşük kalmıştır.



Şekil 6.45. Radyoaktivite analizleri yapılan tüm doğal taş türlerini oluşturan kimyasal bileşik ve elementlerin % ortalama değerleri



Şekil 6.46. Doğal taş türlerinin içerdiği radyoaktifliğe neden olan elementler

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de bulunan ve çeşitli sektörlerde yapıtaşı olarak kullanılan, birçok doğal taş türünün çıkarıldıkları ocaklardan, ulaşılabilinen, 16 farklı yöreye ait, 35 mermer, 7 granit, 5 bazalt, 1 traverten türü ile Doğu Akdeniz Bölgesi’ne endüstriyel hammadde sağlayan, 2 kireçtaşı ocağı, 2 kireç ocağı ve 1 kuvarsit ocağı bölgelerine ait numunelerin, gamma spektrometre yöntemiyle doğal radyasyon seviyeleri(yapıtaşlarında bulunan ^{226}Ra ve ^{232}Th ürün radyonüklitlerinin ve ^{40}K radyoizotopunun özgün aktivite derişimleri) ölçülmüştür. Çalışılan doğal taş türlerinin içinde, aynı yöreden olup, birbirlerinden farklı fiziksel ve kimyasal özellikler içeren mermer ve bazaltik türler de mevcuttur.

Analizi yapılan her bir doğal taş türü’nden elde edilen verilerden (iç ve dış tehlike indeksleri ile aktivite konsantrasyon indekslerinin, hesaplanması), uluslararası komisyonlar tarafından kabul edilen limitlere (UNSCEAR, Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi Raporları) aykırılık gösterenler, ayrıca kimyasal ve mineralojik testlere tabii tutulmuş ve yine bu aykırılık gösteren değerlerin hangi nedenden ötürü, yüksek değerlerde olduğu yerbilimleri açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Araştırma Bulguları bölümünde, Türkiye genelinden elde edilebilen doğal taş türlerinin radyoaktivitik, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarının, neden bu kadar önem taşıdığını önceki bölümlerde bahsetmemize rağmen, doğal taş türlerinden kaynaklanan, doğal çevre radyasyonunun insan sağlığı için önemi ve tehlikesi bir kez daha aşağıda çok kısa olarak özetlenmiştir. Buna göre;

- Oturduğumuz evlerin yapı malzemeleri, cam ve seramikler, su ve yiyecekler, tütün, yol yapım malzemeleri, değişik yakıtlar, havaalanı radar sistemleri, porselen dişlerde kullanılan uranyum, teşhiste kullanılan X-ışınları ve benzeri birçok nedenle dolayı iyonlaştırıcı radyasyonlara, hepimiz hergün maruz kalırız. Ayrıca, nerede ve nasıl yaşadığımıza bağlı olarak yılda 1 miliSievert kadar doğal çevre radyasyonuna (back-ground) maruz kalırız. Söz konusu bu back-ground radyasyon kaynakları ise güneşten gelen kozmik ışınlar, yeryüzünde ve vücudumuzda bulunan doğal radyoaktif maddelerdir.

- Güneşten gelen kozmik ışınlar dünyamızı çevreleyen atmosfer tabakasında bir miktar tutulur. Fakat yaşadığımız bölgenin deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak kozmik ışınlar nedeni ile maruz kalınan radyasyon miktarı da artar. Yüksek bölgelerde yaşayanlar daha fazla radyasyona maruz kalırlar. Fazla uçak yolculuğu yapanların yıllık doğal radyasyon dozları artar.

- Kayalarda ve toprakta bulunan doğal radyoaktif maddeler nedeniyle belirli miktarda radyasyona maruz kalırız. Bu toprakların inşaat malzemesi olarak kullanılması durumunda ise ölçülebilir radyasyon miktarı artar. Örneğin, tuğla veya taş malzeme kullanılarak inşa edilen binada yaşayanlar, tahta malzeme kullanılarak yapılan binada yaşayanlardan daha çok radyasyon alırlar. Granit kaya taşlarından yapılmış yapılarda radyasyon miktarı en fazladır.

- Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından, limit değerlerin belirlendiğini

- Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edildiğini

- Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlendiğini

- Türkiye'de müsaade edilebilir;

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları sırasıyla;

Mermerler için 40, 40, 400 Bq/kg

Granitler ve Bazaltik türler için 50, 50, 500 Bq/kg (mağmatik kökenli)

Mermer ve Diğer endüstriyel hammadde türleri için 40, 40, 400 Bq/kg

- Tüm doğal taş türleri için eşdeğer radon konsantrasyonunun (R_{eq}), ise 370 Bq/kg veya 400 Bq/m^3 olduğunu önemle vurgulamıştık.

Yukarıda belirtilen kriterlere göre, bu tez kapsamında analizi yapılan doğal taş türlerinden elde edilen sonuç ve yorumları aşağıdaki gibi sıralamamız mümkündür ;

- Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden toplanan ve gamma spektroskopik analizi yapılan 35 farklı mermer türünde, dünya standartlarının üstünde olan doğal radyoaktivite seviyesi yüksek bir türe rastlanmamıştır. Nevşehir Kapadokya Bej, Nevşehir Kapadokya Kahve ve Afyon Kaplan Postu 1 tipi mermerlerde, ölçülen ve hesaplanan tüm radyoaktivite değerleri, limitlerin altında olup, mermer türleri içinde sırasıyla en yüksek değerlere sahiptirler. Analizi yapılan, mermer tipi doğal taş türlerinin tümünün, yapıtaşı olarak kapalı ve açık ortamlarda kullanılması sakıncalı değildir.

- 7 farklı granit türünde, dünyada kabul edilebilir doğal radyoaktivite seviyelerinin, üstünde değerlere ulaşılmıştır. Tüm granit türlerinin radyoaktif tehlikesi bulunmakla beraber, özellikle Bandırma ve Giresun bölgesinden elde edilen granitlerin kapalı ortamlarda kaplama veya yapı malzemesi olarak kullanılmaması insan sağlığı ve çevre açısından tavsiye edilebilir. Dış ortamlarda kullanım için ise, yine tüm granit türleri (direkt olarak soluma yoluyla alınan radon ve toron tipi kanserojen gazlarının, açık havadaki derişimleri düştüğünden) sakıncalı olmakla beraber, Bandırma Granit ve Giresun Vizon türleri dahil, hava akımlarının yüksek olduğu yerlerde kullanılması uygun olabilir.

- 5 farklı bazaltik türde ise yine, dünyada kabul edilebilir doğal radyoaktivite seviyelerinin, çok altında değerlere ulaşılmıştır. Osmaniye Bazaltik Pomza'sı, Osmaniye Bazaltı ve Diyarbakır-Bazalt 3 tipi bazaltik türlerde, ölçülen ve hesaplanan tüm radyoaktivite değerleri, limitlerin altında olup, kendi türleri içinde sırasıyla en yüksek değerlere sahiptirler. Ölçümleri yapılan, bazaltik tipi doğal taş türlerinin tümünün, yapıtaşı olarak kapalı ve açık ortamlarda kullanılması sakıncalı değildir.

- Son olarak, 6 farklı bölgeden alınan endüstriyel hammadde türlerinde ise doğal radyoaktivite değerleri, limitlerin çok altındadır. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları ve Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları bölgesine ait örneklerden

hesaplanan tüm radyoaktiflik değerler, limitlerin altında olup, endüstriyel türlerden en yüksek değere sahip olanlardır.

- Gamma spektroskopik analizi yapılan tüm doğal taş türlerinde, kimyasal ve mineralojik olarak, radyoaktifliğe katkıda bulunan, Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 gruplarındaki, yüzde, Fe, K ve Ti elementlerinin miktarlarının, granit ve bazaltik türlerde fazla olduğu, özellikle K (potasyum) elementinin radyoaktiflik değerleri yüksek çıkan granitlerde yüksek değerlere ulaştığı en önemli noktalardan biridir. CaO , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 ve P_2O_5 bileşiklerindeki yüzde Ca (kalsiyum), Al (alüminyum) ve P (fosfor)'nda nadir olarak apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$), sfen (CaTiSiO_5), feldspatlar gurubundan bir plajioloklas olan albit ($\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$), Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2), hematit (Fe_2O_3) ve ksenotim (YPO_4) vb. mineral guruplarının da radyoaktifliğe katkıda bulunduğu önemli bir noktadır. Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasına veya bazı minerallerin (özellikle biyotit ($\text{K}_2\text{O}_6(\text{MgFe})\text{OAl}_2\text{O}_36(\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O})$)) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır.

- Tüm, bu araştırma ve ölçümlerden çıkan sonuç ise, doğal taşlarda radyoaktifliği yüksek çıkan türler, granitler ve bazaltik türler gibi, mağmatik kökenli kayalar olmuştur. Bunun nedeni, ise çok yüksek sıcaklık ve basınçlar altında, yeryüzünün derinliklerinden gelen erimiş magmanın, yapısının, radyoaktifliği zengin mineral ve elementlerden oluşması ve yeryüzünde ani soğumayla bu tür formasyonlarda kalıcı olarak yerleşmesidir.

KAYNAKLAR

- ABBADY, A.G.E., 2003. Estimation of radiation hazard indices from sedimentary rocks in Upper Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, volume 60, pp.11-114.
- ADLER, H.H., 1977. Geochemical factors contributing to uranium concentration alkaline igneous rocks. *Recogn. And Evaluation*. V.21. pp.35-43
- AHMAD N., MATIULLAH , KHATİBEH A.J.A.H. ve KENAWY M.A., 1997. Natural Radioactivity In Marble Stones- Jordan. *Radiation Measurements*, volume 28, issues 1-6, pp.345-348.
- AL-TAMIMI, M.H. ve ABUMURAD, K.M., 2001. Radon Anomalies Along Faults in North of Jordan. *Radiation Measurements*, 34, 397-400.
- AMRANI, D. ve TAHTAT, M., 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials. *Appl. Radiat. Isot.* 54, 687-689.
- ANJOS, R.M., VEIGA, R., SOARES, T, SANTOS, A.M.A., AGUIAR, J.G., FRASCA, M.H.B.O., BRAGE, J.A.P., UZEDA, D., MANGIA, L., FACURE, A., MOSQUERA, B., CARVALHO, C. ve GOMES, P.R.S., 2004. Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. *Radiation Measurements*, volume 39, pp.245-253.
- ASLANER, M., 1989. Kor ve Kor Kırıntılı Kayaçlar, K.T.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon.
- AYAZ , E., ve KARACAN, E., 2000. Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, Araştırma Notu.
- AYKAMIŞ, A.Ş., KILIÇ A.M. ve KESKİN Ö., 2007. İnsan ve Çevre Sağlığı Açısından Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Yolları, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 08-09 Mart 2007, Adana.
- BEERS ve GOODMAN, 1975. *Principles of Geochemistry*, John Wiley & Sons Ins. New York, pp 12-21
- BERETKA, J. ve MATHEW, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys* 48:87–95

- BİLGE, A.N., 1985. Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, TAEK, ANKARA.
- BIKIT, I., SLIVKA, J., VESKOVIC, M., VARGA, E., ZIKIC, N., MRDA, D. ve FORKAPIC, S., 2005. Measurement of Danube sediment radioactivity in Serbia and Montenegro using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements*, volume 41, pp.477-481.
- BLYTH, F.G., 1983, *Geology of Engineers*, ITU, Maden Fakül., İST.
- BOZKURT, A., YORULMAZ N., KAM, E., KARAHAN, G., ve OSMANLIOĞLU, A.E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiation Measurements*, volume 42, pp.1387-1391.
- BOZKURT, E., 2001. Neotectonics of Turkey, A Synthesis, *Geodinamica Acta*. 14 1-3, 3-30.
- BÜRKÜT, Y., 1975. Uygulamalı Jeokimya, ITU, Gümüşsuyu.
- CHIOZZI, P., PASQUALE, V. ve VERDOYA., M., 2002. Heat From Radioactive Elements in Youngs Volcanics by gamma ray spectrometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Search*, 119, 205-214.
- COTHERN, C.R. ve SMITH, J.E., 1987. *Environmental Radon*, Environmental Science Research, Volume 35, Plenum Pres. New York, USA.
- DEBERTIN, K. ve HELMER, R.G., 1988. *Gamma and X-ray Spectrometry with semiconductor detectors*, North-Holland, Amsterdam.
- DEGERLIER, M., KARAHAN, G. ve OZGER, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey *Journal of Environmental Radioactivity*, volume 99, pp.1018–1025.
- DPT, 2007, Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Sanayi Hammaddeleri.
- DURRANI, S.A. ve ILIC, R., 1997. *Radon measurements by Etched Track Detectors*, World scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- EISENBUD, M., 1987. *Environmental radioactivity : from natural, industrial, and military sources*, Academic Press, San Diego.

- EL-ARABI, A.M., 2005. Natural radioactivity in sand used in thermal therapy at the Red Sea Coast. *J.Environ Radioact* 81:11–19
- EL-DINE, N.W., EL-SHERSHABY, A., AHMED, F. ve ABDEL-HALEEM, A.S., 2001. Measurement of radioactivity and radon exhalation rate in different kinds of marbles and granites. *Applied Radiation and Isotopes*, volume 55, pp.853-860.
- EL-SHERSHABY, A., 2002. Study of radioactivity levels of Gable Gattar II in the north eastern desert of Egypt, *Applied Radiation and Isotopes*, 57,131-135.
- ER, Z., 1995. Çeşitli Maden Suyu ve Sodaların radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Enerji Enst. İTÜ.
- ERGUVANLI, K., 1994, *Mühendislik Jeolojisi*, Seç Yayın Dağıtım .İst.
- EUROPE COMMISSION REPORT, 1990. "Evlerdeki Radon Işınlamalarına Karşı Halkın Korunması'na ilişkin Tavsiye Kararları.
- EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999. Avrupa Komisyonu'nun "Radiation Protection 112 (Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials). 1999.
- EUROPE COMMISSION, 1999. "Radiation Protection 112 (Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials)", TAEK Kaynakları.
- FISENNE, I.M., 1982. Radon -222 Measurements at Chester, in EML-383, New York.
- FISENNE, I.M., 1984. Radon -222 Measurements at Chester, in EML-422, New York.
- GEFFROY, J. ve SARCIA, J.A., 1958. Les Minerals noirs in Les minerals uraniferes francais et leurs gisements, v.l.t.l. pp.1-86, Univ. De France, Paris.
- GILLMORE, G. ve HEMINGWAY, J., 1995. Practical Gamma Ray Spectrometry Chichester, Wiley.
- GÖKSEL, A.S., 1973. Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve radyasyon Standartları ve Uygulamaları. İTÜ Matbaası, İstanbul.

- GÜNDÜZ, S., 1988. Çubukludağ (Cumaovası-İzmir) Yöresi Kayaçlarının Radyoaktivite Açısından İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- HEINRICH, E.W., 1958. Mineralogy and geology of radioactive raw materials. McGraw Hill Book. Comp. New York.
- HASSAN A. M. , ABDEL-WAHAB M., NADA A., WALLEY EL-DINE N. ve KHAZBAK A., 1997. Determination of Uranium and Thorium in Egyptian Monazite by Gamma-Ray Spectrometry. Applied Radiation and Isotopes, volume 57, issue 4, pp.463-469.
- HELLER, H. ve POULHEIM, K.F., 1992. Die Exposition Durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- HEMOND, C., HOFMAN, A.W., HEUSSER, G., CONDOMINES, M., RACZEK ve RHODES, J.M., 1994. U, Th, Ra Systematic in Kilauea and Mauna Loa Basalts in Hawaai, Chemical Geology, 116, 163-180.
- HENDERSON, P., 1975. Geochemical indicator of the efficiency of fractionation of the Skaergaard intrusion. East Greenland. Mineral.mag.V.40.pp.285.
- HIGGY, R.H. ve PIMIL, M., 1998. Natural and Man-Made Radioactivity ins Soils and Plants around the Research of Inshass, Applied Radiation Isotopes, 49, 1709-1712.
- HIGGY, R.H. El-TAHAWY, M.S. ABDEL-FATTAH, A.T. and Al-AKABAWY, U.A., 2000. Radionuclide content of building materials and associated gamma dose rates in Egyptian dwellings. J. Environ Radioact 50:253–261
- http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radbiryasam.html. Erisim Tarihi: 10.04.2007
- http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html. ErisimTarihi:10.04.2007
- http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/yapayrad.html. ErisimTarihi:20.02.2007
- http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brakiterapi/temel16.html.
- <http://www.wikipedia.org>

- HOLMES, A., 1964. Principle of Physical Geology, The Ronald Pres Company, New York.
- IAEA, 1989, Measurement of radionuclides in food and the environment Technical Report, Series No, 295, IAEA, Vienna.
- IAEA-BSS , 2000. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları .
- ICRP, 1987. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to radon Daughters. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 50, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1993. Protection Against Radon at Home and at Work. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 65, Pergamon Press, Oxford.
- IOANNIDES, K., PAPACHRISTODOULOU, C., STAMOULIS, K., KARAMANIS, D., PAVLIDES, S., CHATZIPETROS, A. ve KARAKALA, D., 2003. Soil Gas Radon; A Tool for Exploring Active Fault Zones. Applied Radiation Isotopes, 59, 205-213.
- IQBAL, M., TUFAIL, M. ve MIRZA, S. M., 2000. Measurement of natural radioactivity in marble found in Pakistan using a NaI (Tl) gamma-ray spectrometer. J. Environ. Radioact. 51, 255–265
- İSTANBUL MADEN İHRACARÇILARI BİRLİĞİ, 2001. Türkiye Doğal taşları, Mart Matbaacılık Sanatları ve Tic. Ltd. şti, İstanbul.
- JENKIS, R., GOULD, R. W. ve GEDCKE, D., 1995. Quantitive X-Ray Spectrometry, 2nd Edition, New York Marcel Dekker.
- JOHNSON, H. ve TUTIAH, M., 1985. Radiation is part of your life, Mart.
- KAM, E. ve BOZKURT, A., 2006. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, volume 65, pp.440-444.
- KARAHAN, G., 1997. İstanbul' un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerleri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- KARAHAN, G. ve BAYÜLKEN, A., 2000. Assessment of Gamma Dose Rates Around İstanbul (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221.
- KARAMAN, E.S., 2002. Farklı Türkiye Mermer Türlerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini. İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- KATHREN, R.L., 1998. NOM Sources and their Origins. Applied Radiation Isotopes, 49, 149-168.
- KETİN, İ., 1982, Genel Jeoloji, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Gümüşsüyü.
- KHAN KM. KHAN H., TUFAİL M., KHATİBEH A. J. A. H. ve AHMAD N. , 1998. Radiometric Analysis of Hazara Phosphate Rock and Fertilizers in Pakistan. Journal of Environmental Radioactivity, volume 38, issue 1, pp.77-84.
- KILIÇ, Ö., 2005. Klasik Eberhart Tipi Kireç Fırınları ile Paralel Akışlı Maerz Fırınlardaki Kalsinasyon Parametrelerinin Karşılaştırılması ve Çukurova Bölgesi Kireçtaşları Üzerine Uygulamalar, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, s 171, Adana.
- KILIÇ, Ö. ve ANIL, M., 2005. Farklı Kalsinasyon Ortamlarının Kireç Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Madencilik TMMOB Maden Müh. Odası Dergisi, 44(2), 19-28.
- KILIÇ, Ö. ve ANIL, M., 2006. The Effects of Limestone Characteristic Properties and Calcination Temperature to the Lime Quality, Asian Journal of Chemistry, ISSN 0970-7077, 18(1), 655-666.
- KIRTLY, F.M., 1964. The earth Beneath Us, Harward Univ. Randam House, New York,
- KOSTOV, I., 1977. Crystallochemical differentiation and localization of uranium ore deposits in the earth crust. Recog. and Evalu. pp 15-29.
- KRIEGER, R., 1981. Radioactivity of construction materials. Betonwerk Fertigteil Technol. 47, 468.

- KUMAR, V., RAMACHANDRA, T.V. ve PRASAD, R., 1999. Natural Radioactivity of Indian Building Materials and by-products. Appl. Radiat. Isot. 51 1, Pp. 93–96.
- KUŞÇU, M., 1991. Endüstriyel kayaçlar ve mineraller, Isparta
- KUŞÇU, M., 2001. Endüstriyel kayaçlar ve minealler, S.D.Ü. Müh. Mim. Fak., Isparta.
- LAMBERT, I.B. ve HEIR, K.S., 1967. The vertical Distribution of Uranium, Thorium and Potassium in the Continental Crust, Geochemistry, New York.
- LARSEN, E.S., GOTTFRIED, D., ve SMITH, W.L., 1955. Uranium in magmatic differentiation . Peaceful uses in Atomic energy, pp.17.
- LITTLEMORE SCIENTIFIC ENGINEERING (ELSEC), 1994. 7286 Low Level Alpha Counter User Manual Railway Lane. Littlemore, Oxford, OX4 4PZ, UK.
- MASON, B., 1952. Principle of Geochemistry , John Wiley & Sons Ins. New York.
- MIAH, F.K., ROY, S., TOUHIDUZZAMAN, M. Ve ALAM, B., 1998. Distribution of Radionuclides in Soil Samples in and Around Dhaka City, Applied Radiation Isotopes, 49 (1-2), 133-137.
- NAKOMAN, E., 1979. Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi, M.T.A. Enstitüsü, Ankara
- NCRP 45, 1975. National Council on Radiation Protection and Measurements, Natural Background Radiation in the United States, NCRP Report No, 45.
- NCRP 97, 1988. National Council on Radiation Protection and Measurements; Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No, 97.
- NCRP, 2000. Amerikan Ulusal Radyasyon Korunması Komitesi, "İyonlaştırıcı radyasyonun Biyolojik Etkileri.
- NOYAN, Ö. F., 1989. Sarıcaoğlu (Bergama Kuzeydoğusu) Tersiyer Havzası Kayaçlarında Radyoaktivite Araştırmaları. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- OSMAND, J.K., 1964. The distribution of the Heavy Radio Elements in the Rocks and Water of Florida. The Natural Radiation Environment, William March Rice Uni, Colarado USA.

- ÖNEM, Y., 1997. Sanayi Madenleri, , Ankara, Mart .
- ÖZTÜRK, F.,1998. Mermer Teknolojisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enst. İstanbul.
- PAPASTEFANOU, C., MANOLOPOULOU, M., STOULOS, S., IONNIDOU ve GERASOPOULOS, E., 2001. Radon Measurements Along Active Faults in the Langadas Basin, Northern Greece. Natural Hazards and Earth Sysytem Science 1, 159-164.
- PAVLIDOU, S., KORONEOS A., PAPASTEFANOU, C., CHRISTOFIDES, G., STOULOS, S. ve VAVELIDES, M., 2006. Natural radioactivity of granites used as building materials. Journal of Environmental Radioactivity, volume 89, pp.48–60.
- PHAIR, O. ve GOTTFRIED, D., 1964. The Colorado Front range as a Uranium and Thorium Province, Natural Radiation Environment, William March Rice Uni, Colorado USA.
- PICCIOTTO, E., 1950. Distribution de la radioactivite dans un granite., CR. Acad. pp 2282, 2284.
- PLANINIC, J., 2001. Temporal Variations of Radon in Soil Related to Earthquakes, Radiation Measurements, 55, 267-272.
- RAMACHANDRAN, T.V. ve SUBBA RAMU, M.C., 1994. Variation of Equilibrium Factor F between radon and its short-lived Decay products in an Indoor atmosphere, Nucl. Geophys, &, 499-503.
- RANI A. ve SINGH S., 2005. Natural radioactivity levels in soil samples from some areas of Himachal Pradesh, India using γ -ray spectrometry., Atmospheric Environment, volume 09, pp.6306-6314.
- SABOL, J., WENG, P.S. ve MAO, C.H., 1993. Water-Borne Radon in Some Hot Springs in Taiwan, Nucl. Sci. J. 30, 2, 131-136.
- SAKODA, A., HANAMOTO K., ISHIMORI, Y., NAGAMATSU, T. ve YAMAOKA, K., 2007. Radioactivity and radon emanation fraction of the granites sampled at Misasa and Badgastein. Applied Radiation and Isotopes, volume 66, pp.648-652.

- SAYIN, A.L., 1989. Dereköy-Yeniköy (Menderes-İzmir) Yöresi kayaçların Radyoaktivite Açısından İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- SCHIMIDT, G.C., 1961. Stratigraphic nomenclature for Adana region, Petroleum district VII : Petroleum Administration Bulletin, Ankara, 6, 47-63
- SENTFLE, F.E. ve KEEVIL, N.B., 1930. Mineral Exploration by nuclear technics. Min Cong. J.i v. 56.
- SHENBER, M.A., 1997. Measurements of natural Radioactivity Levels in Soil in Tripoli, Applied Radiation Isotopes, 48 (1), 147-148.
- SKOOG, D., A., HOLLER, F., J., AND NIEMAN, T. A., 1998. Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, Harcourt Brace College Publishers, USA.
- SORENSEN, H., 1977. Features of the distribution of uranium in igneous rocks. Uranium Exploration. pp 151-159
- STOULOS S., MANOLOPOULOU M. ve PAPASTEFANOU C., 2003. Measurement Of Radon Emanation Factor From Granular Samples: Effects Of Additives In Cement. Applied Radiation and Isotopes, volume 60, issue 1, pp.49-54
- SUN, H. ve SEMKOW, T.M., 1998. Mobilization of Thorium, Radium and Radon Radionuclides in Groundwater by Successive Alphas-Recoils, Journal of Hydrology, 205, 126-136.
- ŞİMŞEK, C., 2008. Assessment of natural radioactivity in aquifer medium bearing uranium ores in Koprubasi, Turkey. Environmental Geology, volume 55, 1637-1646.
- TAEK, 2002. Radyasyon Korunması Kurs Notları, ÇNAEM Matbaası, İstanbul)
- ^aTAEK, 2007, Radyasyon ve Biz, Bilgi Dökümanları, 8 Bölüm.
- ^bTAEK, 2007, Doğal Radyasyon Kaynakları, Radon, Bilgi Dökümanları, 1 Bölüm.
- ^cTAEK, 2007, Endüstriyel Radyasyon ve Radyografi Kaynakları, Broşür.
- ^dTAEK, 2007, Radyasyondan Korunma, Bilgi Maddeleri, 4. Bölüm,
- TAEK, 2007, <http://www.taek.gov.tr/Bilgi>

- TAEK, 2006, Ülkemizin Nükleer Hammadde, Rezervleri, 50 yıl Baskısı.
- THEODORSSON, P., 1997. Measurement of Weak Radioactivity, World Scientific Pub. Co.
- TS-1910, 1977. Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Yapıtaşları.
- TOGAY, Y.,E., 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, 37s. Ankara.
- TOMBUL, M. ve GÜNGÖR, N., 1997. Türkiye II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB, 1-2 Mayıs, Afyon.
- TUNCER, S., 1991. Çeşitli İçme Sularında Radyoaktivite Tayini, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ. Nükleer Enerji Enst
- TURHAN Ş., YÜCEL H.,DEMİRBAŞ A. ve DEMİREL H., 2003. Anî Gama Nötron Aktivasyon Analizi İçin Kullanılan N- Tipi Bir Hpge Dedektörün 100 Kev-2500 Kev Enerji Aralığındaki Mutlak Verim Kalibrasyonu. 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri Kongresi
- TURHAN Ş., YÜCEL H., GÜNDÜZ L., ŞAHİN Ş., VURAL M., PARMAKSİZ A. ve DEMİRCİOĞLU B., 2006. Natural Radioactivity measurement in pumice samples used raw materials in Turkey. Applied Radiation and Isotopes, pp.350-354
- TURHAN Ş., BAYKAN U.N., ve ŞEN K., 2007. Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. Journal of Radiological Protection, volume 28, pp.83-91.
- TURHAN Ş., 2007. Assessment of the natural radioactivity and radiological hazards in Turkish cement and its raw materials. Journal of Environmental Radioactivity, volume 99, pp.404-414.
- TURHAN Ş. ve GÜNDÜZ L., 2007. Determination of specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K for assessment of radiation hazards from Turkish pumice samples. Journal of Environmental Radioactivity, pp.1-11.
- TUMMER, 2005., Türkiye Mermer Doğaltaş ve Makineleri Üreticileri Birliği.
- TÜRKMEN, F., 1995. Mermercilik Sektöründe Çevre mevzuatı, Türkiye I. Mermer sempozyumu, 6-7 Nisan, Afyon.
- TYKVA, R. ve HOLM, E., 1985. Low Level Environmental Radioactivity Techtonic Publication, USA.,

- TYKVA, R. ve SABOL J., 1995. Low Level Environmental Radioactivity. Technomic Publication, USA.
- TZORTZIS, M., TSERTOS, H., CHRISTOFIDES, S. ve CHRISTODOULIDES, G., 2003. Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks(granites). Journal of Environmental Radioactivity, volume 70, pp.223–235.
- UĞUR, A., 2005. Kıl Minerallerinin Radyoaktif Maddeleri Tutma Özelliklerinin, Kilin Yapısına ve İşlem Koşullarına Bağlılığının İncelenmesi., Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana
- UĞUR, A., 1992. İzmir’de Konut İnşaatlarında Kullanılan Çimento, Tuğla ve Kiremitlerde Radyonüklid İçeriğinin Saptanması. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- ULU, Ü., ERCAN T ve ark., 1991. Nizip-Yavuzeli-Araben-Balveren Dolayının Jeolojisi, Senozoyik yaşlı Volkanik kayaçların Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı. Türkiye Jeoloji Kurumu Bült. S 6, S 207-227
- UNSCEAR, 1982. Atomik Radyasyonun Etkileri üzerine Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi Raporu., TAEK Kaynakları.
- UNSCEAR, 1988. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United nations Committee on the Effects of atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York.
- UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation) Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York
- USTAOĞLU, Ü.S., 2002. Teknik Not, Pamukkale Üniversitesi, jeoloji Mühendisliği.
- VALKOVIC, V., 2000. Radiactivity in the Environment. Elsevier Science B. V., Netherlands.
- VEIGA, R., SANCHES, N., ANJOS, RM., MACARIO, K., BASTOS, J., IGUATEMY, M., AGUIAR, JG., SANTOS, AMA., MOSQUERA, B., CARVALHO, C., BAPTISTA, F. M, ve UMISED, NK. , 2006. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. Radiat. Meas 41:189–196

- WATERS, P.L., 1956. Cane Gas, 20, pp. 256.
- WILLEY, P.J., 1970. The Dynamic Earth Textbook in Geoscience, John Wiley & Sons Ins. New York.
- XINWEI, L., ve XIAOLAN, Z., 2006. Measurement of Natural Radioactivity in and Samples Collected from the Baoji Weihe Sands Park, China. Environ. Geology, volume 50, pp.977-982.
- XINWEI, L., ve XIAOLAN, Z., 2007. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K activities in soils of Cuihua Mountain National Geological Park, China. Environ. Geology, DOI 10.1007/s00254-007-1170-3
- XINWEI, L., XIAOLAN, Z. ve FENGLING, W., 2007. Natural Radioactivity in Sediment of Wei River, China. Environmental Geology, volume 53, pp.1475-1481
- YANG, Y., WU, X., JIANG, Z., WANG, W., LU, J., LIN, J., WANG, L. ve HSIA, Y., 2005. Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area. Applied Radiation and Isotopes, volume 63, pp.255-259.
- YAŞAR, S., 1988. Temel Radyasyon Korunması Standartları ve Uygulamaları, ÇNAEM Matbaası, İstanbul.
- ZMAZEK, B., 2002. Soil Radon Monitoring in the Krsko basin, Slovenia, Applied Radiation Isotopes, 56, 649-657.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 1991 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1995 yılında bu bölümden mezun olarak Maden Mühendisi unvanını kazandı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 1996 yılında, Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1998 yılında yüksek mühendis ünvanını aldı. Aynı yıl, MTA Genel Müdürlüğü, Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü’nde mühendis olarak göreve başladı. 2003 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora eğitime başladı. İngilizce, ve Almanca dillerini bilen Ahmet Ş. AYKAMIŞ görevine. MTA Genel Müdürlüğü’nde devam etmektedir.