

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**TÜRKİYE MERMERLERİNDEKİ
DOĞAL RADYONÜKLİT İÇERİĞİNİN VE
RADON EMANASYON HIZININ
RADYOLOJİK RİSK AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özden YAŞAR

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 622.01.01

Sunuş Tarihi: 30.11.2006

Tez Danışmanı

Danışman: Doç.Dr. Günseli YAPRAK

Bornova-İZMİR

Sayın **Özden Yaşar** tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak sunulan **“Türkiye Mermerlerindeki Doğal Radyonüklit İçeriğinin ve Radon Emanasyon Hızının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi”** başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 30.11.2006 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

Raportör Üye:

Üye :

Üye :

Üye :

ÖZET**TÜRKİYE MERMERLERİNDEKİ DOĞAL RADYONÜKLİT İÇERİĞİNİN VE RADON EMANASYON HIZININ RADYOLOJİK RİSK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YAŞAR, Özden

Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç.Dr. Günseli Yaprak

Kasım 2006, 167 sayfa

Türkiye 5 milyar m³'ün üzerinde muhtemel mermer rezervleriyle önemli bir doğal taş potansiyeline sahiptir ve 2002 yılı verilerine göre, ülkemiz doğal taş ihracatı 303 milyon dolar olarak tahmin edilmektedir. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, Türkiye'de ticari olarak mermer olarak adlandırılan 90 adet farklı doğal yapı taşında doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları gama spektrometrik olarak saptanmıştır. Ayrıca, doğal yapı taşlarının radon emanasyon hızları LR-115 SSNTD kullanılarak ölçülmüştür.

Bu radyolojik incelemede, Türkiye'de bilinen yerli granitlerde Ra(eq) aktivitesi, 183-522 Bqkg⁻¹ ve mermer örneklerinde 1-37 Bqkg⁻¹ olarak gözlenmiştir. Radon salınım hızı, granit örneklerinde 0.003 Bq/m²h⁻¹ - 0.768 Bq/m² h⁻¹ ve mermer örneklerinde 0.001 Bq/m² h⁻¹ - 0.02 Bq/m² h⁻¹ olarak ölçülmüştür. Granit ve diğer doğal yapı taşlarının bina içinde kullanım oranı %25'i aşmamaktadır. Bu oran dikkate alınarak, granitler için bina-içi ortamda maruz kalınan gama doz hızı, 22 - 61 nGy h⁻¹ ve yıllık etkin doz eşdeğeri 108 -298 µSv y⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv'ı aşmaması istenmektedir (UNSCEAR,1993). Bu doğrultuda,

Türkiye doğal yapı taşlarının bina yapım ve dekorasyonunda kullanılmasının bina içi ortamda, herhangi bir radyolojik risk oluşturmayacağı açıkça görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, granit, doğal radyonüklit, radon salınım hızı, radyolojik risk.

ABSTRACT**THE NATURAL RADIONUCLIDE CONCENTRATION AND
RADON EXHALATION RATE OF TURKISH NATURAL
STONES**

YAŞAR, Özden

PhD Thesis in Nuclear Sciences
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Günseli Yaprak

November 2006, 167 pages

The Turkey has very important natural stones potential with over 5 billion m³ marble reserves. According to 2002 giving data the number of Turkish stones export is 303 million US Dollars. In this regards, the present study deals with 90 Turkish natural stones. The studied samples were analyzed and the concentrations in Bq/kg dry weight of radioisotopes were determined by gamma-ray spectrometry using HPGe detector. The radon exhalation rates of natural stones were also measured by using solid state nuclear track dedectors (LR-115)

The radium equivalent activity varied from 183 Bq/kg to 522 Bq/kg for granite samples and from 1 Bq/kg to 37 Bq/kg for marble samples. The value of radon exhalation rate ranged from 0.003 Bq/m²h⁻¹ to 0.768 Bq/m² h⁻¹ for granite samples and from 0.001 Bq/m² h⁻¹ to 0.02 Bq/m² h⁻¹ for marble samples. The total absorbed dose rates in air ranged from 22 to 61 nGy h⁻¹ for one quarter utilization of granite samples. The annual effective dose rates per person indoors were determined to be between 108 and 298 µSv y⁻¹ for of for one quarter utilization of the materials.

Applying the dose criteria recently recommended by UNSCEAR for building materials, the natural stones meet the upper dose limit of 1mSvy⁻¹.

So, there are not restrictions for use of any Turkish commercial marble as covering materials, including Turkish granits.

Keywords: *Marble, granite, natural radioactivity, radon exhalation rate.*

TEŞEKKÜR

Doktora çalışması süresince her türlü olanağı sağlayarak, bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli katkıları olan ve alanındaki değerli bilgi, tecrübe ve görüşlerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Günseli YAPRAK'a, teşekkürlerimi sunarım.

Enstitü Laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof.Dr. Meral ERAL'a, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Güngör YENER'e, çalışmamın her aşamasında desteğini hissettiğim değerli arkadaşım Araş. Gör. Dr. Filiz GÜR'e ve tüm enstitü çalışanlarına teşekkür ederim.

Bilgi ve görüşlerinden yararlandığım ve mevcut laboratuvar olanaklarını kullanmama izin veren DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineoroloji Bölüm Başkanı, Sayın Prof.Dr. Osman CANDAN'a, Yard. Doç. Dr. Nejat KUN'a, Y.Doç.Dr. Mümtaz ÇOLAK'a ve Öğr.Gör. Ferah TÜRKMEN'e teşekkür ederim

Ölçüm ve yazım aşamalarında, benimle birlikte büyük bir titizlik ve özveri ile çalışan sevgili dostum Sayın Arş. Gör. Ercan TURAN'a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu tez çalışması boyunca sabır, anlayış ve desteklerini esirgemeyen sevgili AİLEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XV
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIX
RESİMLER DİZİNİ	XXIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Anadolu’da Doğal Taş Kullanımının Tarihçesi.....	3
2.2 Doğal Taşlar	9
2.2.1 Mağmatik Kökenli Doğal Taşlar	9
2.2.2 Metamorfik Kökenli Doğal Taşlar	17
2.2.3 Sedimanter Kökenli Doğal Taşlar	22
2.3 Dünya ve Türkiye Doğal Taş Kaynakları.....	28
2.3.1 Dünya Doğal Taş Kaynakları	29
2.3.2 Türkiye Doğal Taş Kaynakları	32
2.4 Doğal Taş Sektörü	38
2.5 Dünya Doğal Taş Sektörü İçinde Türkiye’nin Payı	40
2.6 Doğal Taşlarda Radyoaktivite	42
2.7 Doğal Taşların Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi	49

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.7.1 Radyasyon Korunma ve Güvenliği Alanında Yetkili Uluslar Arası Organizasyonlar	52
2.7.2 Bina İçi Radyoaktivite ve Radyolojik Risk	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM	65
3.1 Çalışılan Doğal Yapı Taşları	66
3.2 Doğal Yapı Taşlarında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Radyonüklit Analizi	68
3.2.1 Örnekleme	68
3.2.2 Örnek Hazırlama.....	68
3.2.3 HPGe Gama Spektrometre Sistemi ile Doğal Radyonüklit Analizi.....	68
3.2.3.1 Radyoaktif Denge	71
3.2.3.2 Standart Hazırlama	74
3.2.3.3 Çalışmada Kullanılan Radyometrik Standartların Hazırlanması	76
3.2.3.4 Çalışmada Kullanılan Gama Spektrometre Sistemi	80
3.3 Katıhal İz Kazıma Detektörleri (SNTD)	83
3.3.1 Katıhal İz Kazıma Detektörlerinin (SNTD) Temel Prensipileri.....	83
3.3.2 Katıhal İz Kazıma Detektörlerinin İşlenmesi	85
3.3.3 İz Yoğunluğunun Ölçümü	86
3.4 Doğal Yapı Taşlarında Katıhal İz Kazıma Detektörleri ile Radon Salınım Hızının Ölçülmesi.....	87

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.1 Örnek Hazırlama.....	87
3.4.2 LR-115 Katıhal İz Kazıma Detektörlerinin İşlenmesi ve İz Yoğunluğunun Ölçümü	88
3.4.3 LR-115 Katıhal İz Kazıma Detektörlerinin Verim Tayini.....	89
3.4.4 Radon Salınım Hızı	90
4. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA.....	91
4.1 Türkiye Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite İçeriği.....	91
4.1.1 Mağmatik Kökenli (<i>Granit, Andezit ve Diyabaz</i>) Doğal Yapı Taşlarının doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları.....	91
4.1.2 Metamorfik Kökenli (<i>Mermer ve Kıraktaş</i>) Doğal Yapı Taşlarının doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları.....	97
4.1.3 Sedimanter Kökenli (<i>Kireçtaşı ve Traverten</i>) Doğal Yapı Taşlarının doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları.....	102
4.2 İthal Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite İçeriği.....	109
4.3 Doğal Yapı Taşlarının Radon Emanasyon Hızının Saptanması.....	114
4.4 Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Risk açısından Değerlendirilmesi	118

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.4.1 Bina İçi Ortamda İçsel Maruz Kalma ile Oluşan Radyolojik Risk	118
4.4.2 Bina İçi Ortamda Dışsal Maruz Kalma ile Oluşan Radyolojik Risk	120
4.4.2.1 Magmatik Kökenli (<i>Granit, Andezit ve Diyabaz</i>) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	122
4.4.2.2 Metamorfik Kökenli (<i>Mermer ve Kayraktaş</i>) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	129
4.4.2.3 Sedimanter Kökenli (<i>Kireçtaşı, Traverten ve Oniks</i>) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	133
4.4.2.4 İthal Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	138
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR DİZİNİ	155
ÖZGEÇMİŞ	167

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Türkiye'nin Önemli Blok Taş Alanları.	33
Şekil 2.2	Radyasyondan korunma standartlarının oluşturulmasında izlenen yolun şematik gösterimi.	53
Şekil 3.1	Radyoaktif denge durumuna göre ^{238}U serisinin gruplandırılması.....	73
Şekil 3.2	İspir Pink granit örneğinin 10000s süre ile alınan gama spektrumu ve aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri.....	82
Şekil 3.3	İz parametrelerinin ilgisinin şematik gösterimi.	85
Şekil 4.1	Granit örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	92
Şekil 4.2	Andezit ve diyabaz örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.	92
Şekil 4.3	Granit örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.	96
Şekil 4.4	Mermer örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	99
Şekil 4.5	Mermer örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımlar.	100
Şekil 4.6	Kayraktaş örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	102

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.7	Kireçtaşı örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....104
Şekil 4.8	Kireçtaşı örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları105
Şekil 4.9	Traverten ve oniks örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları107
Şekil 4.10	Traverten örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları108
Şekil 4.11	İthal doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit aktivite içeriği.....111
Şekil 4.12	Magmatik kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki.....116
Şekil 4.13	Metamorfik kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki117
Şekil 4.14	Sedimanter kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki117
Şekil 4.15	Magmatik kökenli (<i>granit, andezit ve diyabaz</i>) doğal yapı taşlarının Ra(eq) aktiviteleri.123
Şekil 4.16	Magmatik kökenli (<i>granit, andezit ve diyabaz</i>) doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri123
Şekil 4.17	Magmatik kökenli (<i>granit, andezit ve diyabaz</i>) doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I)124

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.18	Magmatik kökenli (<i>granit, andezit ve diyabaz</i>) doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları 124
Şekil 4.19	Magmatik kökenli (<i>granit, andezit ve diyabaz</i>) doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri 125
Şekil 4.20	Doğal yapı taşı mermerlerin Ra(eq) aktiviteleri 129
Şekil 4.21	Doğal yapı taşı mermerlerin H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri 130
Şekil 4.22	Doğal yapı taşı mermerlerin Aktivite İndeksleri (I) 130
Şekil 4.23	Doğal yapı taşı mermerlerin karasal gama doz hızları 131
Şekil 4.24	Doğal yapı taşı mermerlerin etkin doz eşdeğerleri 131
Şekil 4.25	Sedimanter kökenli (<i>kireçtaşı, traverten ve oniks</i>) doğal yapı taşlarının Ra(eq) aktiviteleri 134
Şekil 4.26	Sedimanter kökenli (<i>kireçtaşı, traverten ve oniks</i>) doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri 134
Şekil 4.27	Sedimanter kökenli (<i>kireçtaşı, traverten ve oniks</i>) doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I) 135
Şekil 4.28	Sedimanter kökenli (<i>kireçtaşı, traverten ve oniks</i>) doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları 135
Şekil 4.29	Sedimanter kökenli (<i>kireçtaşı, traverten ve oniks</i>) doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri 136
Şekil 4.30	İthal doğal yapı taşlarının Ra(eq) aktiviteleri 138
Şekil 4.31	İthal doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri 139
Şekil 4.32	İthal doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I) 139
Şekil 4.33	İthal doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları 140

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 4.34	İthal doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri.....	140
Şekil 5.1	Türkiye doğal yapı taşlarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları	146
Şekil 5.2	Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama $Ra(eq)$ aktivitesi	148
Şekil 5.3	Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama H_{ex} zarar indeksi	149
Şekil 5.4	Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama H_{in} zarar indeksi	149
Şekil 5.5	Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama etkin doz eşdeğeri.....	150

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Dünyada Doğal Taş Üreten Ülkeler ve Kaynakları33
Çizelge 2.2	Türkiye'nin Önemli Bloктаş Alanları.....36
Çizelge 2.3	Taşıyıcı Minerallerin Uranyum İçerikleri.....43
Çizelge 2.4	Kaya Türlerinin Doğal Radyonüklit İçerikleri45
Çizelge 2.5	Kayalarda ve Taşıyıcı Minerallerdeki Th/U Oranları.....47
Çizelge 2.6	Farklı Doğal Taşlarda Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları.....50
Çizelge 2.7	Doğal Radyasyona Maruz Kalma Etkin Doz Eşdeğeri58
Çizelge 2.8	Bina İçi Radon Konsantrasyonu İçin Çeşitli Ülke ve Kuruluşların Sınır Değerleri61
Çizelge 3.1	Çalışılan Doğal Yapı Taşları66
Çizelge 3.2	²³⁸ U ve ²³² Th Bozunumunda Yayımlanan Yüksek Enerjili Ürün Gamaları76
Çizelge 3.3	Bazı Plastik Detektörler için İz Kazıma Koşullar85
Çizelge 4.1	Granit Örneklerinde Gözlenen ²²⁶ Ra, ²³² Th ve ⁴⁰ K Aktivite Konsantrasyonları.....93
Çizelge 4.2	Andezit Örneklerinde Gözlenen ²²⁶ Ra, ²³² Th ve ⁴⁰ K Aktivite Konsantrasyonları.....93
Çizelge 4.3	Granitlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi95
Çizelge 4.4	Mermer Örneklerinde Gözlenen ²²⁶ Ra, ²³² Th ve ⁴⁰ K Aktivite Konsantrasyonları.....98
Çizelge 4.5	Mermerlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi100

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.6 Kayraktaş Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları.....	101
Çizelge 4.7 Kireçtaşı Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları.....	103
Çizelge 4.8 Kireçtaşlarında Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi	104
Çizelge 4.9 Traverten ve Oniks Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları	106
Çizelge 4.10 Travertenlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi	108
Çizelge 4.11 İthal Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları	110
Çizelge 4.12 İthal Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları	112
Çizelge 4.13 Dünyadaki Farklı Ülkelerde Granit Örneklerinde Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları.....	113
Çizelge 4.14 Doğal Yapı Taşlarının ^{222}Rn Salınım Hızı ve Salınım Kesri	115
Çizelge 4.15 Tipik Bina Materyalinin Radyolojik Özellikleri	121
Çizelge 4.16 Magmatik Kökenli (<i>Granit, Andezit ve Diyabaz</i>) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri.....	126
Çizelge 4.17 Magmatik Kökenli (<i>Granit, Andezit ve Diyabaz</i>) Doğal Yapı Taşlarının Aktivite İndeksleri(I)	128

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.18 Metamorfik Kökenli (<i>Mermer ve Kayraktaş</i>) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	132
Çizelge 4.19 Traverten ve Oniks Örneklerinin Radyolojik Özellikleri	136
Çizelge 4.20 Kireçtaşı Örneklerinin Radyolojik Özellikleri	137
Çizelge 4.21 İthal Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri	141
Çizelge 5.1 Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları	145
Çizelge 5.2 Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri.....	152
Çizelge 5.3 Türkiye Granitleri ve İthal Doğal Yapı Taşlarının Bina İçi Kullanım Oranına (w_m) Bağlı Olarak Aktivite İndeksleri(I)	154

RESİMLER DİZİNİ

<u>Resim</u>		<u>Sayfa</u>
Resim 2.1	Türk Ulusunun Ata'sına minneti; Anıtkabir.....	8
Resim 2.2	Sapanca Yeşil adıyla üretilen Serpantinit.....	11
Resim 2.3	Balaban(<i>Balaban Green</i>) Graniti.....	13
Resim 2.4	Aliğa bazaltı.....	15
Resim 2.5	Volkanik kökenli doğal taşlardan Foça yöresine ait bir tüf örneği.	17
Resim 2.6	Ege Bordo Mermeri.....	18
Resim 2.7	Elazığ vişne... ..	25
Resim 3.1	LR-115 katı hal iz dedektörü üzerindeki iz yoğunluğu (<i>sophire blue</i> granit örneği).....	87

1.GİRİŞ

Doğal taş ile oluşturulan eserler uygarlığın başlangıcı sayılabilecek, yaklaşık 5000 yıldan bu yana içerdikleri mesajlarla dönemlerine tanıklık etmektedir.

Türkiye, parlatılarak kullanılan ve endüstriyel olarak mermer adı verilen doğal taş yatakları bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Henüz tam ve sağlıklı bir envanter yapılmamış olmasına rağmen Türkiye 5 milyar m³ 'ün üzerinde muhtemel mermer rezervleri ile dünya rezervinin % 40'ına sahip olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde, blok verebilen, kesilip parlatılabilen beş farklı özellikte taş oluşumunun varlığı bilinmektedir. Bunlar mermerler, renkli kireçtaşları, çeşitli türdeki mağmatik ve volkanik taşlar, travertenler ve karbonat albatrılarından (Oniks) oluşmaktadır. Sözü edilen bu türler, ülkemizin jeolojik özelliklerinin sonucu geniş bir alanda yayılım göstermektedir.

İstanbul Maden ve Metal İhracatçılar Birliğinin (İMMİB) 'nin rakamlarına göre son üç senede doğal taş ihracatı bor minerallerini geçerek birinci sıraya oturmuştur. 2001 yılında 223.5 Milyon \$ doğal taş ihracatı, 2002 yılında %36 dolayında artışla 303 Milyon \$'a yükselmiştir. Ham ve işlenmiş doğal taş türleri içinde özellikle travertenlerin dış satımındaki, %40'lara varan payı dikkat çekicidir. Granit ve diğer sert taş türlerinin toplam dış satım değerleri mermer, traverten ve renkli taşlara oranla daha sınırlı kalsa da artış hızı olumludur.

Özetle, son yıllarda doğal taşların, özellikle inşaat ve dekorasyon sektörlerinde kullanım alanının genişlemesi ile doğal taş ticaretimiz büyük bir ivme kazanmıştır. Bu doğrultuda, doğal taş kaynaklarımızın verimli olarak kullanılması ekonomik gücümüzü arttıracak bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya doğal taş ticaretinde hak ettiğimiz yere

gelmenin en önemli koşulu ise kalitenin yükseltilmesi ve belgelendirilmesidir. Kalitenin belgelendirilmesi, Türkiye doğal taşlarının her birine ait kimlik kartlarının çıkarılması ile gerçekleşecektir. Bu kimlik kartlarının, doğal taş türlerinin petrokimyasal, minerolojik, petrografik, fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin yanı sıra, doğal radyoaktivite içeriğini de kapsamaması, radyolojik açıdan oldukça önemlidir.

Türkiye doğal taşları hakkında, jeolojik (Kun vd., 1999; Eren, 1999; İşintek, 1999; Özer, 1999; Kun ve Bacakoğlu, 1999; Sözbilir, 1999; Kun ve Türkmen, 2001; Demirkıran ve Çalapkulu, 2001; Türkmen ve Kun, 2001), petrografik (Uz vd., 2001a; Uz vd., 2001b; Özpınar vd., 2001), fiziksel (Gündüz vd., 2001), fiziko-mekanik (Yüzer, 1971; Erguvanlı vd., 1974; Öztank ve Türkmen, 2001; Özpınar vd., 2001; Koca vd., 2001; Yavuz vd., 2001; Erdoğan ve Yaşar, 2001) ve arkeometrik (İleri, 1988; İleri vd., 2001; Lazzarini, 2002; De Vecchi, et al., 2000; Çolak and Lazzarini, 2000) çalışmalar yapılmış olmakla birlikte radyoaktivitesini içeren detaylı araştırmalar mevcut değildir.

Ülkemizin doğal taş kaynaklarının tür ve rezerv zenginliğinin son yıllarda değerlendirilmesi ile gelişen “*Türkiye Doğal Taş Endüstrisi*” sadece ulusal değil, uluslararası bir ekonomik ve ticari boyut kazanmıştır. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, ticari olarak mermer olarak adlandırılan Türkiye doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit içeriğinin ve radon emanasyon hızının radyolojik risk açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Anadolu'da Doğal Taş Kullanımının Tarihçesi

Doğal taş ile oluşturulan eserler uygarlığın başlangıcı sayılabilecek, yaklaşık 5000 yıldan bu yana içerdikleri mesajlarla dönemlerine tanıklık etmektedir. Bugün, ayakta kalan anıt niteliğindeki tarihi yapılar incelendiğinde; özellikle *granit, diyabaz ve bazalt* gibi sert taşlardan yapılmış oldukları görülmektedir. Bunların en güzel örneklerini eski Mısır, Mezopotamya ve Hitit uygarlıklarından günümüze kadar, yıllara meydan okuyarak, zamanlarının kültürel birikimlerini bize aktaran eserlerde görmekteyiz. Bu uygarlıkların insanları tanrılarını taş ile somutlaştırmışlar, eserlerini yıllarca süren inanılmaz sabırlı uğraşlar sonucu, bazı hallerde yüzlerce, hatta binlerce kilometre uzaklardan getirdikleri taşlarla inşa etmişlerdir. Mısır-Assuvan (Syenne) bölgesindeki siyenit ocaklarından elde edilen tonlarca ağırlıktaki blok ve sütunlarla yapılmış piramitler (Saqqara) ve tapınaklarla bezenmiş şehirler (Memphis, Luxor, Karnak) bunların bilinen en güzel ve en ünlü örnekleridir.

Anadolu'da binlerce yıl sonra ayakta kalan Hitit, Eski Yunan ve Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı uygarlık dönemlerinin karakterlerini yansıtan yerleşim merkezlerindeki eserler ve bunların malzemesinin elde edildiği bazıları halen çalışan taş ocakları dönemlerine tanıklık etmektedir.

Batı Anadolu'daki Efes, Bergama, Milet, Perge, Side, Afrodisyas ve Hierapolis (Pamukkale) yerleşimleri Anadolu'da antik çağ uygarlıklarının mühürleri olmuştur ve bu yerleşimlerin yakınlarındaki taş ocaklarındaki işleme izleri, dönemin teknik bilgi düzeyini yansıtmaktadır. Bronz ve Hitit çağlarındaki (MÖ 1200-200) zor işlenebilen, koyu renkli sert taşların (Bazalt, Andezit) yerini, Ege merkezli kültürlerin uygarlıklarında, daha

kolay yontularak şekil verilebilen, “*Beyaz Mermer*” türleri almıştır. Mermerlerin geniş alanlarda yaygın olarak bulunuşu, pırıltılı beyaz rengi, büyük bloklar halinde çıkartılarak duyguların yansıtıldığı 3 boyutlu sanat eserlerinin (plastik) yapımına uygun karakteri, bu tercihin ana nedenleridir.

M.Ö 4. yy’da yapılan ve dünyanın yedi harikası içinde yer alan ve 55 m x 110 m’lik bir alanda 18 m yükseklikte yapılan Efes Artemis Tapınağı, yeryüzünde mermerden inşa edilmiş ilk anıtsal örneği oluşturur. Yine yedi harikadan biri olan Karya Satrabı Mausoleus için Halikarnas’ta Greko-Pers üslubunda inşa edilen anıt mezar (M.Ö.4. yüzyıl), Bergama’daki Zeus ve Athena sunakları (M.Ö.2. yüzyıl), Didim’deki Apollon Tapınağı ve dev Klaros heykelleri mermerin kendisinde, mimarlık ve heykeltıraşlığı mükemmel biçimde birleştirdiği muhteşem örneklerdir.

Anadolu, özellikle antikçağlarda mermer üretimi ve ticaretinin ana merkezlerinden biri konumundaydı. Antikçağın devasa boyutlarda görkemli yapılarında kullanılan mermerin çıkarıldığı ocaklar, daha çok Batı Anadolu’da yer almaktaydı. Kuzeybatı Anadolu’da adını Grekçe mermer anlamına gelen "Marmaro"dan alan Marmara Denizi’ndeki Marmara Adası, en önemli beyaz mermer ocaklarını barındırıyor; özellikle Roma döneminde en önemli ihracat merkezini oluşturuyordu. Mavimsi beyaz renkteki Marmara mermerlerinin çıkarıldığı ocaklar Romalılar tarafından genişletilerek büyük işletmeler haline getirilmiştir.

Antikçağa ait diğer önemli ocaklar, Afyon ilinin yakınlarında bulunan İscehisar (Dokimeion) ve Suhut’ta (Synnada) bulunmaktaydı. Bu ocaklardan çıkarılan çatlaksız büyük bloklar halindeki mermerler, yan yollardan ve su yollarından Efes Limanı’na getirilerek uzaklara gönderiliyordu. Efes’te M.S. 2. yüzyıla ait bir "katrakt", Marmara Adası’nda

ise telle kesilmiş bir lahit bulunması, mermer teknolojisinin o dönemde ulaştığı noktayı gösteren önemli kanıtlardır.

Dönemin en önemli mermer ocaklarından biri de bugün Aydın'ın Karacasu ilçesine bağlı Geyre Köyü yakınlarında yer alan Baba Dağ'dır. Dağın hemen eteğindeki düzlükte bulunan antik Afrodisyas kentinde üretilen ve Afrodisyas stili olarak tanınan mermer yapı elemanları, heykel ve portreler, lahitler, kabartma ve süslemeler Roma İmparatorluğu'nun birçok yerine gönderilmiştir. Afrodisyas kenti, Baba Dağı'nın derinleştikçe beyazlaşan, mavi-gri büyük "Karya mermer" bloklarıyla inşa edilmiştir.

Yüzyıllara damgasını vuran mermer, Anadolu'daki ihtişamını Roma İmparatorluğu'nun ikiye ayrılması ve Doğu Roma'nın hızla Hıristiyanlaşmasının ardından kaybetmiştir. Önce beyaz mermerin ilk girdiği tanrı tapınakları ortadan kalkmıştır. Batı Anadolu'daki site devletleri Doğu Roma'nın liman kentlerine dönüşürken meclis binalarını, agoralarını, tiyatro, odeon, kehanet yapılarını da terk ettiler. Bizanslılar, Roma geleneğinin taşıyıcısı oldukları ölçüde mermeri, kendi imparator, imparatoriçe ve soylu kişilerinin heykel ve portrelerinde, meydanlara diktikleri kabartma ve anıtlarda kullanmayı sürdürmüşlerdir. İstanbul Sultanahmet Meydanı'ndaki Mısır Dikilitaş yazıtının kabartmalı Roma kaidesi bunun bir örneğidir. Bizansın tek tanrılı döneminde heykeltıraşlığın yerini, kabartma ve süsleme çalışmaları almıştır. Bu dönemde kilise ve manastır mimarisinde çok sayıda yüksek sütun ve sütun başlıklarının kullanılması, mermere duyulan talebi M.S. 5. ve 6. yüzyıllarda büyük ölçüde artırmıştır. Marmara Adası mermerleriyle yapılan korint, kompozit ve stilize bitkisel motiflerle dantel gibi işlenmiş sütun başlıkları, İmparatorluğun her yerine gönderilmiştir. Sütun başlıklarının örnekleri Ayasofya ve Aya İrini'de de yer almaktadır. Bugün Bizans mermer

işçiliğinin en güzel örnekleri, İstanbul Ayasofya Müzesi'nde görülebilmektedir. Dünyanın ayakta kalabilen en görkemli antik tapınağı olan Ayasofya'nın özellikle iç mekân duvarlarını kaplayan ve ünlü ocaklardan getirilen çeşitli cins ve renkteki mermer plakalarla çeşitli boyutlardaki 107 sütun, burayı adeta mermer çeşitleri sunan büyük bir galeriye dönüştürmüştür.

Anadolu Selçuklu döneminde daha çok Orta ve Doğu Anadolu'daki volkanik tüf türündeki doğal taşlarla ünlü medreseler, camiler, türbeler, kervansaraylar inşa edilmiştir. Özellikle Van-Ahlat dolayındaki renkli ve volkanik tüflerden yapılan eserler, günümüzde de işlevlerini sürdürmektedir. Selçuklu döneminde, mermerin en yoğun olarak kullanıldığı örnek Tokat Gök Medresesi ile Konya Karatay Medresesidir.

Osmanlı İmparatorluğu, Selçuklu yapı gelenekleriyle Bizans ve Avrupa mimarlık sanatını islami etkilerle bütünleştiren yeni ve özgün bir mimari yapı oturtmuştur.

Osmanlı mimarisinin en güzel örneklerinin sergilendiği 16-18 yüzyıl arası özellikle Bursa, Amasya, Manisa ve Edirne'deki yapılarda mermer yoğun biçimde kullanılmıştır. Osmaneli, Bilecik ve Bozüyük'ten büyük zorluklarla getirilen mermerlerle yapılan Bursa'daki Yeşil Camii, Yıldırım Camii, İznik Yeşil Camii ve devşirme antik mermer bloklarla inşa edilen Amasya Yörgüç Camii dönemin ilginç örneklerini oluşturmaktadır. Osmanlı döneminde, Mimar Sinan'la zirvesine ulaşan eserlerin yapımında, Bakırköy taşları (mactralı kalkerler, küfeki taşları) gibi yerel taşlarla, Marmara Adası, Afyon-İscehisar mermer ocaklarından ve Ege Adalarından getirilen taşlar kullanılmıştır. İmparatorluğun yükselme döneminde inşa edilen Beyazıt Camii (1501), Şehzade Camii (1548), Süleymaniye Camii (1556) ve Selimiye Camii (1575) ve Külliyelerindeki taş işçiliği olağan üstüdür.

19. yüzyıla gelindiğinde Batılılaşmanın etkisiyle yapılan göz kamaştırıcı saraylar, kasırlar, kamu binaları, camiler ve saat kulelerinde beyaz mermer yoğun biçimde kullanılmıştır. Çırağan Sarayı, Dolmabahçe Sarayı, Beylerbeyi Sarayı, Yıldız Sarayı, İhlamur Kasrı, Küçüksu Kasrı, Göksu Kasrı, Eminönü, Karaköy, Bankalar Caddesi, Beyoğlu'ndaki taş binalar bu dönemi en iyi şekilde simgeleyen örneklerdir.

Türkiye Cumhuriyeti döneminin büyük mimari yapılarında da mermer önemli bir yer tutmaktadır. Cumhuriyet döneminin, yoksullukla geçen ilk yıllarında taş kullanımı en aza inmiştir. Cumhuriyet Türkiye'sinde taş kullanımının özendirilmesi ve yaygınlaştırılması isteği, Anıtkabir'in inşası ile başlamıştır. Projesi 1942 yılında Prof. Dr. Emin ONAT ve Doç. Dr. Orhan ARDA tarafından hazırlanan bu eserin proje müellifleri Anıtkabir hakkındaki düşüncelerini “.....*O'nun getirdiği yeni ruhu ifade etmesi için, Anıtkabir'in bir Sultan veya Veli Türbesi ruhundan tamamen ayırt edilebilen 7000 yıllık bir medeniyetin rasyonel çizgilerine dayanan klasik bir ruh içinde kurmak istedik*” demektedirler. Bu düşünceye bağlı kalınarak uzun yıllar dayanabilecek yapılar için, tüm tarihsel dönemlerde olduğu gibi Anıtkabir'in de doğal taşlarla yapılması uygun görülmüştür. 1944 yılında yapımına başlanan ve 1953 yılında tamamlanan bu eserde, Türkiye'nin çeşitli illerinden getirilen traverten, renkli taş ve mermerler kullanılmıştır. Yolun her iki tarafında bulunan aslan heykellerinde Kayseri'nin Pınarbaşı ilçesine bağlı Kumarlı Mevkii'nden getirilen beyaz traverten; toplantı alanı, kulelerin zemin döşemelerinde, Şeref Holünün dış duvarlarında, tören meydanlarını çevreleyen kolonlarda ve arkadlı bölüm kolonlarında Polatlı ve Malköy'den getirilen beyaz traverten kullanılmıştır. Bütün merdivenler, Aslanlı Yol ve Tören Meydanı döşemeleri Haymana'dan getirilen beyaz traverten ile inşa edilmiştir. Kayseri'den getirilen bej kireç taşları ise

Mozole kolonaları üzerinde lento (kiriş) taşı olarak kullanılmıştır. Şeref Holü'nün zemini; Çanakkale'den getirilen krembej, Hatay'dan getirilen kırmızı ve Adana'dan getirilen siyah renkte mermer ile inşa edilmiştir. Mozole Şeref Holü'nün iç yan duvarlarının kaplanmasında, Afyon'dan getirilen kaplan postu ile Bilecik'ten getirilen yeşil onix kullanılmıştır. Lahit mekânı ve yan duvarları ise Afyon Beyaz Mermer'i ile toplanmıştır.

Mustafa Kemal Atatürk'ün mozolesinin bulunduğu Cumhuriyet'in siyasal sembolü durumundaki Anıtkabir, Anadolu'nun mermere son övgüsü ve Türk Ulusunun Ata'sına minnetidir (Resim 1). Cumhuriyet'in ilk yıllarında İstanbul-Taksim'deki anıtın tüm taşlarının yurt dışından getirilmesine karşın, Anıtkabir'in taşlarının Türkiye'nin değişik illerindeki ocaklardan sağlanarak, ülkemizin bu zenginliğine önem verilmesi, yerli taşlarımızın kullanımının özendirilmesi açısından dikkat çekicidir.



Resim 2.1 Türk Ulusunun Ata'sına minneti; Anıtkabir

Dünyanın en büyük rezervlerini bağrında saklayan Anadolu'nun mermerle işi henüz bitmemiştir. Bugün Anadolu mermeri, yalnız kendi topraklarını değil, dünyanın dört bir yanındaki büyük anıtları süslemektedir (Yüzer,2003).

2.2 Doğal Taşlar

Günümüzde mermer kelimesi genel anlamda kullanılmakla birlikte literatürde iki tanımı yapılmıştır. Bilimsel açıdan mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayaç olup, kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum dioksit ile grafit hematit, limonit, pirit, mika, klorit gibi değişik mineraller bulunabilmektedir. Bu mineraller mermerlere değişik renk ve damarlı bir görünüm kazandırmaktadır. Mermerlerin ticari tanımlanması ise, blok verebilen, kesilip cilalandığında parlayabilen, dayanıklı ve güzel görünümlü metamorfik, mağmatik ve sedimanter türden doğal yapı taşlarının bütünü için kullanılan bir terimdir (Kun, 2000, Erdoğan ve Yaşar, 2001). Doğal taşların bilimsel anlamda sınıflandırılması birçok kitaplarda detayları ile verildiğinden aşağıda kısaca değinilecektir (Kun, 2000).

2.2.1. Magmatik Kökenli Doğal Taşlar

Magma adı verilen tamamen erimiş silikat sıvısının, yerkabuğunun değişik derinliklerine sokulması ve oralarda soğuyarak katılaşması sonucu oluşurlar. Bu kayaçlar yerleşme derinliklerine göre üç alt sınıfa ayrılırlar. **Derinlik Kayaçları** (Plutonik kayaçlar); Granit, gabro, **Damar Kayaçları** (Yarı derinlik kayaçları); Diyabaz, aplit, **Yüzey Kayaçları** (Volkanik kayaçlar); Bazalt, andezit, riyolit, tüf.

a- Derinlik Kayaçları: Ergimiş silikat sıvısı olan magmanın yerkabuğunun derinliklerine sokulması ve orada uzun sürede, yavaş yavaş soğuması ile oluşan kayaçlardır. Yerkabuğuna sokulan magma yüzeye çıkamadan derinlerde soğursa silikat sıvısı içindeki elementler birbirleriyle birleşerek mineralleri oluşturur. Zaman öylesine uzundur ki magma sıvısının tümü kristalleşir. Böylece tümüyle kristalleşmiş yapıda kayaçlar (Holokristalin doku) oluşturur. Magmanın soğuma süresi ve yerleşme derinliği arttıkça kayacın mineral iriliğinde artar. Granit, granodiyorit, siyenit, dünit, harzburjit, troktolit, gabro veya norit, serpantinit, piroksenit vs. gibi kayaçlar bu gruba örnek olarak verilebilir. Derinlik kayaçlarını SiO_2 sınıflamasına göre örneklersek;

Ultrabazik kayaçlar:	$SiO_2 > \%45$	<i>harzburjit, dünit, serpantinit</i>
Bazik kayaçlar:	$SiO_2 = \%52-45$	<i>gabro, norit, labradorit</i>
Nötr kayaçlar:	$SiO_2 > \%66-52$	<i>siyenit, diorit, monzonit</i>
Asidik kayaçlar:	$SiO_2 \gg \%66$	<i>granit ve granodiyorit</i>

Ultrabazik kayaçlardan blok almak çok zordur. Ayrıca, sertlikleri, zor kesilmeleri ve cilalanmaları gibi özellikleri nedeniyle ultrabazik kayaçlar dünyada ve ülkemizde daha az üretilirler. Bu tip kayaçların ocakta blok üretimi, detaylı jeolojik ve mühendislik çalışmaları gerektirdiğinden oldukça zor ve problemlidir. ***Çankırı Serpantiniti***, günümüzde Türkiye’de işletilen ultrabazik kayaçlardandır. Isparta, Eğridir yöresindeki Kızıldağ harzburjitleri de (Bu kayaçlar tamamen serpantinleşmiş olup Çankırı serpantinitine çok benzemektedirler) oldukça büyük potansiyele sahip olup işletilebilirliği konusunda detaylı çalışmalar sürdürülmektedir.

Sapanca ve çevresinde de yeni üretime başlayan Sapanca Yeşil adıyla tanınan serpantin ocakları vardır (Resim 2.2). Ayrıca İzmir, Seferihisar yöresinde işletilen Teos Yeşili, İzmir-Ankara zonu içinde karbonat damarları ile kesilmiş bir serpantinit türüdür.



Resim 2.2 Sapanca Yeşil adıyla üretilen Serpantinit (Kun, 2000).

Bazik kayaçların, mermer amaçlı en çok kullanılan türü **labradorittir** Kayaç, doğal ışıkta mavi-yeşil yansıma rengi veren labrador minerallerinin iriliğine, rengine ve miktarına göre farklı renklerde görülebilir. Dünyada işletilen birçok labrodorit yatağı mevcuttur. Kanada, Norveç, Rusya ve Brezilya başlıca labrodorit üreticileridir. Dünya piyasalarında bilinen labrodorit türleri *Blue Pearl* ve *Emerald Pearl*' dir .

Ülkemizde son yıllara kadar işletilmeyen bazik kökenli derinlik kayaçları, artık aranan ve işletilmek için çalışmaların yapıldığı kayaç gruplarından olmuştur. Yozgat civarında çıkarılıp işletilen gabrolar ve Antalya civarlarında sürdürülen çalışmalar bunlara iyi birer örnektir. Dünya piyasalarında bilinen birçok gabro türü kayaç vardır. *Star Galaxy*, İran çıkışlı *Emerald* ile *Black Sky* gabrolara en iyi örnektir.

Nötr kayaç olan siyenitler, dünyada bilinen ve işletilen en eski yapıtaşlarıdır. Bilinen adıyla *African Red* (Nil Graniti) eski Mısırda işletilmeye başlanmış olup halen işletilen ve dünyaca tanınan bir siyenittir. Ayrıca, *İmperiyal Red*, *New Rubin*, *Rosso Toledo* kullanılan siyenitlerdir.

Asidik kökenli olan granit ve granodiyorit kayaçları, diğer kayaç gruplarına göre yerkabuğunda yayılımları daha fazla olan kayaçlardır. Dünyada ve ülkemizde en iyi bilinen ve işletilen kayaçlar granitlerdir. Eski çağlardan beri insanlar bunları kolaylıkla bulup kullanmışlardır (De Vecchi et al., 2000). Sağlam, dayanıklı, sert ve hava koşullarından az etkilenmeleri nedeniyle yüzyıllar boyunca dimdik ayakta kalan granitten yapılmış eserlere dünyanın birçok yöresinde rastlamak mümkündür. Buna en iyi örnek, *Nil Granitinden* yapılmış olan Mısır Piramitlerinin yüzyıllardır ayakta durmasıdır. Dünyada birçok ülkede yaygın olarak bulunurlar. İtalya, İspanya, Portekiz, Çin, Hindistan, Baltık ülkeleri, Güney Amerika ve Kuzey Amerika'da işletilen ve dünya pazarlarına sunulan çeşitli granitler vardır. Rosa Porrino, bunların en iyi tanınanı ve en yaygın kullanılanıdır.

Türkiye'de işlenen birçok asidik derinlik kayacı bulunmaktadır. Ülkemizdeki asidik ve bazı nötr kayaçların (Granit, Granodiorit ve bazı Siyenitler) yayılımlarına dikkat edilirse bunların Türkiye'nin kuzey batısı ve Marmara denizinin güneyi, Orta Anadolu bölgesi Kırşehir - Nevşehir Bölgesi ve Türkiye'nin Kuzey doğusu, Doğu Karadeniz bölgesinde yer aldığı görülür. Bu bölgelerin dışında ülkemizde daha birçok yerde irili ufaklı granit ve granodiorit sokulumlarına rastlamak olasıdır.



Resim 2.3 Balaban(*Balaban Green*) Graniti (Stone, 2005)

Ülkemizde işletilen asidik kayalar içinde en tanınanları, Ayvalık ile Bergama arasında işletilen gri renkli **Kozak Graniti**, Doğankent/Giresun'da işletilen **Karadeniz Gri**, Ortoklas kristallerinin rengi nedeniyle hafif pembe görünümlü olan ve Kaman/Kırşehir de işletilen **Türk Lokumu**, Savcılı/Kırşehir'de işletilen Anadolu ve Epidotlu granit olan **Balaban Green** (Resim 2.3), **Giresun Vizon**, **Kırşehir Kaman**, **Aksaray Nova**, **Aksaray Yaylak**, **Kır çiçeği pembe**, **Kır çiçeği**, **Anatolian Grey**, **Beypazarı** ve **Kaman Rosa** bilinen Türk granitleridir.

b-Damar (Yarı derinlik) kayaları: Yerkabuğunun derinlerine sokulan magmanın yüzeye çıkması sırasında, yüzeye varamadan yerkabuğunun iç kısımlarında soğuması ile damar veya yarı derinlik kayaları oluşur. Bu

kayaçlar genellikle kalınlıkları çok değişken damarlar halinde oluşurlar. Örnek olarak, *diyabaz (dolerit) ve aplit* verilebilir.

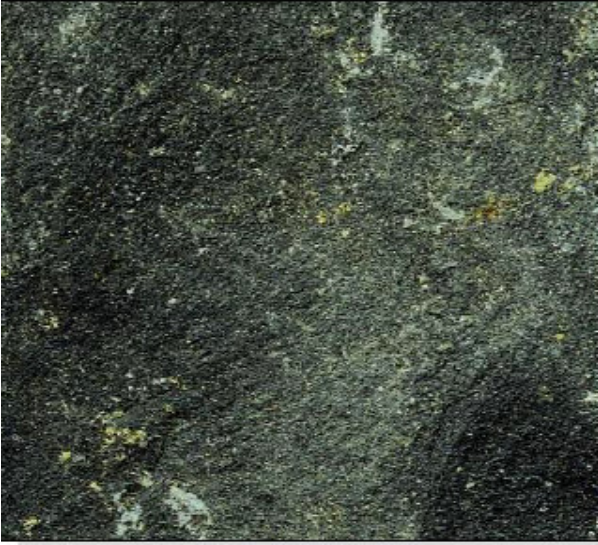
Dünyada ve Türkiye’de bilinen ve işletilen en önemli yarı derinlik kayacı diyabazlardır. Ülkemizde çok uzun yıllardan beri çalıştırılan ***Gemlik Diyabazı*** dünyaca tanınmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ***Antik Yeşil*** adıyla Tavşanlı/Kütahya’da ve Antalya yöresinde bazı diyabazlar işletilmeye başlanmıştır.

Ülkemizde diyabaz yayılım bölgeleri oldukça geniştir. Antakya, Hatay bölgesindeki ofiyolitler içinde, Marmaris-Fethiye çevresindeki ofiyolitler içinde ve güneydoğuda Guleman çevresinde bulunan ultrabazikler içinde damar şeklinde işletilebilecek özelliklerde diyabaz türü kayaçlar vardır (Kun, 2000).

c-Yüzey kayaları : Yerkabuğuna sokulan magma herhangi bir jeolojik neden ile yüzeye çıkıyor veya yüzeye çok yakın bölgede soğuyorsa cam veya matriks denilen ara maddenin hakim olduğu (hiyalin veya hipokristalin doku) kayaçlar oluşmaktadır. *Riyolit, obsidyen, ignimbirit, andezit, bazalt, trakit, lösitit, latit* bu tür kayaçlara örnek olarak verilebilir. Yüzey kayaları kendi aralarında bazik, nötr ve asidik olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Bazik Volkanitler; genellikle bazalt ailesi olarak tanınan bu kayaçlar, gabro tipi bazik derinlik kayaçların yüzeysel eşleniği olarak kabul edilirler.

Bazalt: Piroksen, plajioklas (*labrador ve bitovnit*), amfibol ve az biyotit’den oluşan bir mineral bileşimine sahiptir. Olivin bazaltda ise bu minerallere olivin eklenir.



Resim 2.4 Aliğa bazaltı (Stone, 2005).

Ülkemizde, Çanakkale, Manisa, Nevşehir, Niğde, Konya illerimizde ve Doğu Anadolu'nun büyük bir bölümünde yayılım sunan bazaltlardan günümüzde ekonomik boyutlarda ürün veren ve işletilen yalnızca **Kula** ve **Aliğa** bazaltlarıdır (Resim 2.4).

Nötr Volkanitler; kimyasal ve mineralojik özellikleri derinlik eşleniklerine benzer. Başlıca kayaçları, *andezit, trakit ve latittir*. Andezit dioritin, trakit siyenitin, latit ise monzonitin yüzey eşdeğeridir. Ortaç volkanitler içinde mermer ve yapı taşı olarak genellikle andezitler kullanılmaktadır.

Andezit: Genellikle plajoklas (andezin cinsi), biyotit, amfibol ve az oranda piroksen ile K-feldspattan oluşan bir mineral içeriğine sahiptir. Doğada kırmızı, gri, siyah ve yeşil gibi çeşitli renklerin tonlarında

gözlenirler. Anadolu'da Erciyes, Süphan ve Ağrı dağları andezitlerden oluşmuştur. Günümüzde blok verebilen ve mermer olarak işletilebilen andezitler çok enderdir. Ülkemizde, Çankırı'da Korgun çevresinde, Ankara'da Gölbaşı Çevresinde ve İzmir'de Menemende işletilen andezit ocakları vardır. İran'da üretilen **Red Diamond** isimli mermer de kırmızı renkli andezittir. İzmir kuzeyinde bulunan Yund Dağı andezitlerinden bahçe dekorasyonunda kullanılan zar yapımı uzun zamanlardan beri devam etmektedir.

Asit Volkanitler: SiO₂ oranı % 66 dan fazla olan asit volkanitlerin başlıca kayaçları, *riyolit*, *riyodasit*, *perlit* ve *obsidyendir*. Perlit ve obsidyen camsı kayaçlar olduğundan mermercilikte kullanılamazlar. Riyolit ve riyodasit ise genellikle parlatılmadan kullanıldığı için yapı taşı olarak değerlendirilebilirler.

Ayrıca volkanlardan hızla dışarı fırlatılan kül, küçük kaya ve mineral kırıntılarından oluşan malzemenin çökmesi ile de volkanoklastik kayaçlar (**Tüfler**) oluşur. Beyazdan kahverengiye kadar değişen renk armonileriyle, özellikle bahçe dizaynında, barbekü ve şömine yapımında değerlendirilen tüfler parlatılmadan kullanılırlar (Resim 2.5). Ülkemizde Batı Anadolu'da Foça, Çeşme ve Çanakkale tüfleri Orta Anadolu'da Nevşehir ve Afyon tüfleri ekonomik olarak kullanılmakta ve tanınmaktadır.



Resim 2.5 Volkanik kökenli doğal taşlardan Foça yöresine ait bir tuf örneği

2.2.2 Metamorfik Kökenli Doğal Taşlar

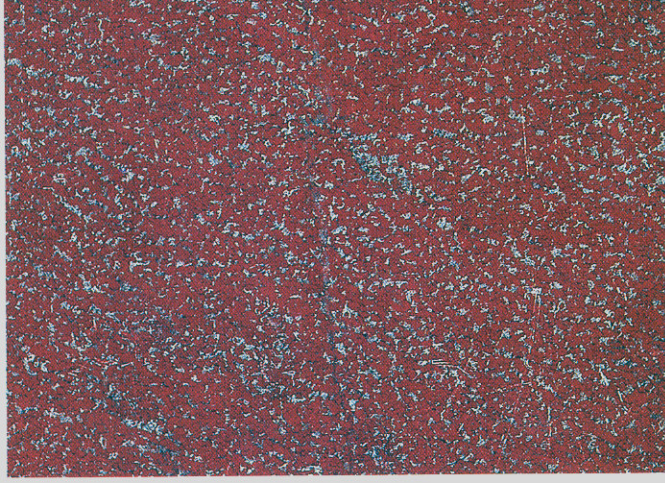
Metamorfizma kelime anlamı ile başkalaşım demektir. Çeşitli kayaçların jeolojik ve tektonik olaylar sonucunda oluşan ısı ve basınç ile katı halde yapı, doku, mineral bileşimi gibi fiziksel özelliklerinin değişmesi olayına metamorfizma, bu olaylar sonucu oluşan kayaçlara da metamorfik kayaçlar denilmektedir.

Metamorfik kökenli doğal taşlar içinde mermer olarak kullanılanları genel olarak 4 grupta toplanır.

a-Gerçek Mermerler: Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşının ısı ve basınç ile metamorfizma geçirmesi ile oluşurlar. Meramorfizma sonucu mineraller yeniden kristalize olup dokusal olarak düzenlenirler (CaCO_3 veya MgCO_3 ' ın metamorfizma geçirmesi). Bu düzenlenme sırasında ilksel kayaçtaki tane boyu farklılıkları kaybolur, kayaç yaklaşık eş tane boylu ve tekdüze görünümlü hale gelir. Bu arada kayacın dokusal özelliği de değişime uğrar. Kayaçtaki karbonat mineralleri girintili çıkıntılı sınırları boyunca birbirine

kenetlenir. Gerçek mermerlerdeki bu kenetlenme dokusuna *Granoblastik* doku adı verilir.

Gerçek mermerler içinde, ilksel kayacın bileşimine bağlı olarak, kalsit ve dolomitin yanı sıra, kuvars, epidot, tremolit, aktinolit, feldspat gibi silikat mineralleri de bulunabilir. Gerçek mermerler genellikle Mesozoyik ve Paleozoyik yaşlıdır. Ancak ülkemizde bu kurala uymayan Senozoik yaşlı, Ege Bordo gibi birkaç mermer çeşidi vardır (Resim2.6).



Resim 2.6 Ege Bordo Mermeri (Kun, 2000).

Gerçek mermerlerde tane boyutu çok önemli bir özelliktir. Mermer ilk olarak tane boyutu ile değerlendirilir. Mermerlerin tane boyutu; dayanım, kullanım yeri, parlaklık ve cila alma özelliklerine direkt olarak etki eder. Bu nedenle gerçek mermerlerde tane iriliği azaldıkça ekonomik değer artar. Gerçek mermerleri tane boyutuna göre dört grupta toplanabilmektedir (Kun, 2000).

Sıfır kristal : Mermer yüzeyinde taneler gözle ayırt edilemez. Bu tip mermerler 100 mikrondan daha küçük tane boyutuna sahiptir. Tane boyunun küçük olması nedeniyle çok iyi cila kabul ederler. Bu nedenle en iyi parlatılan mermerlerdir. İç yansımaları çok iyi iletirler. En pahalı ve en değerli mermerlerdir. Örnek; Afyon mermeri.

İnce kristal : Tane boyları 100-2000 mikron arasında olan mermerlerdir. Örnek; Milas (Avrupa Beyazı).

Orta kristal : 2 - 5 mm arasında kristal boyutuna sahip olan mermerlerdir. Kesim ve işleme sırasında problem yaratırlar Bu tane boyuna sahip mermerlerde çatlama (kenarlarda kristal atması ve kopması) olayına sık rastlanır. Örnek ; Bursa/ Mustafa Kemalpaşa Beyazı

İri kristal : Kristal boyutu 5 mm den daha büyük olan ve taneleri gözle rahatlıkla görülen mermerlerdir. Örnek; Kırşehir Beyazı.

b-Şistler: Şistlerin mermercilikte kullanılabilmesi için kuvarsın fazla olması yani sertliğin yüksek olması gereklidir. Genellikle cilalanmadan kullanılırlar. Dünyada cilalanarak mermer olarak kullanılan şistler de vardır. Bunlara örnek olarak dünyanın en pahalı taşlarından olan ve dünyada ender görülen mavi renge sahip “ **Mavi Kral - Azul İmperyal** “ isimli Disten - kuvars şist verilebilir. Orta Afrika’da üretilen bu kayaç dünyaca tanınmaktadır.

Şistler genellikle yapı taşı olarak kullanılırlar. Bilimsel olarak şistozitelerinden, halk ve mermercilik deyimiyle ise “kayraktaş” olma özelliklerinden dolayı dekoratif olarak park, bahçe ve çok yıldızlı yapılarda

havuz kenarı, yürüme yolları gibi görsel güzellik ve tabii görüntü aranan mekanlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde Menderes Masifi'nin çevresinde birçok yerde özellikle kuvars şistler ve kuvars fillitler yerel olarak çalıştırılmaktadır.

c-Gnayslar : Orta ve iri taneli, çekiçle vurulduğunda cm. ve dm. kalınlığında plaka ve sutuncuklar şeklinde parçalara ayrılabilen, ana mineralleri kuvars, mika ve feldspattan oluşan ve bunlara ek olarak da amfibol, granat, disten, sillimanit gibi minerallerden yapılmış metamorfizma geçirmiş, yapraklanma gösteren kayalardır. Gnayslar kuvars ve feldspat içerdiklerinden sert kayalar grubuna girer. Yapısal olarak üçe ayrılırlar; *Gözlü Gnayslar*, *Bantlı Gnayslar*, *Granitik Gnayslar*. Bunlardan gözlü ve granitik gnayslar blok almaya uygundur. Bantlı gnays ise bant bant olduğundan blok almaya elverişli değildir.

Dünyada birçok ülkede gnayslar işletilebilen ve pazarlanan kayalardandır. Sert olduklarından granit grubu kayaları ile birlikte değerlendirilirler. Granitlerin yer aldığı kataloglara dikkatlice bakıldığında, bunların bir kısmının yönlü yapıya sahip gnayslar oldukları görülür. Bu kayalara örnek olarak *Grigio Malaga* ve *Tiger White* verilebilir. Birçok metamorfik masifin bulunduğu ülkemizde, gnayslar hemen hemen hiç değerlendirilmemektedir. Trakya'da Istranca masifinde, Kırklareli civarında bulunan pembe renkli granitik gnayslar bir müddet işletilmiştir. Son yıllarda ise Menderes masifinde Uşak yakınlarında bantlı gnayslar değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Burada parlatılmadan ebatlanan gnayslar döşemelik olarak piyasaya sunulmaktadır.

Ülkemizde gnayslar geleceğin potansiyel mermer yataklarıdır. Menderes Masifi'nin çekirdek serisinde yer alan gnayslar içinde bazı bölgelerde mavi renkli ortoklas ve kuvarslar nedeniyle renklenmiş mavi gözlü gnayslar işletilmeyi beklemektedirler.

d-Migmatitler: Metamorfizmanın ilerleyen evresinde kuvars, plajjoklas ve K-feldspat gibi beyaz ve pembe kırmızı renkli mineraller erimeye başlar. Eriyen bu mineraller erimeyen koyu renkli kısım içinde yeniden kristalleşir. Böylece eriyen minerallerin erimeyen kısım içinde kıvrılıp bükülerek yeniden kristalleşerek dağılması sonucu çok değişik görünümlü migmatitler oluşur. Migmatitlerde bu oluşum şekli yüzünden sonsuz renk ve desen seçeneği ortaya çıkar (Kun, 2000).

Mineral bileşimi olarak gnays ve granitlerden pek farkları yoktur. Bu nedenle granit familyasındaki kayalar içinde kabul edilirler. Migmatitlerde homojenlik söz konusu değildir. Kayacın metamorfizması sırasında eriyen kısımlar seçimsiz olarak gelişigüzel dağıldığından aynı bir bloktan alınan levhalar üzerinde bile homojenlik sağlanamaz. Bu nedenle migmatitler pano olarak daha çok dış cephe kaplamalarında kullanılmaktadır.

Dünyada birçok yörede migmatit işletilmektedir Özellikle Hindistan bu konuda büyük atılımlar yapmıştır. ***Indian Juparana Ivory, Juparana Light ve Bahia, Indian Kinawa ve Kinawa Bianco (White Waves)*** bilinen migmatit cinsleridir.

Metamorfik kayalardan yukarıda verilen örneklerin dışında eklojitler, granitler ve anateksi granitleri de sert mermer olarak kullanılabilirler.

2.2.3 Sedimanter Kökenli Doğal Taşlar

Sedimanter Kayaçlar, genellikle tabakalıdırlar ve çoğu kez fosil içerirler. Sedimanter kökenli doğal taşlar kökenlerine ve oluşum ortamlarına göre kırıntılı, organik ve kimyasal olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar.

a-Kırıntılı Sedimanter Kayaçlar: Kaynak kayaçlardan kopan çeşitli boyutlarda kayaç ve mineral parçalarının karalarda ve denizlerdeki sedimanterleşme havzalarına taşınarak buralarda çökelmeleri ile oluşan taneli ve parçacıklı kayaçlardır. Kırıntılı kayaçlar genel anlamda Çimentolu ve Çimentosuz olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Çimentosuz Sedimanter Kayaçlar: Kayacı oluşturan taneleri birbirine bağlayıp birleştirecek herhangi bağlayıcı bir maddenin bulunmadığı ve tanelerin serbest kaldığı kayaçlardır. Bunlara örnek olarak çakıl ve kumlar verilebilir.

Çimentolu Sedimanter Kayaçlar: Kayaç içindeki değişik boyuttaki tanelerin bir çimento maddesi ile (matriks) birbirine kenetlenmeleri sonucu katı ve sıkılaştırmış halde bulunan kayaçlardır. Bunlara örnek olarak Kumtaş ve çakıltaşı verilebilir.

Kırıntılı sedimanter kayaçlardan çimentosuz sedimanter kayaçlar, mermer yada yapı taşı olarak kullanılmazlar. Buna karşılık çimentolu sedimanter kayaçlar, sıkılaştırmaları ve tanelerin sertliklerine göre mermer veya yapı taşı olarak kullanılabilirler. Çimentolu kırıntılı sedimanter kayaçlar içinde kumtaşları, konglomeralar (çakıltaşları) ve tüfitler ekonomik

olarak değerlendirilirler. Bunlardan bir kısmı parlatılarak kullanılırken büyük bir kısmı parlatılmadan kullanılmaktadır.

Kumtaşları: Tane çapları 0,2-2 mm arasında değişen kırıntıların çimentolanmasıyla oluşan kayaçlardır. Kumtaşı, grovak, arkoz gibi isimler alır. Yurdumuzda Orta Anadolu ve Trakya’ da kullanılabilir nitelikte kumtaşları mevcuttur. Örneğin, Ankara’nın kuzeyindeki Bağlum’dan çıkarılan Mesozoyik (Jura) yaşlı ve içinde yer yer Bellemnit fosilleri bulunan kalker çimentolu kumtaşı eski binalarda kullanılmıştır.

Kullanım alanları Türkiye’ de çok yaygın olmasa da özellikle Avrupa’ da kumtaşları iç veya dış mekanlarda kullanılmaktadır. İç mekanlarda, özellikle aşınmanın çok olduğu yerlerde dayanıklı olduğunda taban döşemesi olarak, dış mekanlarda da atmosferden ve sudan etkilendiği için etrafına taşı koruyan destekler yapılarak kullanılır. Kumtaşları genellikle parlatılmadan kullanılır. Ancak son yıllarda bazı kumtaşları parlatılarak da kullanılmaktadır. Kumtaşları, kuvars ve feldspat minerallerinden yapıldıklarından sert mermerler sınıfına dahil edilirler.

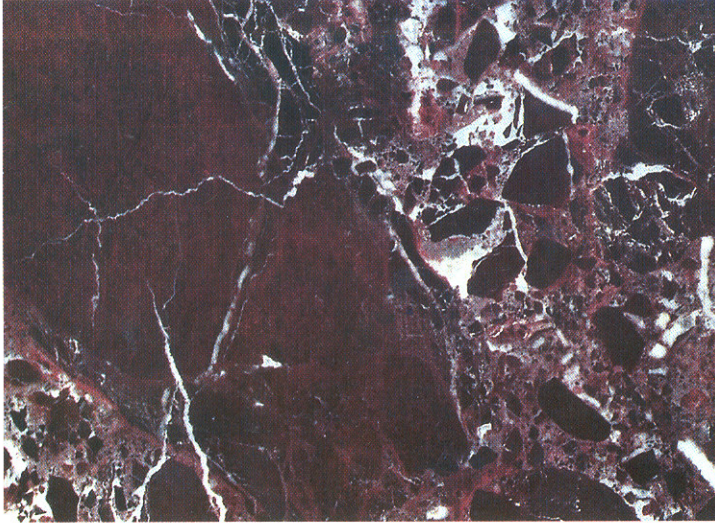
Tüfitler: Volkan bacasından yüzeye çıkan sıcaklıkta ,asidik malzemenin (çoğunlukla küller) akarsular ile taşınıp çökmesiyle oluşurlar. Oluşumları sırasında içlerinde metal oksitleri içeren suların oluşturduğu şekiller nedeniyle çok değişik desen ve görüntüler sunan tüfitler daha çok şömine, barbekü, sütun vb. yerlerde kullanılır. Çoğu kez üzerinde kolay çalışılan ve yontulabilen bir malzemedir. Anadolu’nun her yöresinde yaygın olarak işletilmektedir. Orta Anadolu’da Nevşehir ve Avanos bölgesinde, Batı Anadolu’da Afyon, İzmir (Foça, Çeşme) ve Çanakkale çevresinde işletilen ocaklar vardır.

Konglomeralar (Çakıtaşları): Tane boyları 2 mm den büyük parçaların çeşitli çimento maddeleri ile birleşmesi sonucu oluşurlar. Konglomeraların mermer olarak kullanılabilmesi için aşağıda verilen bazı özelliklere sahip olmaları gerekir. Bunlar;

- Konglomerayı oluşturan tanelerin eş kökenli ve eş sertlikte olması. Örneğin çakılların tümünün kireçtaşıdan yapılı olması gibi. Eğer çakıllar kireçtaşı yanında kuvarsit, kumtaşı, çört gibi farklı sertlik ve yapıda malzemeler içeriyorsa, bu konglomera mermer olarak kullanılamaz.
- Konglomerayı oluşturan taneleri birleştiren çimento malzemesinin sıkışmış olması
- Konglomerayı oluşturan çimento malzemesinin içinde kil bulunmaması.Konglomeralar tanelerinin köşeli ve yuvarlak olmasına göre breşler ve pudingler olarak başlıca iki grupta toplanabilir.

Breşler : Konglomeraları oluşturan kayaçların çoğu köşeli ise tektonik breş, volkanik breş ve buzul breşi gibi adlar alırlar.. Ancak yapı malzemesi olarak kullanılan tektonik breştir. Bu gruba ait iyi bilinen örnekler; ***Elazığ Vişne, Gediz Siyah, Ege Vişne, Petrol Yeşili' dir***).

Elazığ Vişne ve Petrol yeşili, ülkemizde ve dünya ülkelerinde tanınan, Doğu Anadolu'nun güneyindeki, mobil kuşağında Guleman ofyolitlerinin, aynı kuşakta bulunan Sivrice kayaçlarının üzerine sürüklendiği zonda gelişmiş, iyi çimentolanmış fay breşleridir (Kun, 2000). Bu nedenle mermerler içinde her iki birime ait kayaçlar (ofyolitik parçalar, kalsit damarları, kireçtaşları) yer alır (Resim 2.7).



Resim 2.7 Elazığ vişne.(Stone, 2005)

Pudingler : Konglomeraları oluşturan parçaların çoğu yuvarlaklaşmış ise kayaç puding adını alır. Buna en güzel örnek Siyah Lale, Orkide gibi ticari isimlerle anılan Hereke pudingleridir. Bu yapı malzemesi 500 yıldan beri Türkiye 'de kullanılmaktadır.

Konglomeralar yapı taşı olarak genellikle iç cephe kaplamasında kullanılmaktadır. Çünkü çakılları bağlayan matriks killi veya sedimentasyon sırasında tam olarak pekleşmemiş ise atmosferik koşullardan etkilenerek zamanla aşınabilir. Ayrıca dış mekanda kullanılan konglomeraların zaman içinde doğadaki rengine dönüştüğü gözlenmiştir. Zaman zaman yer döşemesi olarak da kullanılabilir.

b-Kimyasal Sedimanter Kayaçlar: Kimyasal sedimanterlerin oluşumunda kaynak, sudaki erimiş haldeki tuzlardır. Bu tuzların, gerek buharlaşmanın hızlı ve devamlı olması gerekse beslenme havzasından tuz geliminin devam

etmesiyle, zaman içinde yoğunlukları artar. Bu yoğunluk artışı sonucu su içinde eriyemeyen tuzlar jel haline gelerek, yerçekimi etkisiyle hareket eder ve jel halinde çökerek depolanır. Ayrıca bikarbonat içeren sıcak veya soğuk sular, çatlaklarda gezerken üzerlerindeki basıncın kalkmasıyla içlerindeki CaCO_3 çökeltirler. Böylece kimyasal kökenli sedimanter kayaçlar oluşur.

Kimyasal sedimanter kayaçlardan Mermer ve Yapı taşı olarak kullanılanlar travertenler, oniksler ve mikrokristalin kireçtaşlarıdır. Bu kayaçlar kimyasal bileşimlerine göre tanımlanırlar. Kireçtaşı, traverten, oniks, sarkıt ve dikitler, marnlar ve Ca- Mg karbonatlar (dolomitler) olarak ayrılırlar.

Travertenler; mermercilikte problemsiz ve kusurlarının kamufle edilebildiği bir taş olarak kabul edilir. Traverten ile sarkıt-dikitler arasındaki fark ortamlardır. Sarkıt ve dikitler mağaralarda, traverten ise yüzeyde oluşur.

Türkiye’ de Denizli dışında Muğla, Akhisar, Kütahya, Afyon, Antalya ve Orta Anadolu’ da birçok traverten çeşidini görmemiz mümkündür. Günümüzde Batı Anadolu’da bazı Tersiyer yaşlı kireçtaşları da Traverten adıyla işletilmektedir.

Oniksler; kalsiyum bikarbonatlı kaynak suların içindeki veya yarıklar içinde dolaşan soğuk suların içindeki CaCO_3 in çökmesiyle oluşan mermerlerdir. Tektonik fay hatlarında ve karstik boşluklarda sıkça rastlanır. Oluşum ısısı 29°C ’ın üzerinde ise aragonit, 29°C ’ın altında ise kalsit kristalleri oluşur. Gerçek onikslerin kimyasal bileşimi SiO_2 dir. Oniks mermerler gerçek onikslere çok benzediğinden dolayı bu ismi almışlardır. Gerçek onikslerle oniks mermerlerin oluşum şekilleri birbirine çok benzer.

Oniks mermer genellikle beyaz, bal renkli, sarı, kırmızı ve yeşil renklerde olup, yarı saydamdır. Hareli, bantlı ve damarlı şekillerde bulunan oniks mermerleri, tanelerin birbirlerine sıkı sıkıya bağlanmış olmaları nedeniyle oldukça serttirler ve çok güzel cila kabul ederler.

Ülkemizde bilinen en önemli oniks mermerler, *Gül oniks*, *Demirci oniks* ve Romalılar devrinden buyana işletilen Akhisar Harmandalı köyü çevresindeki ve *Bilecik oniks* mermerleridir.

Marnlar; kireçtaşı ve kiltaşının yaklaşık eş miktarlarda birleşimiyle oluşmuş olan sedimanter bir kayadır. Kil oranının artması ile kireçli kiltası, CaCO₃ oranının artmasıyla da killi kireçtaşı adını alır. Ülkemizde genellikle killi kireçtaşları yapı taşı olarak değerlendirilmektedir. Bunlardan en önemlileri İzmir/Bergama Yeniköy yakınlarında işletilen sarı renkli marn ocaklarıdır. Ayrıca Antalya civarında uzun yıllardan beri işletilen ve ülkemizde ve dünya mermer piyasasında iyi bilinen *Limra* mermerleri bu gruba dahil edilebilir. Diğerlerinden farklı olarak Limra parlatılabilir özellikte olduğundan mermer olarak işletilmektedir.

Mikrokristalin kireçtaşları: Tane boyutu 0.003-0.1 mm arasında olan kalsit tanelerinin, sedimentler ortamlarda birbirlerine kenetlenerek taşlaşma geçirmesi ile oluşur. Çok ince taneli karbonat veya karbonat çamurlarından oluşmuşlardır. Ülkemizde çok yaygın olarak bulunan kireçtaşlarından birçoğu mermer olarak işletilebilir özelliktedir.

Batı Anadolu'da yaygın olarak kullanılan bej türü mermerler (*Ege Bej*, *Çeşme Bej*, *Gölpazarı Bej*, *Burdur Bej* vs) ile *İzmir Füme*, *Ege Kahve*, *Ege Rose* gibi mermerler kireçtaşı kökenli olup genellikle Mesozoyik yaşlıdır. Ayrıca Paleozoyik yaşlı (örn. Karbonifer yaşlı)

Kayseri/Develi Kireçtaşları ve Senozoyik yaşlı kireçtaşları da mermer olarak kullanılmaktadır. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi Türkiye’de hemen her yaşta kireçtaşı bulmak ve işletmek mümkündür.

c-Organik Sedimanter Kayaçlar: Bu kayaçların oluşumunda kaynak canlılardır. Deniz ve göllerde yaşayan kavkılı canlıların ölmesi ve bu kavkılıların yerçekimi etkisiyle dibe taşınıp depolanmasıyla oluşurlar. Bu tür kayaçlar mikroskop altında incelendiğinde tümüyle fosil organizmalardan oluştuğu görülür. İstanbulda bulunan mactralı ve nümmilitli kireçtaşları ile *Elazığ siyah* (Globegerina fosilleri) ve *Elazığ sunta* buna en iyi örnektir. Ayrıca dünyada ve ülkemizde işletilen birçok karbonat kökenli kireçtaşları bu gruba dahildir. Bunların yanı sıra resifal kökenli kireçtaşları da organik sedimanter kayaçlar sınıfındadır.

2.3 Dünya ve Türkiye Doğal Taş Kaynakları

Türkiye’de 5 milyar m³’ü aşan miktarda mermer ve renkli doğal taş rezervleri olduğu tahmin edilmektedir. İstanbul Maden ve Metal İhracatçılar Birliğinin (İMMİB)’nin rakamlarına göre son üç senede doğal taş ihracatı bor minerallerini geçerek birinci sıraya oturmuştur. 2001 yılında 223.5 Milyon \$ doğal taş ihracatı, 2002 yılında %36 dolayında artışla 303 Milyon \$’a yükselmiştir.

Ham ve işlenmiş doğal taş türleri içinde özellikle travertenlerin dış satımındaki, %40’lara varan payı dikkat çekicidir. Granit ve diğer sert taş türlerinin toplam dış satım değerleri mermer, traverten ve renkli taşlara oranla daha sınırlı kalmaktadır. Ancak bunlardaki artış hızı da olumludur.

Özetle, ülkemizin doğal taş kaynaklarının tür ve rezerv zenginliğinin son yıllarda değerlendirilmesi ile gelişen *“Türkiye Doğal Taş Endüstrisi”* sadece ulusal değil, uluslararası bir ekonomik ve ticari boyut kazanmıştır (Yüzer 2003).

2.3.1 Dünya Doğal Taş Kaynakları

Dünya coğrafyasına baktığımız zaman petrografide mermer olarak adlandırılan kristalin kalkerlerin, jeoloji ve jeomorfolojide terminolojisinde Alp Kuşağı, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan ve Hindistan’dan (Himayala Yükseltisi) Çin’e kadar uzanan alanda bulunmaktadır. Sözü edilen bu geniş alan jeoloji olarak hemen hemen aynı yapıya sahip bulunmaktadır. Ayrıca metamorfik (başkalaşım) masifler içinde oluşan mermerler ve magmatik orjinli olan kayalar, Hersiyen Orojenik kuşağına ait olan eski Kristalin Masiflerin (Kanada, İsveç, Anadolu, Urallar, Sibiry, Güney Afrika, Güney Amerika ve Avustralya) bulunduğu yerlerde görülmektedir. Mermer olarak kullanılacak niteliklerdeki kalker, dolomitik kalkerler ve kalkbreşler ise genellikle Alp kuşağında, bu kuşağın çevresindeki Mesozoik ve Tersiyer oluşumları içerisinde yer alır. Kalker ve dolomitik kalkerlerin bulunduğu yerler çok değişik jeolojik yapı gösterirler. Kalkbreşler ise tektonik zonlarda ve uygun sedimantolojik ortamlarda bulunur. Değişik yapı ve dokunun bulunması kalker oluşumu esnasından kaynaklanmaktadır.

Granit, diyorit, siyenit vb. gibi mermer olarak kullanılacak nitelikteki magmatik orjinli kayalar eski kristalin masiflerle ilgili olarak bulunur. Bazı kıtalarda örneğin; Kuzey Avrupa’da, İsveç, Finlandiya ve Güney Afrika’da olduğu gibi çok geniş alanlarda Granit oluşumlarının bulunduğu jeolojik olarak bilinmektedir.

Çizelge 2.1 Dünyada Doğal Taş Üreten Ülkeler ve Kaynakları
(VIII..Kalkınma Planı, 2001).

ASYA KITASI	Rusya	Değişik renk ve desenlerde kalker, mermer ve Sibiry-Urallar'ın koyu renkli ve kırmızımsı granitleri önemlidir.
	Çin Halk Cumhuriyeti	Değişik renk ve desenlerde kalkerler ile volkanik ve mağmatik orijinli kayalara sahiptir.
	Japonya	Kalker ve bazik-mağmatik kayalar ile gabro ve diyorit oluşumları bulunmaktadır..
	Hong-Kong, Kuzey ve Güney Kore, Kamboçya	Muhtelif kalkerler ve koyu renkli mağmatik orijinli kayalar bulunur.
	Hindistan	Muhtelif renk ve desenlerde kalkerler ve bilhassa granitler ile koyu siyah gabro-diyorit oluşumları çok önemlidir.
	Pakistan	En önemli mermer oluşumları oniks mermerleridir. Bunların dışında muhtelif renk ve desenlerde kalkerler ve mağmatik orijinli sert mermerler de bulunmaktadır.
	İran	Orjinal renk ve desenlerde oniks mermerleri ve sarı-kırmızı renklerde bulunan traverten oluşumları bulunmaktadır.
	Suudi Arabistan ve Yemen	Bej ve grimsi beyaz renklerde mermer olarak kullanılabilir kalker oluşumları bulunmaktadır.
	Suriye	Bej renkli kalkerler ve bazik-mağmatik kayalar mermer olarak kullanılmaktadır.
AVRUPA KITASI	Rusya ve Ukrayna	Silisli taşlar yaygın olarak bulunuyorsa da dekoratif taş ocakçılığı tam olarak gelişmemiştir.
	Yunanistan	Zengin ve kaliteli mermerleri, serpantin ve kalker oluşumları bulunmaktadır. Bilhassa Ege Adalarındaki beyaz ve Kavala yakınlarındaki yeşil mermerleri çok önemlidir.
	Bulgaristan	Mermer, kalker ve granit oluşumları bulunmaktadır
	Çekoslovakya	Kalker, granit, kalkbreş oluşumları bulunmaktadır.
	İtalya	Mermerciliğin çok gelişmiş olduğu bu ülkede hemen hemen her çeşit kayaç mermer olarak değerlendirilmektedir. Bilhassa grimsi beyaz renkte Carrara mermerleri ve Sardunya granitleri en önemlileri olup zengin rezervlere sahiptir
	Almanya	Granit ve renkli kalkerler bulunmaktadır.
	Fransa	Kalker ve granit oluşumları önemli olup, diyorit ve bazı mağmatik orijinli kayalar da mermer olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1 Devam Ediyor

AVRUPA KITASI	İsveç, Norveç, Finlandiya	Muhtelif renk ve desenlerde bulunan granit ve siyenitleri, bilhassa pembemsi renkteki granitleri çok önemlidir. Siyah labrador oluşumları da önemlidir.	
	İsviçre, Avusturya	Bej ve grimsi renklerde kalker ile serpantin oluşumları mermer olarak kullanılmaktadır.	
	İspanya,	Kristalin kalker (mermer) ve granitleri önemli olup, kalker oluşumları da mermer olarak kullanılır ve İspanya'nın açık pembe renkli granitleri dünya pazarlarında önemli bir yere sahiptir.	
	Portekiz	Grimsi beyaz renkli iri kristalli mermerler yataklarına sahiptir.	
	İngiltere	Muhtelif renk ve desenlerdeki kayalar mermer olarak kullanılmakta ise de bilhassa gri renkli granitleri önemli oluşumlardandır. İkinci Dünya Savaşından önce İngiltere de önemli bir granit üreticisiydi.	
	Belçika	Grimsi renkli ve siyahımsı kalker oluşumları çok önemlidir.	
AFRIKA KITASI	Mısır	Granit, siyenit ve gabro-diyoritler ile bazı amfibolitler çok önemli olup, nitelikli bazı kalker oluşumları da mermer olarak kullanılabilir özelliktedir.	
	Nijerya, Sudan, Güney Cumhuriyeti Mozambik	Kongo, Afrika ve	Granit, siyenit ve kalker oluşumları bulunur. Afrika kıtasında Kongo siyah mermeri (gabro-diyorit, amfibolit) ve Güney Afrika mavi graniti çok önemli birer mermer tipini oluşturmaktadır.
AMERİKA KITASI	Amerika Devletleri	Birleşik	Dünyada en çok mermer kullanılan ülkedir. Kalker, breş, konglomera, granit, siyenit, serpantin diyabaz vb. oluşumları bulunmaktadır.
	Kanada		Granit ve serpantin oluşumlarının bulunduğu tahmin edilmektedir. Gri-bej renkli granitleri önemlidir.
	Brezilya		Mavi granit ve oniks mermerleri vardır.
	Arjantin		En önemli mermeri açık yeşil renkli oniks mermeri olup, mavimsi renkli granit ve diğer mermerler de bulunmaktadır.
	Meksika		Kalker, oniks mermeri ve traverten oluşumlarının bulunduğu jeolojik olarak tahmin edilmektedir.

Çizelge 2.1 Devam Ediyor

AVUSTURALYA KİTASI	Avustralya	Avustralya çok geniş bir ülke olduğu için mermer olarak kullanılabilecek kayaç çeşidi de fazladır.
	Yeni Zelanda	Kalker ve granit oluşumları vardır.
	Endonezya	Bazı adalarda bej renkli kalkerler, granit ve diyoritler bulunmaktadır.

Siyenit adı ise Mısır'daki Siena'dan gelmekte olup, Piramitler Eski Mısırlılar tarafından siyenitlerden inşaa edilmişlerdir.

Onix mermer ve traverten oluşumları genç tektonik evrim ve kalsiyum karbonatlı su çıkışları ile ilgili olduğu için genellikle genç fay hatlarının bulunduğu alanlar, karstik arazilerde görülürler. Çizelge 2.1 de Dünyada doğal taş üreten ülkeler ve doğal taş kaynakları görülmektedir.(VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

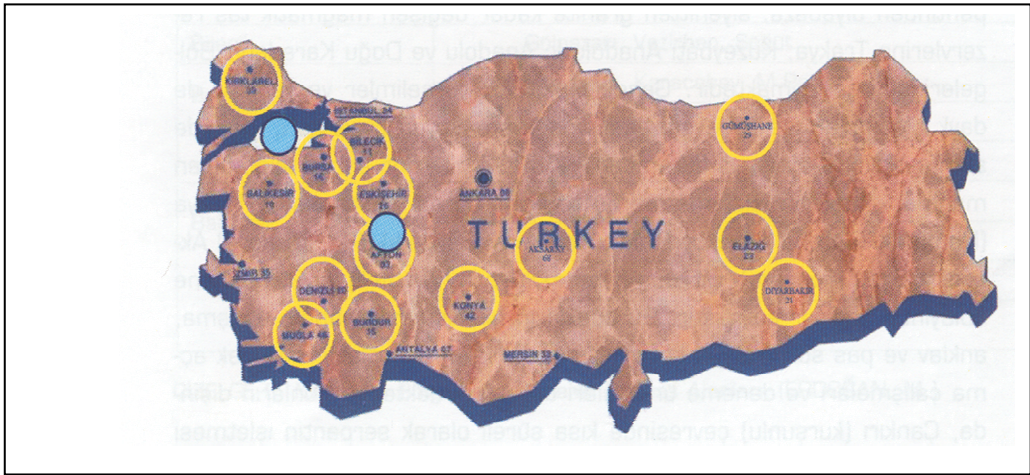
2.3.2 Türkiye Doğal Taş Kaynakları

Ülkemizde, blok verebilen, kesilip parlatılabilen beş farklı özellikte taş oluşumunun varlığı bilinmektedir. Bunlar mermerler, renkli kireçtaşları, çeşitli türdeki mağmatik ve volkanik taşlar, travertenler ve karbonat albatrılarında (Oniks) oluşmaktadır. Sözü edilen bu türler, ülkemizin jeolojik özelliklerinin sonucu geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 2.1).

Karbonat bileşimli, başkalaşım (metamorfizma) aşamasını geçirmiş kristalen dokulu, bilimsel anlamda mermer özelliği taşıyan yatakların Masif ya da Metamorfik Zon niteliği gösteren kuşaklarda kümelendikleri görülmektedir.

Istranca Masifi, Armutlu Masifi, Kazdağ Masifi, Menderes Masifi, Devrekani Masifi, Pulur Masifi, Ergizek-Pötürge-Bitlis Masiflerinin

metamorfik düzeyleri, mercek şeklinde mermer rezervleri içermektedir. Bu metamorfik temelin kırık hatlarına yakın kesimde aşırı parçalanma nedeni ile mermerlerin blok verimlilikleri düşüktür. Kırık zonların dışında kalan rezervlerin ise, mermer mercceklerinin şistlerle (daha çok killi şistler) çevrelenmiş olması, jeolojik evrim boyunca oluşan tektonik deformasyonların olumsuz etkisini azaltmaktadır (Yüzer, 2003).



Şekil. 2.1 Türkiye'nin Önemli Blok Taş Alanları (Yüzer, 2003)

Genelde Karbonifer, Permian, Triyas ya da Jura yaşlı olan bu ekonomik rezervlerin, Trakya, Marmara, Ege, İç Batı Anadolu ve İç Anadolu Bölgesinde kalan kesimleri, yüzyıllardır işletilmektedir. Yurdumuzda halen işletilen mermer ocaklarının yaklaşık %95'i bu alan içinde kümelenmişlerdir. Toros ve Karadeniz kuşağında kalan rezervlerin aşırı kırıklandığı, karstlaştığı ve bu nedenle blok verimliliklerinin düşük olduğu saptanmıştır. Toros ve Karadeniz kuşağında da deformasyondan etkilenmemiş, üretime uygun bazı alanlar bulunmaktadır.

İkinci grup doğal taş varlığımızı, mikro-makro fosil içerikli kireçtaşları oluşturmaktadır. İstanbul, Adapazarı ve Bursa dolayında; mikritik karakterli, siyah renkli, Devoniyen–Karbonifer yaşlı, sınırlı lokal oluşumlar şeklinde Paleozoyik birimleri içinde yer alan kireçtaşları bulunmaktadır.

Ülkemizin renkli doğal taş anlamında asıl kireçtaşı potansiyelini ise, ülke genelinde geniş bir alana yayılan Jura-Alt Kretaşe yaşlı birimler oluşturmaktadır. Çoğu kez açık gri-bej pembe renklerde bulunan bu kireçtaşları, Bursa, Bilecik, Balıkesir, İzmir, Manisa, Adana, Elazığ ve Diyarbakır çevresinde işletilmektedir.

Ülkemizdeki mağmatik kökenli taşları, farklı türler oluşturmaktadır. Serpantinden diyabaza, siyenitten granite kadar değişen mağmatik taş rezervlerine Trakya, Kuzeybatı Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgelerinde rastlanmaktadır. Genelde plütonik yükselimler ve yer yer de dayk oluşumları şeklinde gözlenen mağmatik kayaç rezervleri, genelde aşırı çatlaklı ve ayrışmış durumdadır. 1980’li yıllardan sonra talep bulan mağmatik taşların işletilmesine, bu tarihten sonra başlanmıştır. Trakya (Demirköy Plütonu, Dereköy Plütonu), Ankara (Beydağı), Rize (İkizdere), Aksaray, Ordu (Topçam), Giresun (Harşit), Artvin (Yusufeli) ve Gümüşhane dolaylarında ocaklar açılmıştır. Bunların dışında, Çankırı (Kurşunlu) çevresinde kısa süreli olarak serpantin işletmesi yapılmıştır. Bursa (Gemlik) dolayındaki diyabaz ile Sapanca dolayındaki serpantin türündeki doğal taşlarda üretim faaliyetleri sürdürülmektedir.

Ülkemizin doğal taş varlıkları arasında yer alan diğer bir grup ise traverten ve albatr (oniks) yataklarıdır. Soğuk ve sıcak suların çökelleri şeklinde oluşan Kuvaterner yaşlı bu oluşumlara, Doğu ve Kuzey Anadolu

fayları ile Ege graben sistemi içinde gelişen kırık hatlarının çevresinde rastlanmaktadır.

Bilecik, Bolu, Çankırı, Afyon, Denizli, Burdur, Antalya ve Sivas dolaylarında geniş rezervler halinde rastlanan traverten oluşumları, halen işletilmektedir.

Arazi araştırmalarında, ülkemizin Oniks (ticari tanım) türü oluşumlar yönünden zengin olmadığı görülmektedir. Ülke genelinde çok farklı alanlarda Oniks yataklarının bulunmasına karşın, işletilebilir nitelikteki yataklar çok sınırlıdır. Manisa, Balıkesir, Konya, Elazığ yörelerindeki yatakların işletilmesi sürerken, İzmir, Bilecik, Eskişehir, Kırşehir, neşehir ve Tokat' ta saptanan ve bir dönem işletilen rezervlerin çoğunun tükendiği görülmektedir. Türkiye'nin Önemli Bloктаş Alanları Çizelge 2.2'de verilmiştir (Yüzer, 2003).

Türkiyede mermerlerin bölgesel dağılımı incelendiğinde, ocakların % 90'ının Ege ve Marmara Bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Mevcut ocakların % 27'si Balıkesir, % 24'ü Afyon, % 12'si Bilecik, % 8'i Denizli, % 6'sı Muğla ve % 4'ü de Eskişehir illerinde yer almaktadır. Bu bölgelerdeki üretim, toplam üretimin % 65'ini oluşturmaktadır. (Yılmaz ve Safel, 2004).

Çizelge 2.2 Türkiye'nin Önemli Bloктаş Alanları (Yüzer, 2003)

	İL	YÖRE	LİTOLOJİ
MARMARA BÖLGESİ	Edirne	Lalapaşa	Kireçtaşı
	Kırıkkale	Sergen, Kurudere, Dereköy, Sazara Şükrüpaşa Dereköy	Mermer Granit Metadiyorit
	İstanbul	Sazlı bosna	Kireçtaşı
	Kocaeli	Köseköy, Gebze Hereke	Kireçtaşı Puding
	Adapazarı Sapanca	Değirmencik, Taşkısığı	Kireçtaşı
	Bilecik	Gölpazarı, Vezirhan, Söğüt	Kireçtaşı
	Bursa	Yenişehir, Karacabey, Mustafa Kemal Paşa	Kireçtaşı
		İznik, Orhan Gazi, Karacabey, M.Kemal Paşa Gemlik	Mermer Diyabaz
	Balıkesir	Çayüstü, pamukçu Manyas Marmara Adası Kapıdağ Ayvalık Çayüstü	Kireçtaşı Mermer Granit Oniks
EGE BÖLGESİ	Afyon	İncehisar, Sandıklı, Bolvadin, Emirdağ, Tabaklar	Mermer
	Uşak	Selvioğlu, Karahallı, Sivashı	Mermer
	Kütahya	Altıntaş, Çakırsaz	Mermer
	İzmir	Karaburun Torabalı Bergama	Kireçtaşı Mermer Granit
		Manisa	Akhisar Demirci
	Aydın	Davutlar, Karasu, Bozdoğan	Mermer
	Denizli	Pamukkale, Kocabaş, Sarayköy	Traverten
	Muğla	Milas, Eskihisar, Kavaklıdere	Mermer

Çizelge 2.2 Devam Ediyor.

	İL	YÖRE	LİTOLOJİ
AKDENİZ BÖLGESİ	Antalya	Finike	Kireçtaşı
	Adana	Kozan	Kireçtaşı
	Osmaniye	Osmaniye	Melanj
	Burdur	Yeşilova, Bucak, Karamanlı Bucak	Kireçtaşı Traverten
	Hatay	İskenderun	Kireçtaşı
İÇANADOLU BÖLGESİ	Ankara	Haymana Nallıhan Beypazarı	Kireçtaşı Mermer Granit
	Çankırı	Kurşunlu Sarıalan Eskipazar	Kireçtaşı Serpantin Traverten
	Eskişehir	Süpren, Avandan, Seyit Gazi Sivrihisar	Mermer Kireçtaş
	Aksaray	Ortaköy	Kireçtaşı
	Kayseri	Develi Gemerek	Kireçtaşı Mermer
	Kırşehir	Bozçaldağı Ömerhacılı, Savcılı	Mermer Granit, Granodiyorit
	Niğde	Gümüşler	Mermer
	Nevşehir	Kozaklar	Traverten
	Sivas	Hafik, Yıldızeli	Traverten
	Konya	Akşehir, Halim	Kireçtaşı
KARADENİZ BÖLGESİ	Bolu	Göynük Seben	Traverten Oniks
	Bartın	Eflani	Kireçtaşı
	Kastamonu	Cide	Kireçtaşı
	Ordu	Topçam	Granit
	Giresun	Harşit	Granit
	Gümüşhane	Kösedağ	Granit
	Rize	İkizdere	Granit
Artvin	Şavşat	Granit	
DOĞU VE GÜNEY D. ANADOLU BÖLGESİ.	Elazığ	Harput Alacakaya	Kireçtaşı Melanj Breşi
	Diyarbakır	Çermik, Lice	Kireçtaşı

2.4 Doğal Taş Sektörü

Madencilik sektörü tarım sektörü ile birlikte ekonominin iki temel hammadde üreticisinden birisi durumundadır. Bu niteliği ile sektör, birincisi ekonomiye doğrudan yaptığı katkı, diğeri ise ekonominin diğeri alanlarına özellikle imalat sektörüne yaptığı girdiler nedeniyle iki yönlü öneme sahiptir.

Kum, kil ve taş ocak işletmeciliği ihracat açısından madencilik sektörü içindeki en önemli ürün gruplarından birini oluşturmaktadır. Özellikle bu alt sektör kapsamında yer alan mermer ve ürünleri son dönemde gösterdiği hızlı gelişme ile madencilik sektörü kapsamındaki en önemli ihraç ürünü olma özelliğini kazanmış durumdadır.

Ülkemiz dünya kara yüzölçümünün % 0,5'ine, dünya nüfusunun %1'ine sahiptir. Dünya maden rezervleri içinde Türkiye'nin payı, bu oranlardan seçilen birine göre fazlaysa ülke zengin, az ise fakir demektir. Bu yaklaşımla dünya rezervleri içinde % 0,5'ten fazla paya sahip olduğumuz madenler ülkemiz için önemli madenler olarak nitelenebilir (IX. Kalkınma Planı, 2006).

Türkiye doğal taş rezervine ilişkin ilk değerlendirmeler 1966 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış ve yaklaşık 5×10^9 m³ olarak belirlenmiştir. 1990-1994 yılları arasında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) adına, İTÜ Maden Fakültesi öğretim elemanları tarafından arazide ocak bazında yapılan "Türkiye Mermer Envanteri" çalışması sonucunda ise bu miktar bilimsel anlamdaki mermerler 3.870.000.000 m³, renkli kireçtaşları ve travertenler 2.720.000.000 m³, ekonomik olarak işletilebilecek sert taşlar 101.700.000 m³ olmak üzere toplam 7.600.000.000 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu miktara, projenin yürütüldüğü tarihlerde güvenlik açısından rezerv çalışmaları yapılamayan Doğu ve Güneydoğu

Anadolu'daki rezervlerin önemli bir kısmı dahil edilememiştir. Bu bölgelerimizdeki rezervlerin de katılması ile bu miktarın 10 milyar m³'ün üzerine çıkacağı söylenebilir. 1994-2004 arasındaki 10 yıllık zaman dilimi, Türkiye doğal taş Sektöründe üretim ve ihracat açısından "patlama" olarak nitelendirilebilecek olağanüstü bir atılım aralığını kapsamaktadır. Ayrıca günümüzde kullanılan ve doğal taş şemsiyesi altında toplanan taş türlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. Son yıllarda metamorfik ve tortul kökenli ticari anlamı ile, kayrak taşı türlerinin yanı sıra dere ve deniz aşındırması ile oluşmuş çakıl taşlarının, çeşitli volkanik malzemenin dekoratif amaçla kullanıldığına ve ekonomik olarak değerlendirildiğine tanık olmaktadır (Yüzer, 2003) .

Bu veriler ışığında dünyadaki mermer rezervlerinin %40' ının ülkemizde olduğu tahmin edilmektedir, bu değer doğal taş sektöründe en büyük payı olan Çin, İtalya, Hindistan, Brezilya, A.B.D ve Yunanistan'ın rezervlerinin iki katına yakındır (Yalçın ve Uyanık, 2001).

1999 yılında 250 bin ton düzeyinde mermer ihracat miktarı, 5 yıllık bir dönem içinde 5 kat artışla 1,5 Milyon ton düzeyine ulaşmış durumdadır. Mermer sektörü kapsamında mermer ürünlerinin ihracat değeri de, ihracatı miktarındaki gelişmeye paralel bir seyir izlemiştir. 1999 yılında yalnızca 34.5 Milyon \$ olan mermer ihracat geliri, dönem içinde 4 kat artışla yaklaşık 150 Milyon \$ düzeyine çıkmıştır. İmalat sektörü kapsamında değerlendirilen mermer ürünlerinin ihracat değerindeki gelişme ise çok daha dikkat çekicidir. Bu kapsamda 2004 yılında ihraç edilen 1,1 Milyon ton mermer ürünü karşılığında elde edilen ihracat geliri 485 Milyon \$'dır. İMMİB veriliyle Türkiye Maden ihracatı 2004 yılında 1.158.361.000 \$'dır ve bu gelirin 626.129.000 \$'lık kısmını mermer, onix, granit, traverten, kayrak taşı ve inşaat elverişli doğal taşların ham, yarı işlenmiş ve işlenmiş

şekilde ihracatı sonucunda elde edilmiştir. Doğal taş ihracatı sonucunda elde edilen gelir, madencilik sektörünün toplam ihracat gelirine yakın bir değerdir (IX. Kalkınma Planı, 2006).

Türkiye'den en fazla ihracatın yapıldığı ülkelerin başında ABD gelmektedir. İkinci sırada Çin, üçüncü sırada İspanya yer alırken; İsrail dördüncü, Suudi Arabistan ise beşinci sırada yer almaktadır.

Ürün bazında ise; ham/blok ihracatında Çin, işlenmiş mamül ürün ihracatında ise 14.000.0000 Milyon \$'ı aşan bir rakamla ABD ilk sırada yer almaktadır (Yüzer ve Mutlu 2003).

2.5 Dünyada Doğal Taş Sektörü İçinde Türkiye'nin Payı

Dünya genelinde doğal taşların yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanması doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Özellikle son on yılda görülen artış, kazanım ve işleme teknolojisindeki gelişmelere paralellik göstermektedir. Giderek daha mükemmel hale getirilen işleme teknikleri ile taş, kolay ve ekonomik olarak istenen şekilde işlenmekte ve yeni kullanım alanları bulmaktadır. Doğal taştan malzemelerin mimar ve tasarımcılar tarafından daha fazla tercih edilmesi dünyadaki tüketici sayısının artmasına neden olmuştur. Önemli ölçüde düşen piyasa fiyatları, ekolojik ve estetik görünümlü malzemelere olan ilginin artması da tüketimin artmasına yardımcı olmuştur. Uzmanlar gelecek yıllarda bu gelişmenin süreceği tahmininde bulunmaktadır.

Dünya doğal taş üretimi oldukça hızlı bir artış göstermektedir. 1986 yılında 22 Milyon ton olan üretim, 2003 yılında 75 Milyon tona

yükselmiştir. Türkiye'nin üretimdeki payı ise 6 milyon ton ile % 8'e ulaşmıştır.

Dünya doğal taş sektöründe Çin, İtalya, Hindistan İspanya, Türkiye, Brezilya ve Portekiz dünya doğal taş üretiminin yaklaşık %70'ni gerçekleştirmekte, üretimini arttıran ülkeler sıralamasında Çin, Türkiye ve Brezilya ilk üç sırada yer almaktadır.

Dünya doğal taş ticareti, 2003 yılında yaklaşık 27,5 Milyon ton olup bunun % 55'i işlenmiş ürün olarak gerçekleşmiştir. Bu, 6-7 Milyar \$'lık bir değere karşılık gelmektedir. Türkiye'de ise 1,1 Milyon tonluk doğal taş ticaretinde işlenmiş ürün oranı % 75 olup, Ülkemiz dünya doğal taş ticaretinden % 4 oranında pay almaktadır (Yılmaz ve Safel, 2004).

Doğal taşların ihracat verileri incelendiğinde, Dünya doğal taş ihracatında miktar olarak başı çeken ilk beş ülke Çin, İtalya, Hindistan, İspanya ve Türkiye olup, değer olarak en fazla payı alan ülkeler İtalya ve İspanya'dır. Dünya doğal taş ihracatında (miktar bazında) en yüksek pay 5.700.000 ton ile Çin'e aittir. Çini sırasıyla İtalya (3.191.000 ton), Hindistan (2.431.000 ton), İspanya (1.843.000 ton) ve 1.469.000 ton ile 5.sırada Türkiye izlemektedir (Tümer, 2004).

Özetle, son yıllarda doğal taşların, özellikle inşaat ve dekorasyon sektörlerinde kullanım alanının genişlemesi ile doğal taş ticaretimiz büyük bir ivme kazanmıştır. Bu doğrultuda, doğal taş kaynaklarımızın verimli olarak kullanılması ekonomik gücümüzü arttıracak bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya doğal taş ticaretinde hak ettiğimiz yere gelmenin en önemli koşulu ise kalitenin yükseltilmesi ve belgelendirilmesidir. Kalitenin belgelendirilmesi, Türkiye doğal taşlarının her birine ait kimlik kartlarının çıkarılması ile gerçekleşecektir. Bu kimlik kartlarının, doğal taş türlerinin petrokimyasal, minerolojik, petrografik,

fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin yanı sıra, doğal radyoaktivite içeriğini de kapsamı, radyolojik açıdan oldukça önemlidir.

Türkiye doğal taşları hakkında, jeolojik (Kun vd., 1999; Eren, 1999; İşintek, 1999; Özer, 1999; Kun ve Bacakoğlu, 1999; Sözbilir, 1999; Kun ve Türkmen, 2001; Demirkıran ve Çalapkulu, 2001; Türkmen ve Kun, 2001), petrografik (Uz vd., 2001a; Uz vd., 2001b; Özpınar vd., 2001), fiziksel (Gündüz vd., 2001), fiziko-mekanik (Yüzer, 1971; Erguvanlı vd., 1974; Öztank ve Türkmen, 2001; Özpınar vd., 2001; Koca vd., 2001; Yavuz vd., 2001; Erdoğan ve Yaşar, 2001) ve arkeometrik (İleri, 1988; İleri vd., 2001; Lazzarini, 2002; De Vecchi, et al., 2000; Çolak and Lazzarini, 2000) çalışmalar yapılmış olmakla birlikte radyoaktivitesini içeren detaylı araştırmalar mevcut değildir. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada, bina yapımı ve dekorasyonunda yaygın kullanımına paralel olarak çeşitliliği ve kalitesi ile ihracatımızda önemli bir yer tutan Türkiye doğal taşlarının radyolojik özelliklerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2.6 Doğal Taşlarda Radyoaktivite

Uranyum ve toryum, magmatik ve metamorfik kayalarda apatit, sfen ve zirkon gibi minerallerde bulunur (Çizelge 2.3). Bunların içinde en yaygın bulunan mineral zirkondur. Magmatik ve metamorfik kayalardaki zirkonların büyük çoğunluğu bu kayaların oluşumu sırasında kristalleşmiştir. Buna karşın sedimanter kayalar içerisindeki zirkonların tamamı, önceki bir kaynak kayasından türeme detritik (taşınmış kırıntı) kökenlidir. Kayaç içerisindeki % zirkon değerine bağlı olarak, bu minerallerden kaynaklanan uranyum konsantrasyonu, granit gibi asidik magmatik kayalarda maksimum değere ulaşmakta ve bu değer bazik ve ultrabazik kayalara doğru minimum değere inmektedir.

Çizelge 2.3 Taşıyıcı Minerallerin Uranyum İçerikleri

Mineral	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Rutil	<100
Apatit	10-50
Sfen	100-1400 (genelde<500)
Epidot	<200
Allanit	Allanite 30-3000
Zirkon	100-3000 (alkali kayalarda 6000 a kadar çıkabilir
Ksenotim	300-4000
Monazit	500-5000
Toriyanit	%1 (uranathorite % 25 e kadar çıkabilir)
Çoklu Nb-Ta- Ti-YREE oksitler	Genelde< % 10 (%30 kadar çıkabilir)
Uraninit	80%

Silisyumca zengin magmatik kayalarda, SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , FeO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O ve CaO dan yapıli majör oksit içerikleri % 99' dan daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bunların yanı sıra, söz konusu kayalar ppm düzeyinde Mo, Zr, Sn, Th, Pb, Zn, W, Nb, V, F ve nadir toprak elementleri içermektedir. Buna karşın, Ni, Co, Cr, Ag, Au, Or ve Ft grubu metaller silisyumca fakir olan mafik ve ultramafik magmatik kayalarda zenginleşmekte olup bu kayalarla ilişkili maden yataklarının gelişimine neden olurlar. Bu elementlere aynı zamanda uranyum da eşlik etmektedir. Bu ilişki, uranyum yataklarının köken kayacının mafik magmatikler olabileceğini göstermektedir. Bu konu ile ilgili diğer bir gözlem de mafik kayaların asit karakterdeki kütlelerden genellikle çok daha az uranyum

içermesidir. Uranyumun kaynağının mafik kayaçlar olduğunu savunan araştırmacılar, bu özelliğin ilksel mafik magma içinde uranyumun bulunmadığı anlamına gelmeyeceğini, aksine bunun nedeninin, mafik kayaçların mineralojik bileşimine giren minerallerin uranyumu tutup muhafaza edememesi olduğunu ileri sürmektedirler. Bu görüşe göre uranyum, mafik bileşimdeki magmatik kayacı oluşturan ana minerallerinin kafes yapısı içine kabul edilmediği için dışarı atılmakta, kayaç böylece uranyum yönünden fakirleşmektedir. Kayacı oluşturan minerallerin kafes yapılarına diadoh olarak yerleşemeyen uranyum, ana kayacın içerisindeki kırıklarda veya çevre kaya içerisinde kristalleşerek uranyum yatağını oluşturmaktadır. Bir görüşe göre magmanın kristalleşmesi süreci sırasında, başlangıçta, uranyum ve halojenler gaz fazında ortamdaki uzaklaştırılmakta, toryum ise magmanın sıvı fazında tutulmaktadır. Bu nedenle pek çok uranyum yatağında, uranyum-flor beraberliği gözlenmektedir. Toryumca zengin hidrotermal damarların gangi ise karbonatlıdır (Rosholt et al., 1971).

Bazik ve ultrabazik kayalarda zirkon mineral içeriği minimumdur. Olivin gibi ultrabazik magmadan erken evrede kristalleşen mineraller, hemen hemen hiç toryum veya uranyum içermezler. Bazik kayaçların piroksen ve plajiyoklas gibi ana minerallerinin ve apatitin kristalizasyonu esnasında az miktarda uranyum ve toryum bu minerallerin kafeslerine girebilmektedir. Plajiyoklas serilerindeki kalsiyum kafes yapısının koordinasyon değerleri, uranyum ve toryumun izomorfik olarak kalsiyumun yerini almasını engellemektedir. Uranyum ve toryumun bazik magmadan kristalize olamamaları, bunların silisli magmalarda zenginleşmelerine sebep olur. Bundan dolayı daha çok silisli olan kayaçlar, oldukça çok miktarda uranyum ve toryum içerirler. (Fairbridge, R. W., 1972)

Diğer yüksek radyoaktiviteye sahip mineraller ise monozit, uraninit, toriyanit, piroklordur (Çizelge 2.3). Bu mineraller doğada yaygın olarak bulunmasına rağmen kayalardaki içerikleri oldukça düşüktür.

Kırıntılı, magmatik ve metamorfik kayalardaki Th'un ana kaynağı monazit mineralidir. Bu mineral asidik magmatik kayalarda maksimum, ultrabazik kayalarda ise minimum değerlerde bulunmaktadır. Tortul kayalarda ise monazit minerali, bu kayaların türedikleri kaynak kayacı ile doğrudan bağlantılıdır. Kireçtaşı ve onların metamorfik eşlenikleri mermerlerde Th minerali yine minimum değerlerde bulunmaktadır.

Çözünürlüğü uranyum ve potasyuma göre düşük olan toryum göreceli olarak daha stabildir ve rüzgar, erozyon gibi mekanik prosesler ile kayalardan ayrılmaz. Uranyum ise yüzeye yakın yerlerde hareketli olmaya eğilimlidir.

Çizelge 2.4 Kaya Türlerinin Doğal Radyonüklit İçerikleri

Kaya Tipi	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
Kabuksal değer	2.77	10	1.75
Ultramafik	0.001	0.003	0.5
Bazalt	0.6	2.2	0.8
Granodiorit	3	10	3.3
Andezit	2	-	-
Granit	4.8	17	3.3
Şeyl	4	12	2.7
Kumtaşı	2.2	-	1.1
Kireçtaşı	2	2	0.3

Metamorfik kayalardaki potasyumun ana kaynağı potasyum feldspat (Ortoklas-Mikroklin) ve beyaz mika (muskovit ve fengit) mineralleridir. Denizel kökenli kireçtaşlarından türeyen mermerlerde bu değer % 0-0,2 arasında değişmektedir. Asidik kökenli kaynak kayasından türeyen, dokusal olgunluğu düşük kırıntılılardaki detritik kökenli feldspatlar, bu kayalardaki potasyumun kaynağıdır. Çizelge 2.4 de belli başlı kaya türlerindeki ortalama ^{238}U ^{232}Th ve ^{40}K içerikleri verilmiştir.(Taylor., 1964, ; Weaver and Tarney 1984, and Koljonen., 1992.)

Jeolojik bir materyaldeki Th/U ve Th/K oranları bu materyalin jeokimyası hakkında bilgi vermektedir. Magmatik kayalardaki ortalama Th/U oranı 3,5 civarındadır. Kayalarda ve taşıyıcı minerallerdeki Th/U oranları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Th/U oranının < 2 olması uranyum zenginleşmesini, $\text{Th/U} \geq 7$ olması ise uranyumun ortamdaki kaçtığı göstermektedir. Bu oran, ortalama toryum ve uranyum içerikleri oldukça farklı kayalarda bulunmuştur ve feldspat, kuvars gibi kayaç oluşturan ana minerallerde bulunan çok düşük konsantrasyonların tipik bir oranıdır. Tali minerallerde bu oran çok değişkendir. 4 değerli uranyum içeren mineraller suda erimezler, ancak nemli iklimlerde atmosferik etkenlerle kimyasal olarak, 6 değerli uranyum içeren ikincil minerallere dönüşürler. Bu dönüşüm 4 değerli uranyumun 6 değerli uranyuma oksidasyonu sonucu olur. Yeraltı su tablasının üstündeki yüzey ve yüzeye yakın kısımlarda, oksidasyon şartlarında, uranyum 6 değerlidir. Oksijenin en önemli etken olduğu sistemlerde 6 değerli uranyum 2 oksijen atomuyla beraber bulunur ve uranil iyonu (UO_2^{++}) halindedir. Uranil iyonu, 4 değerli uranyumdan (uranus iyonu) bütünüyle değişik bir kimyasal türdür.

Çizelge 2.5 Kayalarda ve Taşıyıcı Minerallerdeki Th/U Oranları

KAYA TİPİ	MAGMATİK	Granit Granadiorit Riyolit	3.5-6.3
		Gabro	4.3
		Bazalt	1-5
		Ultramafik	Değişken
	METAMORFİK	Gnays	1-30
		Şist	≥ 3
		Fillit	2.9
		Sleyt	2.8
	SEDİMANTER	Kireçtaşı	<1
		Dolomit	-
		Kil	0.4-10
		Siyah Şeyl	Düşük
MİNERALLER	Peşblend	0.001/0.00002	
	Uraninit	0.1/0.016	
	Brannerit	0.033	
	Pikroklor	0.33	
	Betafit	0.05	
	Zirkon	2/0.1	
	Toriyanit	10/5	
	Monozit	10	
	Sfen	10	
Allanit	5		

Jeokimyasal bakımdan en önemli ayrıcalık da, uranil bileşikleri halindeki ikincil minerallerin, 4 değerli uranyum içeren birincil minerallerden daha çok eriyebilirliğe sahip olmasıdır. Bundan dolayı da 6 değerli uranyum bu

minerallerden, uranil iyonları halinde nötr yakın PH'lı sularda kolayca solüsyona geçer ve yeraltı sularıyla uzun mesafelere taşınır. Redükleyici ortamlara girildiğinde ise 6 değerli uranyum, 4 değerli uranyuma reduklelenerek uraninit veya peşblend halinde tekrar çökeler ve çeşitli tip sedimanter uranyum yataklarını meydana getirir. U^{+4} iyonunu eriyik halde tutabilmek için ise muhtemelen 4 ten aşağı bir PH gereklidir. Granitik kayalar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleri dolayısıyla yeraltı suyuna geniş ölçüde uranyum sağlarlar.

Yer kabuğunda magmatik kayalarda saçılmış halde bulunan toryum, alterasyon ve erozyon esnasında uranyumun aksine erimez ve yüzey veya yeraltı suları ile taşınmaz. Her ne kadar toryum, pH değeri 3'den aşağı olan solüsyonlarda hidrolize olursa da, $Th+4$ iyonunun yüksek iyonik potansiyeli dolayısıyla, solüsyona geçmiş haldeki toryum hızlı bir şekilde absorbe edilir veya hidrolizatlar halinde çökeler. Yeraltı suyunda çok az miktarda toryum, ancak koloidal ve organik anyon kompleksleri halinde taşınır. Toryumun magmatik kayalardan çeşitli ortamlara taşınması, ancak fiziksel taşınma yoluyla gerçekleşebilir. Magmatik kayalardan alterasyon sonucu açığa çıkan ve serbest kalan dayanıklı toryum minerallerinin (özellikle monazit) kırıntı (detritik) olarak taşınıp, uygun ortamlarda biriktirilmesi sonucu çeşitli plaser (kırıntılı) yataklar meydana gelir (Fairbridge., 1972).

Th/ K oranı mika ve feldspatların yapısı hakkında bilgi verir. Th/ K artışı kil oranının göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ortamda bulunan kil minerallerinin ve organik maddelerin uranyum cevherleşmesinde bir katalizör görevi yaptıkları düşünülmektedir.

2.7 Doğal Taşların Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi

Dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeye paralel olarak insanoğlunun hayat ve yaşam anlayışı da değişmiş ve değişmeye devam etmektedir. Bu gelişmeler insanoğlunu çevre bilinciyle birlikte, daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusuna ve özlemine yönlendirmektedir.

Gelişmiş ülkelerin büyük kentlerinde insanları doğaya yaklaştırmak eğilimi, doğal yapı taşlarının bina yapımı ve dekorasyonunda kullanımını hızla yaygınlaştırmıştır. Ancak, bir önceki bölümde sözü edildiği üzere, doğada bulunan bir çok materyal gibi doğal taşlarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri ile birlikte ^{40}K içermektedir.

Genelde, U, Th ve K radyoelementlerinin doğal taşlardaki aktivite konsantrasyonları, metamorfik ve sedimenter (fosfatlı kayaçlar hariç) kökenli kayaçlarda, magmatik kayaçlara oranla oldukça düşüktür. Uranyum ve toryumun bazik magmadan kristalize olamamaları, bu radyonüklitlerin granit gibi asitik magmatik kayaçlarda zenginleşmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda, granit gibi doğal yapı taşlarında gözlenen ortalama U konsantrasyonu 5 ppm ve Th konsantrasyonu 15 ppm olarak rapor edilmektedir (Tzortsiz, 2003).

Dünyada bina yapım ve dekorasyonu amacıyla kullanılan farklı doğal taşlarda gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, Çizelge 2.6' da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Farklı Doğal Taşlarda Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Malzeme	Ülke	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonu (Bq/ kg)			Kaynak
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Mermer	İtalya	4±12	0.9±3.6	16±20	Rizzo et al., 2001
Mermer	Pakistan	7.85±7.02	2.74±1.00	26±43	Aslam et al.,2002
Mermer	Suriye	18 (ND-146)	2 (ND-7)	4 (ND-4)	Othman and Mahrouka, 1994
Mermer	Ürdün	20.1±1.9	11.4±1.9	85.0±2.1	Khatibet et al., 1997
Mermer	Yunanistan	>1	>1	>25	Petropoulos et al., 2002
Kireçtaşı	Hong-Kong	3	5	30	Tso et al.,1994
Kireçtaşı	İtalya	9±13	3±3	45±76	Rizzo et al., 2001
Kireçtaşı	İtalya	65±5	6.1±0.5	46±4	Righi and Bruzzi, 2006
Kireçtaşı	Suriye	29 (10-49)	2 (0-3)	22 (5-35)	Othman and Mahrouka, 1994
Granit	Belçika		77±2	1129±44	Tzortzis et al.,2003
Granit	Brezilya	24±1	37±1	1173±30	Pavlidou et al.,2006
Granit	Brezilya		17-906	1021-1606	Tzortzis et al.,2003

Çizelge 2.6 devam ediyor.

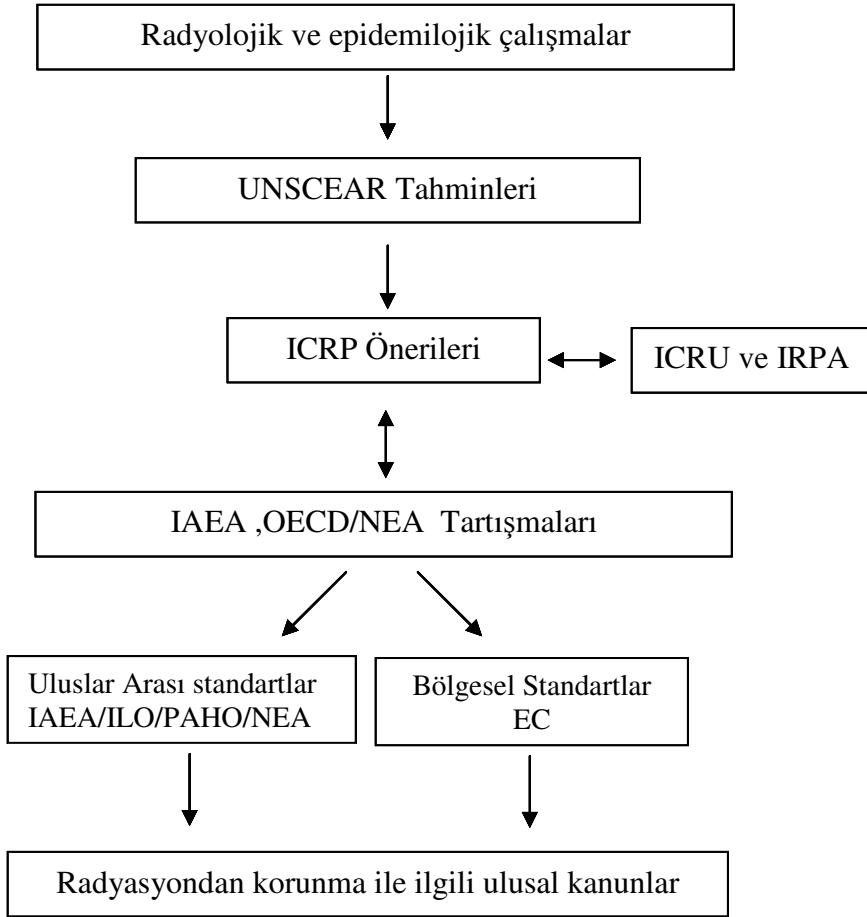
Malzeme	Ülke	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonu (Bq/ kg)			Kaynak
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Granit	Finlandiya	60-170	57-354	1350-1592	Pavlidou et al.,2006
Granit	Hindistan	11±1	84±2	926±3	Pavlidou et al.,2006
Granit	Hollanda		490±13	1540±60	Tzortzis et al.,2003
Granit	Hong-Kong	180±31	122±5	1248±15	Tso et al.,1994
Granit	İspanya	11-163	43-109	1190-1420	Pavlidou et al.,2006
Granit	İtalya		21-172	1047-1581	Tzortzis et al.,2003
Bazalt	İtalya	41±4	26±2	340±30	Righi and Bruzzi, 2006
Granit	Suudi Arabistan	0-297 83±73(16)			Jarallah et al., 2005
Granit	Yugoslavya		>300		Pavlovic et al., 1996
Granit	Yunanistan	64	81	1104	Pavlidou et al, 2006
Granit	Yunanistan	2-195	1-450	50-3800	Stoulos et al., 2003
Granit	Dünya Ort.	42	73	1055	Chen and Lien.,1996

Çizelge 2.6 incelendiğinde; başlangıçtaki öngörüye uygun olarak, mermer ve kireç taşlarında doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu, granitlerde ise ^{226}Ra 'nın 195Bq kg^{-1} , ^{232}Th 'nin 490Bq kg^{-1} ve ^{40}K 'ın 3800Bq kg^{-1} gibi yüksek değerler aldığı gözlenmektedir.

Bina materyallerindeki radyonüklit içeriği nedeniyle, bina içinde maruz kalınan radyasyon seviyesi için OECD-NEA başta olmak üzere WHO, ICRP, EPA gibi uluslararası kuruluşların insan sağlığını dikkate alarak tavsiye ettiği limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler mümkün olabilecek en az radyasyon dozuna maruz kalmayı ifade eden ALARA (As low as reasonably achievable) prensibi dikkate alınarak verilmektedir. Bu doğrultuda, bina yapım ve dekorasyonu amacıyla kullanılan granit, mermer, traverten, kireç taşı ve bunun gibi doğal yapı taşlarının radyoaktivite içeriğinin ölçülmesi ve radyolojik risk açısından değerlendirilmesi zorunlu olmaktadır

2.7.1 Radyasyon Korunma ve Güvenliği Alanında Yetkili Uluslararası Organizasyonlar

Günümüzde, radyasyona maruz kalmada, insan ve çevrenin korunması üzerine dünya üzerinde tüm bölgeleri kapsayan ortak bir yargıya varılmamıştır. Bu bağlamda, radyasyondan korunma standartlarının oluşturulmasında, izlenen yol Şekil 2.2' de verilmiştir (ICRP, 1991). Ayrıca, radyasyon korunma ve güvenliği alanında yetkili uluslararası organizasyonların kısa tanımları aşağıda yapılmıştır.



Şekil 2.2 Radyasyondan korunma standartlarının oluşturulmasında izlenen yolun şematik gösterimi(ICRP, 1991).

UNSCEAR (*The United Nation Scientific Committeon the Effects of Atomic Radiation - Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi*): BM teşkilatının bir komitesi olarak 1955 yılında kurulmuştur. Radyasyonun sağlık etkileri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapan uluslararası resmi bir kuruluş olup, moleküler biyoloji, radyoepidemioloji ve radyobiyojoloji üzerindeki araştırmaların uluslararası görüş birliği ile değerlendirilmesi şeklinde çalışır. UNSCEAR, dünyanın çeşitli bölgelerinden gelen veriler ışığında günümüzdeki ve gelecekteki iyonize radyasyon kaynakları, oluşturdukları radyasyon dozları ve etkileri hakkında hesap ve tahminlerini raporlar halinde sunar. UNSCEAR raporları WHO, ICRP, ICRU, IAEA gibi sağlık ve radyasyon korunma ve güvenliği alanında yetkili uluslar arası organizasyonlar tarafından sağlık, radyasyon güvenliği ve dünya barışını koruma amacıyla kullanılır yayınlanan ilgili mevzuat ve ICRP tavsiyelerini dikkatle takip etmeleri gereklidir.

ICRP (*International Committee on Radiological Protection*): 1928 yılında II. Uluslararası Radyoloji Kongresinin ardından kurulmuştur. Radyasyon korunması ile ilgili temel kriterleri oluşturan bu kuruluş, resmi bir kuruluş olmayıp FAO, WHO, ILO, ICRU, OECD/NEA gibi bir çok uluslararası ve büyük ulusal kuruluşla işbirliği içinde bilimsel çalışmalarını sürdürmektedir. Bugün tüm dünyada uygulanan radyasyon korunması kriterleri, ICRP tavsiyelerine dayanmaktadır.

IAEA (*International Atomic Energy Agency*): Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren bağımsız, uluslar arası bilim ve teknoloji temelli bir organizasyon olup 1957 yılında kurulmuştur. Nükleer Bilim ve Teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanılması ve planlanmasında üye ülkelere destek sağlamaktadır. Nükleer Güvenlik Standartlarını hazırlamaktadır. Bünyesindeki denetim mekanizması ile ülkelerin taahhütlerini yerine getirmesini kontrol etmektedir.

EURATOM (*European Atomic Energy Community*): 1958 Roma Antlaşması ile Avrupa Topluluğu çerçevesinde nükleer güvenlik ve radyasyondan korunma ile ilgili yasal zemini oluşturmak üzere kurulmuştur. Bu doğrultuda yayınlanan kararlar, tüzükler , direktifler ve tavsiyeler üye ülkeler tarafından uygulanır.

TAEK (*Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*): Ülkemizde Radyo korunum ile ilgili düzenlemeleri yapmak üzere, TAEK'e bağlı Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi (RSGD) bulunmaktadır(www.taek.gov.tr).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP), Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve benzeri çeşitli bağımsız kuruluşlar, iyonlaştırıcı radyasyondan korunma ile ilgili olarak elli yıldan fazla bir süreden beri tavsiye niteliğinde yayınlar yapmaktadırlar. Bu tavsiyelerin yaptırım gücü olmamasına rağmen, ülkeler bu tavsiyeleri kendi koşullarına göre uyarlar ve yürürlüğe koyarlar. ICRP' nin 60 numaralı raporunda ve IAEA'nın Temel Güvenlik Standartları ismi altında yayımladığı BSS-115 No'lu yayınında radyasyon korunması ile ilgili önerilen üç temel ilke aşağıda verilmiştir.

- **Uygulamaların Gerekliliği (Justifikasyon):** Işınlanmanın zararlı sonuçları göz önünde bulundurularak, net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon ışınlanmasına izin verilmez.
- **Radyasyon Korunmasının Optimizasyonu:** Tedavi amaçlı tıbbi ışınlanmalar hariç, radyasyon ışınlanması gerektiren uygulamalarda, kişisel dozların büyüklüğü, ışınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm ışınlanmalar için ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanır. Bu kavram ALARA ilkesi olarak bilinmektedir.
- **Doz Sınırlaması:** Radyasyondan korunmanın üçüncü ilkesi ise, kişilerin ve gelecek nesillerin kabul edilemeyecek bir risk altına girmesini engelleyecek olan yaptırımdır.

Radyasyona maruz kalma sonucu oluşabilecek radyolojik risk, radyasyonun tipi ve enerjisi, radyasyon kaynağına içsel veya dışsal maruz kalma, radyasyonun insan vücudu içinde dağılımı ve radyasyona maruz

kalma süresi değerlendirilerek tahmin edilir. Radyolojik risk tahmini için yaygın şekilde kullanılan doz birimlerinin kısa tanımları aşağıda verilmiştir.

Absorbe Edilen Doz: Radyasyonla ışınlanan materyalin birim kütesine aktarılan enerji olarak tanımlanır ve SI sistemindeki birimi Gray (1joule/kg =1G)' dir.

Doz eşdeğeri: Belirli bir radyasyonun biyolojik sistem üzerindeki etkisi, absorbe edilen doz (G) ve kalite faktörüne (Q) bağlı olarak SI sisteminde Sievert (Sv) ile verilir. ICPR tarafından verilen kalite faktörü Q, her bir radyasyonun iyonizasyon oluşturma kapasitesidir ve lineer enerji transferi (LET) ile ifade edilir. X , γ ve β ışınları için Q=1, α ışınları için Q= 20 verilmektedir (UNSCEAR, 1988).

Etkin Doz Eşdeğeri: Radyasyona duyarlı organ ve dokular için ICRP tarafından belirlenen risk tahminlerine dayanarak (vücudun bütünü için) organ ağırlık faktörlerini de içeren etkin doz eşdeğeri birimi, SI birim sisteminde Sv olarak verilir. Etkin doz eşdeğer kavramı, radyasyon tipi, enerjisi ve biyolojik hasar arasındaki ilişkiyi tanımlayan dozimetrik niceliktir.

Kollektif Etkin Doz Eşdeğeri: Radyasyona maruz kalan gruplar için tanımlanan ortalama etkin doz eşdeğeri ve SI birim sisteminde birimi insan (Sv)' dir.

2.7.2 Bina İçi Radyoaktivite ve Radyolojik Risk

ICRP60 (1990) raporunda insanların doğal radyasyona maruz kalma sonucu etkin doz eşdeğerinin yılda 1mSv değerini geçmemesi istenmektedir. UNSCEAR 2000 verilerine göre normal alanlarda (background seviyesi) yaşayan insanların maruz kaldığı ortalama etkin doz eşdeğeri (%65' lik bir oran için $1-3\text{mSv}^{-1}$ arası, %25 için $<1\text{ mSv}^{-1}$ ve %10 için $\geq 3\text{ mSv}^{-1}$) 2.4 mSv^{-1} olarak tahmin edilmektedir.

Doğal radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır; bunlardan ilki solunan havadaki radon gazı ve vücuda alınan radyonüklidlerin neden olduğu içsel maruz kalma, diğeri ise kozmik ışınlar, kozmojenik radyonüklidler ve karasal radyasyonun (yer kabuğunda, bina materyalinde, havada) neden olduğu dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR, 1982; 1988). Çizelge 2.7'de doğal radyasyona içsel ve dışsal maruz kalma ile kişi başına tahmin edilen yıllık ortalama etkin doz eşdeğerleri verilmiştir.

Dünya nüfusu tarafından alınan ortalama doza en büyük katkı karasal ve kozmik orijinli radyasyondan gelmektedir. Doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin dozun (2.4 mSv) büyük bir kısmını primordial radyonüklitlerden (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) alınan doz oluşturur. Karasal radyasyona dışsal maruz kalma sonucu alınan etkin doz eşdeğeri $410\text{ }\mu\text{Sv}$ 'dir (UNSCEAR 1988).

İçsel maruz kalmanın temel kaynağı ise radon gazının solunmasıdır (UNSCEAR 2000). Çizelge 2.7'de görüldüğü üzere, radon gazının solunması ile maruz kalınan içsel doz değeri 1.1mSv ' dir.

Çizelge 2.7 Doğal Radyasyona Maruz Kalma Etkin Doz Eşdeğeri (UNSCEAR 1988)

Radyasyon kaynakları	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (μSv)		
	Dışsal Maruz Kalma	İçsel Maruz Kalma	Toplam
Kozmik ışınlar			
İyonlaştırıcı bileşenler	300(280)		300(280)
Yüksüz bileşenler	55(21)		55(21)
Kozmojenik radyonüklitler		15(15)	15(15)
Primordial radyonüklitler			
^{40}K	150(120)	180(180)	330(300)
^{87}Rb		6(6)	6(6)
^{238}U serisi			
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$		5(10)	
^{230}Th		7(7)	
^{226}Ra	100(90)	7(7)	1300(1040)
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$		1100(800)	
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$		120(130)	
^{232}Th serisi			
^{232}Th		3(2)	
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$	160(140)	13(13)	340(330)
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$		160(170)	
TOPLAM	800(650)*	1600(1340)*	2400(2000)*

* Parantez içindeki değerler UNSCEAR-1982'nin verileridir.

UNSCEAR 1988 Raporunda havadaki karasal kaynaklardan alınan doz bina dışında 55nGyh^{-1} ve bina içinde 70 nGyh^{-1} iken UNSCEAR 1993'de bu değerler sırasıyla 57nGyh^{-1} ve 80 nGyh^{-1} verilmiştir. UNSCEAR Raporlarına (1982-2000) göre, bina içi alınan dozun / bina dışı alınan doza oranı, 0.8-2.0 arasında değişmektedir ve ortalama olarak bu oran 1.3-1.4'dür.

Binalar dışarıdan gelen kozmik ve karasal orijinli radyasyona karşı koruyucu etkiye sahip olmalarına rağmen, bina malzemelerindeki radyonüklid içeriğine bağlı olarak bina içi radyoaktivite bina dışındaki değere göre fazla olabilmektedir. İnsanlar, zamanlarının büyük bir kısmını (%80) kapalı ortamlarda geçirdiğinden, bina içindeki radyasyon seviyesinin bilinmesi, bina içinde maruz kalınan içsel ve dışsal radyasyon dozunun hesaplanması için gereklidir (Zikovsky and Kennedy 1992).

Bina içi radyasyona maruz kalmanın temel kaynağı, bina içi havada bulunan ^{222}Rn (radon) ve ^{220}Rn (toron) ile bunların kısa yarı ömürlü ürünleridir. Alfa bozunumu yapan bu radyonüklitlerin neden olduğu içsel maruz kalmaya ek olarak, bina materyalinde bulunan radyonüklitlerden yayımlanan γ ışınları da bina içi dışsal radyasyona maruz kalmayı hızlı şekilde arttırmaktadır. Sözü edilen iki radon izotopundan ^{228}Ra ' in bozunum ürünü olan ^{220}Rn , 55.35 saniyelik kısa ömrü nedeniyle daha az dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte, bina içi etkin doz eşdeğerinin %10-20 sine ^{220}Rn ve ürünlerinin neden olduğu tahmin edilmektedir (Hutter, 1995). Toron (^{220}Rn) ve ürünlerin solunması nedeniyle akciğerlerin maruz kaldığı radyasyon etkin doz eşdeğeri 0.2mSvy^{-1} dir (UNSCEAR 1993). Bu değer ^{226}Ra radyonüklitinin bozunum ürünü olan ^{222}Rn ve ürünleri için 1.1 mSvy^{-1} ve doğal radyonüklitlerden gelen etkin doz eşdeğerinin yaklaşık yarısıdır (Quindos et al.,2001; Khatibeh et al.,1997).

Radon 20.yy başlarında tanımlanmış olmasına rağmen radon solunumu ve akciğer kanseri arasındaki ilişki ancak 1960'ların sonlarına doğru kurulmuştur. Günümüzde radon ve ürünlerinin solunması dünya çapında bir problem ve belirgin bir kanser riski olarak tanımlanmaktadır (Albering et al.,1996). Bu doğrultuda, gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunu sınırlayan değerler belirlenmiş ve dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır (UNSCEAR,1988).

UNSCEAR (1988) Raporunda, ^{222}Rn ve bozunum ürünleri denge konsantrasyonu dünya ortalaması, bina dışında 8 Bq/m^{-3} ve bina içinde 16 Bq/m^{-3} olarak verilmektedir. Indoor Radon Abatement Act (1988)' in belirlediği amaç, bina içi radon konsantrasyonunun dışarıdaki kadar veya daha az olmasıdır (Price et al.,1994). Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen konsantrasyon düzeyi $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ dür. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise TAEK tarafından 400 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir (www.taek.gov.tr). Çizelge 2.8'de çeşitli ülke ve kuruluşların var olan ve gelecekteki binalar için öngördükleri bina içi radon konsantrasyonları verilmiştir (Bruzzi et al., 1992).

Bina içi radon miktarının tahmin edilmesinde, bina materyallerindeki radyum içeriğinin yanında kullanılan malzemenin radon emanasyon hızının da bilinmesi gerekmektedir (Khan.,1993, Tso et al.,1994, El-Dine et al.,2001, Petropoulos et al ,2002).

Çizelge 2.8 Bina İçi Radon Konsantrasyonu İçin Çeşitli Ülke ve Kuruluşların Sınır Değerleri.

Ülke/Kuruluş	²²² Rn(Bqm ⁻³)	
	Varolan binalar	Gelecekteki Binalar
Belçika	250	125
Danimarka	800	200
Almanya	250	250
Avustralya	200	-
Kanada	800	-
İrlanda	200	200
U.K	400	100
U.K(NRPB)	200	200
USA(EPA)	150	150
U.S.A(NCRP)	400	-
Norveç	200	<60-70
İsviçre	800	140
Çin	200	100
CEC	400	200
ICRP	200	100
NORDİC	400	100
TAEK	400	-
WHO	100	100

UNSCEAR 1993 Raporunda, tipik bina materyallerindeki ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 50 Bqkg^{-1} , 50 Bqkg^{-1} ve 500 Bqkg^{-1} olarak verilmektedir.

Farklı bina malzemelerindeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu nedenle Ra, K, Th içeren bina malzemelerinin spesifik aktivitelerini karşılaştırmak için radyum eşdeğer aktivitesi **Ra(eq)** adı verilen uluslararası ortak bir indeks kullanılmaktadır ve aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (UNSCEAR 1988).

$$\mathbf{Ra(eq) = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K}$$

Radyum eşdeğer aktivitesi, 370 Bqkg^{-1} ^{226}Ra , 259 Bqkg^{-1} ^{232}Th ve 4810 Bqkg^{-1} ^{40}K ' in aynı miktarda gama dozu ürettiği kabul edilerek tanımlanmıştır. Radyolojik risk açısından **Ra(eq)** aktivitesinin 370 Bqkg^{-1} ' ı geçmemesi istenmektedir (UNSCEAR, 1988;1993; Hussein, 1994).

UNSCEAR 1982 Raporunda, bina materyallerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden salınan gamalara bağlı dışsal maruz kalma ve solunan radon gazı ve kısa yarı ömürlü ürünlerine bağlı içsel maruz kalma ile ilgili dış ve iç zarar indeksleri, aşağıdaki dozimetrik ilişkiyle verilmektedir.

$$H_{\text{ex}}=A(\text{Ra})/370 + A(\text{Th})/259 + A(\text{K})/4180 < 1.0$$

$$H_{\text{in}}= A(\text{Ra})/185 + A(\text{Th})/259 + A(\text{K})/4180 < 1.0$$

Bu eşitlikte, $A(\text{Ra})$, $A(\text{Th})$ ve $A(\text{K})$, sırasıyla bina yapı malzemesinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarıdır (Bq/kg). Radyolojik risk açısından, H_{ex} ve H_{in} indekslerinin <1 olması durumunda

bina içi ortamda maruz kalınan radyasyon dozunun yılda 1.5mGy'i geçmeyeceği tahmin edilmektedir (UNSCEAR 1982).

Türkiye doğal yapı taşları, zengin çeşitliliği ve kalitesiyle dünyada dikkat çekmekte ve dış ticaretimizdeki önemi gittikçe artmaktadır (Kun.,2000). Bu doğrultuda sunulan çalışmada, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan Türkiye doğal taşlarının radyolojik özelliklerinin ortaya koyulması ve sonuçların radyolojik risk açısından değerlendirilerek uluslararası standartlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye’de 5 milyar m³ ü aşan miktarda mermer ve renkli doğal taş rezervleri olduğu tahmin edilmektedir. İstanbul Maden ve Metal İhracatçılar Birliğinin (İMMİB)’nin rakamlarına göre son üç senede doğal taş ihracatı, bor minerallerini geçerek birinci sıraya oturmuştur. 2001 yılında 223.5 Milyon \$ doğal taş ihracatı, 2002 yılında %36 dolayında artışla 303 Milyon \$’a yükselmiştir. Ham ve işlenmiş doğal taş türleri içinde özellikle travertenlerin dış satımındaki, %40’lara varan payı dikkat çekicidir. Granit ve diğer sert taş türlerinin toplam dış satım değerleri mermer, traverten ve renkli taşlara oranla daha sınırlı kalmaktadır. Ancak bunlardaki artış hızı da olumludur.

Özetle ülkemizin doğal taş kaynaklarının tür ve rezerv zenginliğinin son yıllarda değerlendirilmesi ile gelişen **“Türkiye Doğal Taş Endüstrisi” sadece Ulusal değil, Uluslararası bir ekonomik ve ticari boyut kazanmıştır.** Bu doğrultuda sunulan çalışmada, bina yapımı ve dekorasyonunda yaygın kullanımına paralel olarak çeşitliliği ve kalitesi ile ihracatımızda önemli bir yer tutan ve ticari olarak mermer olarak adlandırılan Türkiye Doğal Yapı Taşlarının radyolojik özelliklerinin ortaya koyulması ve sonuçların radyolojik risk açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu radyolojik inceleme, doğal yapı taşlarının ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesini, radon emanasyon hızının saptanmasını, bina içi ortamda radyolojik risk tahmini için radyasyon dozunun hesaplanmasını ve bu sonuçların uluslararası radyolojik kriterlerle karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Bu doğrultuda planlanan ve yürütülen radyolojik gözlem, aşağıdaki adımlardan oluşmuştur.

3.1 Çalışılan Doğal Yapı Taşları

Bu radyolojik incelemede, Ege, Marmara, Orta Anadolu, Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu gibi Türkiye'nin önemli bloktaş üretim bölgelerinden sağlanan 87 adet farklı doğal yapı taşı ve Türkiye'de ithal edilerek yaygın şekilde kullanılan 49 adet ithal doğal taş ile çalışılmıştır. Çizelge 3.1' de çalışılan doğal taş örneklerinin litolojik sınıfı, çıkarıldığı bölge ve ticari isimleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışılan Doğal Yapı Taşları

Marmara Bölgesi	Doğal Yapı Taşları *	Litoloji
		Karacabey Siyah
	Bilecik Rose, Başaranlar Bej, Burdur Bej ,Bursa Bej, Rosalya, Karacabey Siyah, Kumru Tüyü	Kireçtaşı
	Balaban Green	Granit
	Çanakkale Ayvacık Andezit	Andezit
Ege Bölgesi	Afyon Açık, Gri Afyon, Bal Afyon, Beyaz Afyon, Çizgili, Afyon Gri, Afyon Kaplan Postu, Afyon Koyu Gri, Afyon Menekşe , Afyon Pembeli, Afyon Sarılı, Afyon Şeker Aydın Linyit Siyahı , Belevi Siyah, Denizli Siyah, Ege Bordo, Ege Gümüş, Ege Kahve Ege Siyah, Egean Pearl , Teos Ateşi, Teos Yeşil, Uşak Dolamit, Uşak Yeşil, Uşak Yeşil Desenli, Milas Limon, Muğla Beyaz, Muğla Şeker, Kütahya Yeşil	Mermer
	Afyon Bej, Karacasu Pembe, Verde Rose	Kireçtaşı
	Afyon Sarı Trv Dazkırı Trv Kütahya Kırmızı Muğla Trv	Traverten
	Afyon İscehsar Andezit, Menemen Andezit	Andezit
	Balya Balıkesir Gri ,Kozak Graniti	Granit

Çizelge 3.1 Devam Ediyor

	Doğal Yapı Taşları *	Litoloji
İç Anadolu	Akşehir Siyah ,Konya Yeşil,Toros Siyah	Mermer
	Sivri Hisar Bej, Sivri Hisar Bej Kırmızımsı	Kireç Taşı
	Eskişehir Doğal Taş	Andezit
	Aksaray Yaylak, Aksaray Pink, Anadolu	Granit
Karadeniz	Giresun Vizon	Granit
Akdeniz Bölgesi	Likya Brown, İskenderun Siyah,	Mermer
	Burdur Bej, Limra	Kireçtaşı
	Mersin Mut Mercan	Traverten
	Antalya Diayabaz	Diyabaz
Doğu Anadolu Bölgesi	Moko Bej, Elazığ Baskil Krem, Hazar Pembe	Kireçtaşı
	Elazığ Sarısı,Elazığ Sunta Dark	Traverten
	İspir Pink	Granit
İthal Doğal Yapı Taşları*	Afrikan Red, Afrikan Lilac, Aswan Red, Asway Gray, Azul Platino, Baltık Brown Bianco Refealya, Blue Orissa, Blue Pearl (Belçika) ,CafeImperial, Coralmist, Çin Beta, Çin Brown Porrino, Çin Rose Beta, Çin Sarı, Çin Siyah, Giallo Ormantale, Giallo Topazio, Giaollo Fioroti, Green Butterfly, Green Tween, Kinawa(Brezilya) Capao Bonita, Multicolor, Nero Afrika, New Calendonia, Rosa Balmoral(Hollanda), Rosa Gondelo, Rosa Marina, Rosa Minho, Rosso Porrino, Rosa Royal, Rosa Toledo, Rosavell, Santiago Red, Sapphire Blue, Silver White, Star Galaxy, Tan Brown,Upatuba(Brezilya) Tiger Skin, Verde Karzai, Verde Mare, Volga Blue, Wadi Forsan, Wadi Gazhal, White Palmas, Zinbawe,	Granit

* Doğal Taşlar ticari isimleri ile verilmiştir.

* İthal doğal yapı taşlarının bütünü için granit ticari tanımlanması yapılmaktadır.

3.2 Doğal Yapı Taşlarında ^{226}Ra , ^{232}Th , ve ^{40}K Radyonüklit Analizi

3.2.1 Örnekleme

Doğal taş örnekleri, Afyon ve Muğla illerindeki üretici firmalardan, Mermer Fuarından ve DEÜ. Jeoloji Mühendisliği Bölümünden sağlanmıştır. Yaklaşık bir yıllık süre boyunca, toplanan doğal taş örnekleri, litolojik olarak sınıflandırılmıştır.

3.2.2 Örnek Hazırlama

Doğal yapı taşları, yaklaşık 3 kg olacak şekilde plaka olarak alınmıştır. Etüvde 105°C 'de sabit ağırlığa varıncaya kadar (24-48 saat) kurutulan örnekler $< 2\text{ mm}$ 'ye inceltilerek homojenize edilmiştir. Gama spektrometrik analiz için 1 L'lik Marinelli kaplara (yoğunluğuna bağlı olarak $\sim 2.7\text{ kg}$) yerleştirilmiştir. Radyum (^{226}Ra) ve radon (^{222}Rn) arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için kapatılan materyaller, ölçümlerden önce 4 hafta süre ile bekletilmiştir.

3.2.3 HPGe Gama Spektrometre Sistemi ile Doğal Radyonüklit Analizi

Herhangi bir örnekteki radyoaktif elementlerin yayımladığı gama ışınlarını enerjilerine ayırarak algılama esasına dayanan gama spektroskopisi, radyonüklit kimliklerinin belirlenmesinde ve kantitatif tayininde birçok analitik ve nükleer tekniğe tercih edilerek kullanılan çok yönlü, tahripkar olmayan, basit, hızlı ve pratik bir radyometrik tekniktir (Yaprak, 1995).

1950' li yılların başlarında sintilasyon materyali olarak talyumla aktive edilmiş sodyum iyodür “NaI(Tl)” kristalinin geliştirilmesi ve Hofstadter tarafından bu kristalin gama radyasyonunun algılanılmasında

kullanılması modern gama spektroskopisi çağını başlatmıştır (Yaprak, 1995).

Birçok alana değişik amaçlarla uygulanan sintilasyon gama spektroskopisi, uzun yıllar yaygın şekilde radyoaktif mineral keşfinde ve bünyesinde radyoaktif mineral bulunduran jeolojik örneklerin radyonüklit içeriğinin saptanmasında kullanılmıştır.

Radyometrik tekniklerin bütün avantajlarına sahip olan gama spektroskopisiyle jeolojik örneklerin U, Th içeriğinin belirlenmesinde genelde çalışmalar her iki radyoaktif serinin gama verici ürün nüklitleri üzerine kurulmuştur. Çünkü ^{238}U ve ^{232}Th 'nin gama spektrometrik ölçümlerde doğrudan dedekte edilecek kendilerine ait karakteristik gamaları yoktur, ancak bozunum zincirlerindeki birçok ürün gama vericidir (Yaprak,1995).

1958 yılında J.A. Adams'ın öngörüsüyle ^{238}U serisinde ^{214}Bi ' ün 1.76 MeV, ^{232}Th serisinde ^{208}Tl 'in 2.6 MeV ve ^{40}K ' ın 1.46 MeV yüksek enerjili gamaları üzerine yoğunlaşan bu çalışmalarda, uranyum ve toryumun bozunum ürünleri ile radyoaktif dengede olduğu varsayımı yapılmıştır. Daha sonra açıklanacağı üzere, radyoaktif denge kısaca; ürün nüklitlerin yarı ömrünün ana nüklide göre çok kısa olduğu durumda, belli bir süre sonra ürün aktivitesinin ana aktivitesine eşit olmasıdır (Yaprak,1995).

Ürün aktivitesi kullanılarak kantitatif analiz yapılan bu yöntemde bulunan U ve Th konsantrasyonları eşdeğer uranyum (eU) ve eşdeğer toryum (eTh) olarak ifade edilir. Ölçümlerde ^{40}K 'ın kendi karakteristik gaması (1460.75 keV) kullanıldığından bulunan %K konsantrasyonu doğrudan potasyum içeriğini verir (Yener ve Yaprak, 1988; Yaprak, 1995).

Herhangi bir jeolojik örnek matrisi içinde genelde U, Th, K radyoelementleri değişik konsantrasyonlarda ve bir arada bulunurlar. NaI(Tl) sintilasyon dedektörlerinin sınırlı ayırma gücü nedeniyle, bu primordial radyonüklitler için seçilen gama enerjileri (2.6 MeV, 1.76 MeV, 1.46 MeV), sintilasyon gama spektroskopisiyle yapılan ölçümlerde konsantrasyon hesabında doğrudan kullanılamazlar. Böyle bir örneğin sintilasyon gama spektrumunda, bu radyonüklitlerin birbirlerine olan katkılarının uygun faktörlerle çıkartılması gerekmektedir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren **Sıyırma (Stripping) Oranlarının** ve net sayımlardan K (%), U(ppm), Th (ppm) olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan **Duyarlılık (Sensitivite) Faktörleri'nin** nasıl saptanacağına ilişkin yöntem, Yener ve Yaprak (1988) ve Yaprak (1995)'de detayları ile geniş şekilde verilmiştir. Çalışmada, jeolojik materyallerdeki U, Th ve K radyoelement içerikleri HPGe gama spektrometre sistemi ile belirlendiğinden bu klasik yöntemin detaylarına yer verilmemiştir.

NaI(Tl) sintilasyon dedektörleri, gama spektrometrelerinin kalitesini arttıran yarı iletken katı hal gama dedektörleri (Ge(Li), HPGe) geliştirilinceye kadar gama spektrometrik sistemlerde kullanılan en önemli dedektör olmuştur.

NaI(Tl)' a göre 10-15 kat daha iyi enerji ayırma gücüne sahip olan HPGe dedektörlerinin çevresel örneklerdeki doğal radyonüklit tayini için kullanılması beraberinde bazı avantajları da getirmiştir. Bunlardan ilki, ^{238}U ve ^{232}Th bozunum serilerinde ürün nüklitlerden yayımlanan çoğu gama enerjisinden (^{214}Pb ; 242, 295 ve 352 keV, ^{214}Bi ; 609, 1120 ve 1764 keV, ^{212}Pb ; 238 keV, ^{228}Ac ; 911 keV, ^{208}Tl ; 583 ve 2615 keV vb.) yararlanılması, diğeri ise NaI(Tl) gama spektrometre sistemlerinin aksine (NaI(Tl)

sintilasyon dedektörlerinin sınırlı ayırma gücü nedeniyle), bu gama spektrometre sistemlerinde, yukarıda sözü edilen enerjilere (HPGe dedektörlerinin yüksek ayırma gücü nedeniyle) örnek matrisinden kaynaklanan herhangi bir katkının olmamasıdır (Yaprak, 1995).

3.2.3.1 Radyoaktif Denge

Bir bozunum zincirinde ana çekirdek ömrünün, ürüne göre ($\tau_1 \gg \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$ veya $\lambda_1 \ll \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) çok uzun olması durumunda, belli bir süre sonunda bir ürünün radyoaktif parçalanma ile kayıp hızı oluşum hızına eşit olmaktadır. Aşağıdaki eşitlikle verilen bu durum, radyoaktif bozunum serileri için daimi denge koşuludur.

$$\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2 = \lambda_3 \cdot N_3 = \dots = \lambda_n \cdot N_n$$

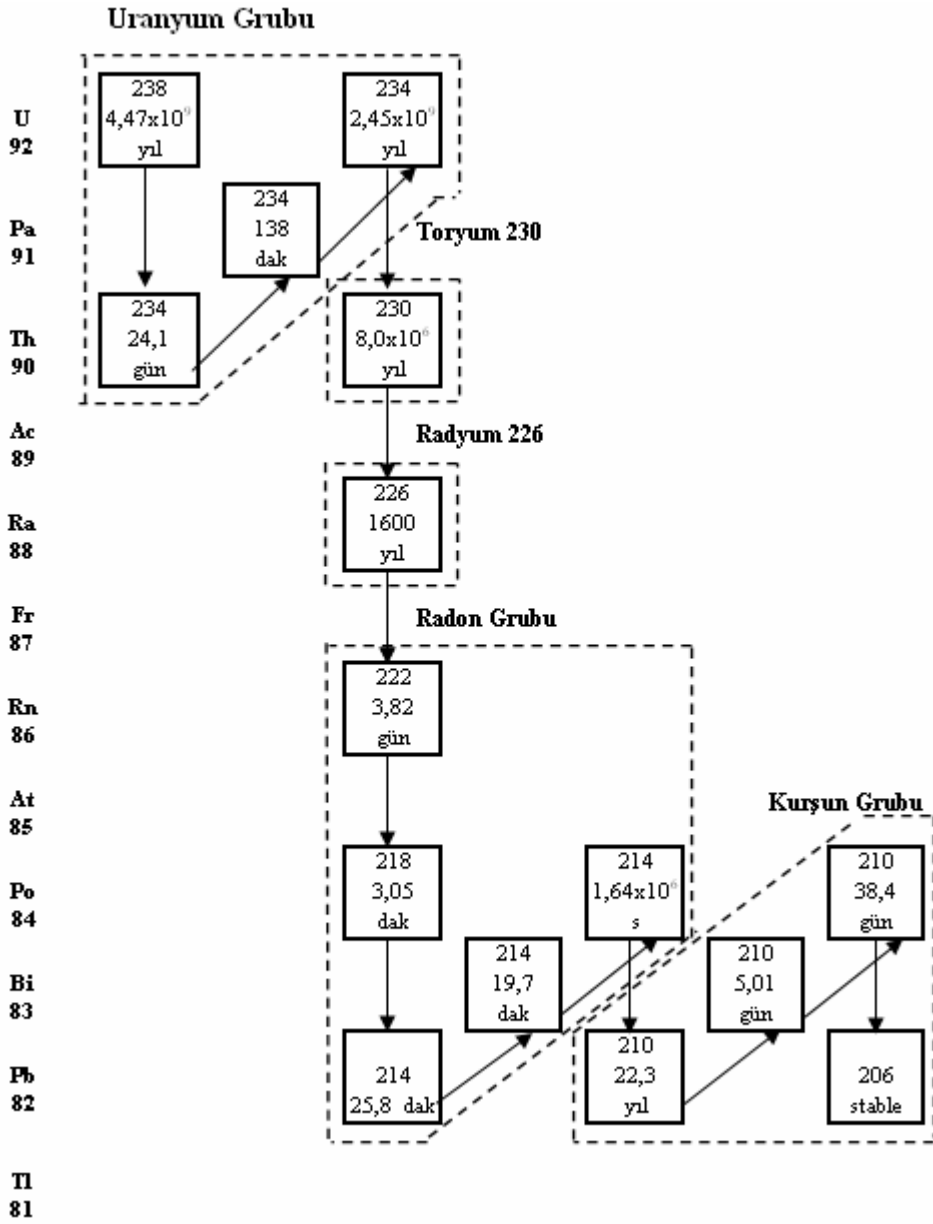
Bu bağıntı göz önüne alınan bozunum zincirinde, ürün aktivitesini ölçerek ana aktivitesinin bulunabileceğini ifade eder. Ancak böyle bir ölçmenin yapılabilmesi için gerekli koşul daimi dengenin bozulmamış olmasıdır. Ana atomun veya ürünlerin bir veya birden fazlasının radyoaktif parçalanma dışında herhangi bir yolla kaybedilmesi durumunda yukarıdaki eşitlik geçersiz olur ve radyoaktif dengesizlik oluşur. Eğer bir nüklit kısa yarı ömrü ile ortamdan uzaklaşırsa denge hızla yenilenebilir, fakat uzun yarı ömürlü bir nüklit ortamdan kalkarsa, bozunum zincirinde bütün üyeler arasında dengenin tamamlanıp yenilenmesi, ürünlerin yarı ömürlerine bağlı olarak milyonlarca yıla kadar varan çok uzun süreler alabilmektedir (Yaprak ve Yener, 1990; Yaprak, 1995).

Bir radyoaktif seride, denge bozulmuş ise, ana ile ürün arasında radyoaktif dengenin yeniden sağlanması için gereken süre, o serinin en uzun yarı ömürlü ürününün yarı ömrüne bağlıdır ve bu süre yaklaşık 6-7 yarı ömür (τ) kadardır (Yaprak, 1995).

Uranyumun, bozunum zincirindeki üyeleri ile arasındaki radyoaktif denge, serideki iki uzun yarı ömürlü nüklit ^{234}U ($t_{1/2}= 250000$ yıl) ve ^{230}Th ($t_{1/2}= 80000$ yıl) nedeniyle 10^6 yıldan daha fazla zaman alırken, ^{232}Th ile bozunum ürünleri arasındaki radyometrik denge yaklaşık 40-50 yılda kurulur. Bunun nedeni toryum serisindeki ürünlerin ^{238}U serisindeki ürünlere göre çok daha kısa yarı ömürlü olmalarıdır (Yaprak ve Yener,1990). Toryum serisinde en uzun yarı ömürlü ürün ($t_{1/2}= 6.7$ yıl) ile ^{228}Ra ' dir. Bu yüzden çoğu jeolojik örnekte toryum serisinin dengede olduğu varsayılır. Herhangi bir metamorfik olay ile seri dağılmış olsa bile bu geçici bir dengesizlikle sonuçlanır ve seri jeolojik olarak hemen denge durumuna döner (Yaprak ve Yener,1990; Yaprak, 1995).

Toryum serisinin aksine, ^{238}U serisinde radyometrik dengesizliğin çok yaygın olduğu bilinmektedir. Uranyum ve bozunum ürünlerinin jeolojik olarak bile uzun sayılan yarı ömürleri ile aynı ortamda farklı fiziksel ve kimyasal davranışlar sergilemesi bu dengesizliğin en önemli nedenidir. Bu yüzden radyoaktif bozunum dışında ürünlerden birinin veya birkaçının kaybedilmesi ile sonuçlanan dağınlıkta denge kolay tamir edilemez ve radyometrik dengesizlik oluşur (Yaprak, 1995).

Uranyum bozunum zinciri denge yönünden 5 ayrı grupta incelenebilir (Şekil 3.1). Her bir gruptaki ürünler, kendi gruplarının ana radyonükliti ile dengede kalmak eğilimindeyken, her bir grubun başındaki radyonüklit serinin ana izotopu ile dengede olmayabilir.



Şekil 3.1 Radyoaktif denge durumuna göre ^{238}U serisinin gruplandırılması (Yaprak,1995).

Uranyum bozunum zincirinde, uranyum grubunun ilk üç üyesi arasında (^{238}U — ^{234}Th — $^{234\text{m}}\text{Pa}$) radyoaktif denge bir yıldan az sürede kurulur. ^{234}U ile ^{238}U aynı kimyasal özelliklere sahip olduğundan, genelde doğada uranyum grubunun ilk dört üyesi arasında radyoaktif dengenin sürdüğü varsayılır.

Uranyum bozunum zincirinde ilk kırılma ^{230}Th ' dan kaynaklanır. U-Th kimyasındaki farklılık ve ^{230}Th 'un uzun yarı ömrü ($t_{1/2} = 80000$ yıl) bu dengesizliğin en büyük nedenidir.

Bozunum zincirindeki ikinci önemli kırılmayı ise 1600 yıl yarı-ömürlü ve toprak alkalilere benzer kimyası ile ^{226}Ra ve bozunum ürünü ^{222}Rn oluşturur. Radon, 3.85 gün yarı ömürlü asal bir gazdır ve gözenekli ortamda 1.6 m olan difüzyon uzunluğu ile sistemden kaçma olasılığı çok yüksektir (Yaprak, 1995).

Son grubun ilk üyesi olan ^{210}Pb ' a 22 yıl yarı ömrü ve önünde yer alan ^{222}Rn hareketliliği jeokimyasal bağımsızlık kazandırmaktadır.

3.2.3.2 Standart Hazırlama

Mutlak aktivite ölçümleri, dedektör verimi ve geometri hesapları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak, doğal örneklerin düşük spesifik aktiviteleri nedeni ile çoğunlukla, maksimum sayım hızı için büyük hacimli örnek ve yakın sayım geometrisi tercih edildiğinden geometri ve verim hesaplarında temel fiziksel parametrelerin tam olarak bilinmesi güçleşmektedir. Bu doğrultuda, daha gerçekçi bir yaklaşım, ilgili her bir geometri için sertifikalı materyallerden standart hazırlanmasıdır (Yaprak,1995).

Potasyum standartları genelde, saf potasyum tuzlarının (örn: KCl, $K_2(CO_3)$) radyoaktif olmayan bir matris ile karıştırılmasıyla hazırlanmaktadır.

Uranyum ve toryum standartları olarak ise birçok laboratuarda, sertifikalı (IAEA, NBL vb.) cevher veya kaya örnekleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu standartların U, Th içerikleri kimyasal analitik tekniklerle saptandığından, radyometrik uranyum ve toryum standardı olarak referans alınmaları, radyoaktif denge durumlarının bilinmesini gerektirir. Genelde ^{232}Th serisinin dengede olduğu varsayıldığından, birçok sertifikalı toryum standardının Th içeriği, radyometrik ve kimyasal analiz sonuçları ile birlikte verilmektedir (S-14, S-15.S-16 IAEA sertifikalı). Ayrıca, ^{232}Th ile ürünleri arasındaki radyoaktif denge yaklaşık 40 yılda kurulduğundan eski toryum tuzlarından da radyometrik toryum standardı hazırlanabilmektedir. Ancak, ^{232}Th 'nin aksine ^{238}U serisinde radyometrik dengesizlik çok yaygın olduğundan, çoğu sertifikaya edilmiş uranyum standardında, uranyum ile ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin garanti edilmediği belirtilmiştir.

Genelde gama spektrometrik U, Th, K analizleri bu kalibrasyon standartları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak böyle bir ölçümde gözden kaçırılmaması gereken nokta, örneklerde radyometrik olarak tayin edilen eU, eTh ve %K konsantrasyonlarının geçerliliğinin bu standartların doğruluğuna dayandığıdır.

3.2.3.3 Çalışmada Kullanılan Radyometrik Standartların Hazırlanması

Uranyum standardı: Çalışmada kullanılan ürünleri ile radyometrik dengede uranyum standardı, “IAEA sertifikalı (S-7) Nuclear Energy Board Laboratuvarı” orjinli % 0.527 U₃O₈ (pitchblende)’den hazırlanmıştır. Bu uranyum standardının ürünleri ile radyometrik dengede olduğu, Çelikdağ ve Yaprak tarafından yapılan çalışmada (1998) saptanmıştır.

Örnek kalınlığı ve matrisinden kaynaklanan foton self absorpsiyon etkisi orta ve yüksek gama enerjilerinde göz ardı edilebilirken, düşük gama enerjilerinde (< 200 KeV) önemli bir problem olarak ortaya çıkar (Yaprak,1995). Bu nedenle, gama spektrometrik uranyum ve toryum ölçümlerinde, genelde çalışmalar yüksek enerjili ürün gamaları üzerine kurulmuştur (Çizelge 3.1). Arazideki ölçümlerde ise yüksek enerji emisyonunun kullanımı, düşük enerjili radyasyonun zayıf giricilik gücünden ve yüksek art-ortam akısından dolayı gereklidir.

Çizelge 3.2 ²³⁸U ve ²³²Th Bozunumunda Yayınlanan Yüksek Enerjili Ürün Gamaları

Bozunum Serisi	Radyonüklit	Gama Enerjisi (keV)	Gama İntensitesi (%)
²³⁸ U	²¹⁴ Bi	609.312	43.3
	²¹⁴ Bi	1120.287	15.7
	²¹⁴ Bi	1764.494	17
²³² Th	²⁰⁸ Tl	583.139	26.84
	²²⁸ Ac	911.070	26.35
	²⁰⁸ Tl	2614.533	35.85

Uranyum ve toryumun yüksek enerjili gama yayımlayıcılarının ürün aktivitelerinin kullanıldığı klasik sistemde kalibrasyon standardı ile örnek arasındaki matris farklılığı problem yaratmaz. Bununla birlikte, örnek ile standart pik alanlarının doğrudan karşılaştırıldığı bu çalışmada, aktivite hesaplarında herhangi bir hatadan kaçınmak için kalibrasyon standartları ile örnekler arasındaki matris farklılığı giderilmiştir.

Genel jeolojik örneklerin ana bileşeni SiO_2 ' dir ve çoğu magmatik türdeki kayacda SiO_2 miktarı ile orantılı olarak radyoaktif mineral içeriği de artmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan standartların temel matrisini SiO_2 'i oluşturmuştur. SiO_2 içeriği (% 60) genel jeolojik örneklerin, tipik toprak örneklerinin ve IAEA standartlarının silisyum oksit içerikleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan 4469 ppm uranyum içeren stok standart, SiO_2 ile aşağıdaki bağıntı uyarınca seyreltilmiş ve 108 ± 10 ppm uranyum standardı hazırlanmıştır.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

C_1 : Stok U standardının konsantrasyonu

C_2 : Hazırlanacak U standardının konsantrasyonu

V_2 : Hazırlanacak U standardının ağırlığı veya hacmi

V_1 : Stok U standardından alınması gereken miktar (gram veya litre)

Gama spektroskopisiyle radyometrik uranyum tayininde dikkate alınan ürün gamalarının çoğu ^{214}Pb ve ^{214}Bi tarafından yayımlanmaktadır (Çizelge 3.1). Bu radyonüklitler, ^{238}U serisinde son uzun yarı ömürlü ($t_{1/2} = 1600$ yıl) ürün olan ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucu oluşurlar (Şekil 3.1).

Uranyum bozunum zincirinde ^{226}Ra 'nın önünde ^{230}Th , ^{234}U , ^{234}Pa ve ^{234}Th radyonüklitleri yer almaktadır. Th-234 ($t_{1/2} = 24.1$ gün) ve $^{234\text{m}}\text{Pa}$ ($t_{1/2} = 1.17$ dak.) sadece uranyumun bozunum ürünleridir ve kısa ömürleri nedeniyle uranyumla daima dengededir. Bu nedenle, ^{234}Pa ve ^{234}Th aktiviteleri ölçülerek doğrudan uranyum konsantrasyon tayini yapılabilmektedir(Yaprak,1995). ^{234}Th 'ün 63.3 keV (%3.9) ve 92.6 keV (%5.6) enerjili gamaları uranyumun gama spektrumunda 200 keV'in altında gözlenirken, $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 'ün 258 keV, 743 keV, 766 keV ve 1001 keV gamaları 200 keV'in üzerindeki bölgede gözlenmektedir. $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 'ün bu dört gamasından 1001 keV'in dışında olanlar uranyumun diğer bozunum ürünleri tarafından maskelenir (258 ve 743 keV; ^{214}Bi 'ün 1.764 ve 1281 keV enerjili gamalarının oluşturduğu çift kaçak pik ile maskelenir, ayrıca ^{214}Pb 'ün 259 keV piki yine 258 keV'e girişimde bulunur. Bundan başka $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 'ün 766 keV fotopikine yine Bi-214 'ün 768 keV'i girişimde bulunur).

Sadece uranyum ölçümü istenen çalışmalarda, uranyumun düşük enerji gama spektrumunu kullanmak zorunlu değildir. Uranyumun yüksek enerji gama spektrumunda görülen $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 'ün 1001 keV (%0.6)' inden yararlanarak da bu ölçüm yapılabilir. Ancak, sözü edilen bu radyonüklitlerin enerjilerinin ve intensitelerinin oldukça küçük olması, çalışmada kullanılan kalın alüminyum pencere ve düşük verimli(relatif verim:%25) gama spektrometre sisteminde algılanmalarını zorlaştırmaktadır. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada, geneldeki uygulamalara paralel olarak, ^{238}U 'in yüksek enerjili ve intensiteli ürün gamaları kullanılarak (Çizelge 3.2) aktivite tayini yapılmıştır.

Radyum ile bozunum ürünleri arasında radyometrik dengenin kurulması, ^{210}Pb 'nin 22.3 yıl yarı ömrü nedeniyle 100 yıldan fazla zaman

almaktadır. Ancak, ^{210}Pb ($\gamma=46.5$ keV) ve bozunma ürünleri önemli gama ışını üretmezler ve uranyumun yüksek enerji gama spektrumunda yer almazlar. Bu nedenle ^{226}Ra ve bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi için gerekli süre öncelikle bir gaz olan ^{222}Rn ($t_{1/2}= 3.85$ gün) ile kontrol edilir (Yaprak,1995). ^{222}Rn ile ^{210}Pb arasındaki ürün radyonüklitlerin yarı ömürleri oldukça kısadır, ^{218}Po ; $t_{1/2} = 3.05$ dak, ^{214}Pb ; $t_{1/2} = 26.8$ dak, ^{214}Bi ; $t_{1/2} = 19.8$ dak, ^{214}Po ; $t_{1/2} = 1.6 \times 10^{-4}$ sn ve ***Ra-Rn dengesi*** standart ve örneklerin kapalı kaplarda bir ay süreyle bekletilmesiyle sağlanmaktadır.

Sonuç olarak, gama spektrometrik U tayinlerinde, gerçekte ölçülen ^{226}Ra aktivitesidir. Bu doğrultuda örneklerde U-Ra dengesi varsayılarak bulunan konsantrasyonlarının eşdeğer uranyum konsantrasyonu (eU) veya ^{226}R aktivitesi olarak ifade edilmesi gerekmektedir.

Toryum Standardının Hazırlanması: Stok toryum standardı, analitik saflıkta Merck markalı eski toryum tuzundan ($\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 6620 ppm olarak hazırlanmıştır. Stok olarak hazırlanan bu standarttan yine SiO_2 ile seyreltme yoluyla 155 ± 16 ppm Th standardı yapılmıştır. Eski toryum tuzundan hazırlanan bu standardın toryum içeriği, IAEA sertifikalı S-16 standardı ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir.

Potasyum Standardının Hazırlanması: Çalışmada kullanılan potasyum standardı analitik saflıkta Merck markalı KC1 bileşiğinden, $C_1V_1 = C_2V_2$ bağıntısı uyarınca hazırlanmıştır. Bu standart %5.2 K içermektedir.

Yakın sayım geometrisinde dedektörden alınan sayım, örnek içindeki kaynak dağılımına çok hassas olduğundan (katı açısı nedeniyle) standartların hazırlanmasına büyük özen gösterilmiştir (Yaprak,1995). Bu amaçla 105°C derecede etüvde kurutulan stok standartlar, 200 mesh'in altında inceltme yapan ağat değirmende etkin öğütmeyle homojen hale

getirilerek ve yukarıda verilen eşitlik uyarınca seyreltilerek, çalışmada kullanılan standartlar hazırlanmıştır.

3.2.3.4 Çalışmada Kullanılan Gama Spektrometre Sistemi

İncelenen örneklerde ^{226}Ra (^{214}Bi ; 1764 keV) , ^{232}Th (^{208}Tl ; 2614 keV.)ve ^{40}K (1461 keV) içeriklerinin saptanmasında kullanılan gama spektrometre sistemi, 184 cc HPGe koaksial dedektör (dedektör verimi: %25, ^{60}Co 'ın 1.33 MeV gama enerjisi için FWHM: 1.83 keV ve pik/compton oranı: 57:1), Ortec Model-671 spektroskopi amplifikatörü ve Canberra PC bazlı MCA (8 K) Wilkinson ADC'den oluşmuş ve 100 mm kurşun ile zırhlanmıştır.

Düşük aktivite ölçümlerinde, kullanılan tekniğin algılama ve saptama sınırının belirlenmesi büyük önem kazanır (Yaprak, 1998). Bir gama spektrumunda minimum gözlenebilen aktivite, art-ortam sayımlarından ayırt edilebilen pik oluşması durumudur(Yaprak, 1998). Çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin ölçebileceği en düşük aktiviteler *CURRIE* kriterlerine dayalı olarak hesaplanmıştır

Çalışılan laboratuvar koşullarında (iyi bilinen art-ortam) sistem tarafından algılanabilecek minimum dedekte edilebilen aktiviteler aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Yaşar ve Yaprak, 1998).

$$\text{MDA} = \frac{2.71 + 3.29\sqrt{\mu_B}}{K}$$

Bu eşitlikte; μ_B : Background sayım hızı ve K: Kullanılan gama spektrometre sisteminde, sayımlardan Bqkg^{-1} olarak aktiviteye geçmeyi sağlayan kalibrasyon faktörleridir (K_{Ra} , K_{Th} ve K_K).

Currie(1968) kriterlerine dayalı olarak, gama spektrometre sisteminin 64 800s'de ölçebileceği minimum dedekte edilebilen aktiviteler (MDA); ^{226}Ra ve ^{232}Th için 0.5 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için 2 Bq kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Radyometrik sayım hatasının, granit örneklerinde $<5\%$ olduğu, bazı mermer ve traverten örneklerinde ise $\% 30$ 'u aştığı gözlenmiştir. Çalışılan doğal yapı taşlarından *İspir Pink* granit örneğininin 10000s süre ile alınan gama spektrumu ve aktivite hesaplarında kullanılan gama enerjileri, Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Gama spektrometresinin enerji kalibrasyonu referans nokta gama kaynakları (Amersham gama kaynağı kiti, 1992) ^{241}Am , ^{57}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{22}Na ve ^{60}Co kullanılarak yapılmıştır.

3.3 Katı Hal İz Kazıma Dedektörleri (SSNTD)

Bilim ve teknolojinin hemen her alanına uygulanabilen *Katı Hal İz Kazıma Dedektörleri (SSNTD)*, basit dedeksiyon teknikleri, ucuz olmaları, çok az ekipmana ihtiyaç duymaları ve çevresel koşullardan fazla etkilenmemeleri nedeniyle yüklü parçacık yayımlayan radyonüklidlerin kalitatif ve kantitatif analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yaprak, 1988; 1999;2003). Bu doğrultuda, inceleme altındaki doğal taş örneklerinin radon salınım hızı LR-115 (selüloz-nitrat alfa duyarlı) Katı Hal İz Kazıma Detektörleri kullanılarak saptanmıştır (Bölüm 3.4).

3.3.1 Katı Hal İz Kazıma Detektörlerinin (SSNTD) Temel Prensipleri

Hareketli bir iyon, yalıtılmış bir katıdan geçtiğinde yolu boyunca katının fiziksel yapısında bir hasar oluşturur. Bu hasarla oluşan iz kimyasal olarak kazındığında mikroskop altında görülebilir olmaktadır. Hareketli iyonun hasar oluşturabileceği karakterde olan bu ortam katı hal iz kazıma detektörü veya dielektrik iz detektörü olarak tanımlanmaktadır (Yaprak, 1988).

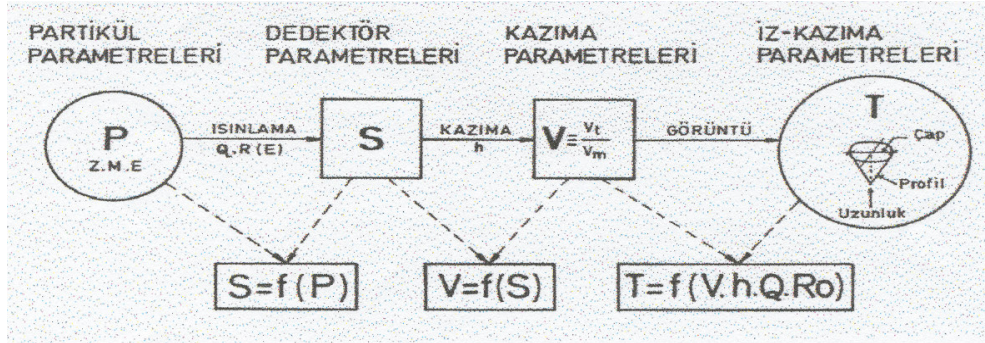
Katı hal iz kazıma detektörleri öz direnci 2000 ohm-cm'den büyük dielektrik maddelerden yapılmaktadır. Plastik ve polimerler gibi organik olanların yanı sıra cam ve mineral gibi inorganik olanları da mevcuttur. Işık geçirebilen maddeden yapılan selüloz nitrat, selüloz asetat, selüloz triasetat organik detektörleri plastik levhanın bir yüzüne 10-1000 µm kalınlığında gerekli madde kaplanarak hazırlanmaktadır (Yaprak, 1988; 2003).

Bütün yüklü tanecikler ($Z \geq 2$) madde içinden geçerken yolları boyunca ortama enerji transfer ederler. Ortam içindeki moleküller veya atomlara ait elektronlarla Coulomb etkileşmesi yapan yüklü tanecik enerjisini yitirerek madde içinde durur. Çok sayıda uyarılma ve iyonlaşma

ile iyon yolu boyunca yapısal hasar oluşur. Enerji depolanışının yayılımı iyon yoluna diktir. Submikroskopik dar iyon yolu boyunca transfer edilen enerji, birkaç \AA başına 1 MeV/amu iyon, gibi büyük miktarlardadır. Organik materyalde bu enerji kaybı yaklaşık 50-100 \AA arasında submikroskopik silindir oyuk oluşturur. Bunlara gizli iz denir. Bu izler ancak elektron mikroskopu altında görülebilir. Organik materyal bir kimyasal kazıma çözeltisine (6 N, 2.5 N NaOH) yerleştirildiğinde gizli izin etrafındaki hacim ortaya çıkar. Böylece nükleer parçacığın izi normal mikroskop altında 1-30 μm çapında bir silindir veya koni şeklinde görülebilir olur. Nükleer izlerin geometrik şekli, yüklü, ağır tanecikler tarafından gizli izde depolanmış olan enerji kaybına detektörün doğrudan cevabıdır. Bazı özel yöntemler uygulanarak iz şekillerinden tanecik parametreleri (hız, enerji, yük) hesaplanabilir (Yaprak, 2003).

Katı hal iz kazıma detektörleri (SSNTD) bilimin ve teknolojinin çeşitli alanlarında başarıyla uygulanmasına rağmen, bu detektörlerdeki iz oluşumunun basit mekanizması hala tartışmaya açıktır. Bu anlamda, plastik materyalde iz oluşumunu açıklamak için birçok model (birincil hasar modeli, ikincil hasar modeli, sınırlandırılmış enerji kaybı (REL) modeli vb.) geliştirilmiştir. Bu modellerin ortak vargısı, bir katı hal iz kazıma detektöründe iz durumunun ışınlayıcı taneciğin; ***Z proton sayısına, α_0 kritik geliş açısına*** (kritik açı, kullanılan plastik iz dedektörü türüne göre değişir, LR-115 için 30° ve CR-39 için 10° olarak verilmektedir), ***m kütesine, N kazıma çözeltisinin normalitesine, T kazıma çözeltisinin sıcaklığına, V_t çözeltinin iz kazıma hızına, V_m çözeltinin materyal kazıma hızına*** bağlı olarak geliştiğidir.

Kazınmış nükleer izlerin geometrisinin gelişiminin anlaşılması için iz kazıma kinetiği, $T = F (V, h, \alpha_0, R_0)$ fonksiyonu ile verilir. Şekil 3.3 bu fonksiyonu şematize etmektedir (Yaprak, 1988).



Şekil 3.3 İz parametrelerinin ilgisinin şematik gösterimi.

3.3.2 Katı Hal İz Kazıma Detektörlerinin İşlenmesi

Genelde, katı hal iz kazıma detektörlerinin kazınması için birkaç tane uygun çözelti olmasına rağmen, bu çözeltilerin sıcaklığı, konsantrasyonu, kazıma süresi geniş bir aralıkta değişmektedir (Monnin, 1978). Çizelge 3.3' de radon konsantrasyonu ölçümlerinde kullanılan bazı plastik detektörler için kazıma sıcaklığı, konsantrasyonu ve süresi verilmiştir.

Çizelge 3.3 Bazı Plastik Detektörler için İz Kazıma Koşulları

Detektör Tipi	Detektör Materyali	Kazıma Sıcaklığı	Kazıma Konsantrasyonu	Kazıma Süresi
LR-115	Selüloz Nitrat	60 °C	%10; 2.5 N NaOH	2 Saat
CR-39 (500 µm)	Polikarbonat	70 °C	%25; 6.25 N NaOH	12 Saat
CN-85	Selüloz Asetat	60 °C	%10; 2.5 N NaOH	20-30 dak.

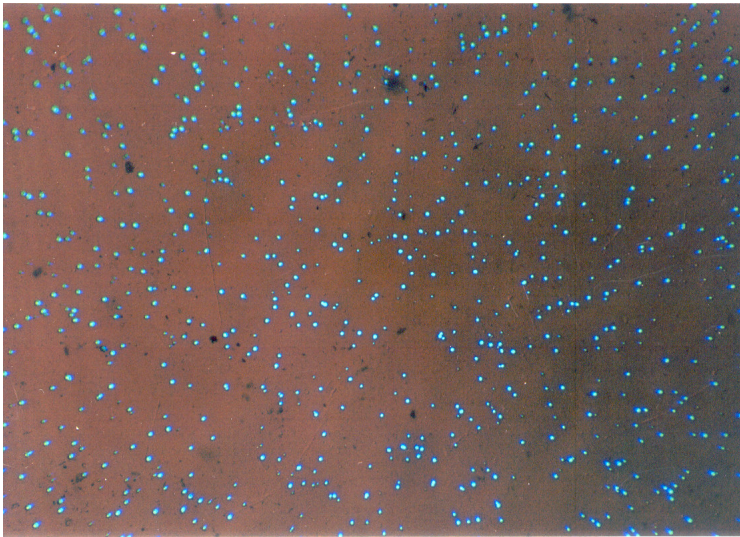
Nükleer iz detektörleri üzerindeki iz oluşumu kazıma çözeltisinin konsantrasyonuna, sıcaklığına ve kazıma süresine bağlıdır. Kazıma çözeltisinin artan konsantrasyonu, kazıma hızını artırarak iz çaplarını büyütür. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlardaki kazıma çözeltisi, oluşan izlerin çevresini sararak izleri tanımsız yapmaktadır (Yaprak, 2003). İz oluşumunu önemli ölçüde etkileyen kazıma sıcaklığı, termostatlı ve karıştırıcısı olan bir düzenele sabit tutulmalıdır. Bu durum kazıma sıcaklığının uzun periyotlarda çok iyi kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Çözelti sıcaklığının devamlılığı ± 0.1 °C sıcaklık kontrollü termostat ve manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile termometreden oluşan bir düzenele sağlanması ve her bir detektör için taze hazırlanmış 25 ml çözelti kullanılması önerilmektedir.

3.3.3 İz Yoğunluğunun Ölçümü

Kimyasal işlemden sonra, detektör üzerindeki izler genelde optik mikroskop veya otomatik olarak ölçülmektedir. Detektör yüzeyinde birim alandaki iz sayısı “ *iz yoğunluğu*” olarak tanımlanmaktadır. Detektör üzerindeki net iz sayısı (iz yoğunluğu), gözlenen iz sayısı ile ışınlanmamış materyal üzerindeki ortalama iz sayısı arasındaki fark alınarak bulunur. Birim alanda ölçülen iz yoğunluğundaki (N) hata, poisson istatistiğine uyar ve toplam sayımın karekökü ile verilir. Yüklü parçacık yayımlayan radyonüklitlerin konsantrasyonuna karşı gelen detektör üzerindeki iz yoğunluğundan kalibrasyon sabiti kullanılarak aktivite birimine geçilir.

3.4 Doğal Yapı Taşlarında Katı Hal İz Kazıma Detektörleri ile Radon Salınım Hızının Ölçülmesi

Katı hal nükleer iz detektörleri radon ölçümlerinde kullanılan; küçük, pahalı olmayan ve uzun süreli ölçüm olanağı sağlayan detektörlerdir. (Yaprak, 1999). Doğal yapı taşlarının radon emanasyon hızı, katı hal nükleer iz detektörlerinden (SSNTD), α duyarlı LR-115 (tipII) selüloz nitrat plastik film kullanılarak ölçülmüştür. 100 μ M selüloz nitrat kaplanmış olan bu plastik detektörler üzerine alfaların bıraktığı iz kırmızı zemin üzerine beyaz benekler şeklinde olmaktadır. Çalışılan *sophire blue* granit örneğine ilişkin iz yoğunluğu Resim 3.1' de gösterilmiştir.



Resim 3.1 LR-115 katı hal iz dedektörü üzerindeki iz yoğunluğu (*sophire blue* granit örneği) .

3.4.1 Örnek Hazırlama

Radon salınım hızı ölçümleri için doğal taşlar, 1litre hacmindeki radon tanklarının tabanına tam oturacak şekilde, 11x7 cm boyutunda plakalar halinde kesilerek yerleştirilmiştir.

Radon ölçümlerinde kullanılmak üzere 1.2 x 1.2 cm boyutunda kesilip numaralandırılan LR-115 selüloz nitrat plastik filmler, duyarlı yüzleri örneklerle bakacak şekilde tanklarını üst yüzeylerine tutturulmuştur. ^{222}Rn ve ürünlerinin dengeye ulaşması için kapatılan tanklarda, α duyarlı LR-115 dedektörleri, radon ve ürünlerini toplaması için 8-10 hafta süre ile bırakılmıştır. Uzun süreli ölçüm aralığı, düşük seviyeli radon konsantrasyonunun saptanmasını sağlamıştır.

3.4.2 LR-115 Katı Hal İz Kazıma Dedektörlerinin İşlenmesi ve İz Yoğunluğunun Ölçümü

Kimyasal kazıma işleminde; iz dedektörleri, 60 °C sıcaklıkta %10 (2.5 N) NaOH çözeltisinde 120 dakika boyunca banyo edilmiştir. Tanımsız izler elde etmemek için her bir dedektör için taze hazırlanmış 25 ml (2.5 N) NaOH çözeltisi kullanılmıştır.

Çözelti sıcaklığının sabit tutulabilmesi için ± 0.1 °C sıcaklık kontrollü termostat ve manyetik karıştırıcı ısıtıcı ile termometreden oluşan bir düzenek kullanılmıştır.

İz kazıma süresi boyunca buharlaşma ile kayıpları önlemek için çözelti ilavesi yapılmıştır. İz kazıma süresinin sonunda oda sıcaklığında bidestile su ile 20 dakika durulanan dedektörler el değmeden temiz bir ortamda kurumaya bırakılmıştır.

Alfa duyarlı dedektörler üzerindeki izlerin sayımı 10 x 10 büyütmeli optik mikroskopla yapılmıştır. Dedektör üzerindeki zayıf sayım istatistiğinden kaçınmak için rutin olarak 1 cm² lik dedektör alanı sayılmıştır. Bir cm² yi 100 mm² ye bölen özel ölçekle mm² 'deki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınarak, gün başına radon konsantrasyonuna karşı gelen iz yoğunluğu, tr cm⁻² d⁻¹ olarak elde edilmiştir.

3.4.3 LR-115 Katı Hal İz Kazıma Dedektörlerinin Verim Tayini

Çalışmada kullanılan LR-115 nükleer iz dedektörlerinin verim tayini, aktiviteleri 0.05 pCi/ml ile 0.5 pCi/ml arasında değişen ^{226}Ra (Amersham) standartları kullanılarak saptanmıştır. Örneklerle aynı geometride ve sürede ışınlanan dedektörler üzerindeki iz yoğunluğu, standart aktivitesi kullanılarak kalibre edilmiştir.

LR 115 plastik alfa dedektörü üzerindeki iz yoğunluğunun, ^{222}Rn ' ye maruz kalma ile orantılı olduğu varsayımı yapılarak ve tank içinde bilinen radon konsantrasyonu kullanılarak, aşağıdaki eşitlik yardımıyla dedektör duyarlılık katsayısı hesaplanmıştır.

$$\xi_k = D_o / C_o$$

$$D_o = \rho / T_{\text{eff}},$$

$$T_{\text{eff}} = [T + 1 / \lambda (e^{-\lambda t} - 1)] : \text{etkin maruz kalma süresi}$$

Burada; D_o , gün başına net radon alfa iz yoğunluğu ($\text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$), C_o , tank içindeki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu (Bq/m^3) olmak üzere, $[\xi_k]$ dedektör kalibrasyon sabiti ($\text{Bq}^{-1} \text{ m}^3 \text{ tr cm}^2 \text{ d}^{-1}$) olarak elde edilmektedir.

Net iz yoğunluğu, birim alanda gözlenen iz yoğunluğundan (tr cm^{-2}) ışınlanmamış dedektör materyalindeki iz yoğunluğu (background) çıkarılarak elde edilmektedir. Işınlanmamış materyal üzerindeki iz yoğunluğu, dedektörlerin üretimi sırasındaki yüzey hasarlarından ve dedektörün alfa radyasyonu ile kontamine olmasından kaynaklanmaktadır.

Kalibrasyon işleminin bir parçası olan background iz yoğunluğu, ışınlama süresinden bağımsızdır, ancak plastik dedektörün yaşı ile değişmektedir (Yaprak, 1999).

Kullanılan LR-115 SSNTD α plastik iz kazıma dedektörlerinin verimi, yapılan çalışmada $0.157 \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3 \text{ tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ olarak elde edilmiştir.

3.4.4 Radon Salınım Hızı

Dedektör kalibrasyon sabiti kullanılarak, farklı kökenli 34 doğal yapı taşının tank içinde oluşturduğu radon aktivite konsantrasyonu hesaplanmıştır.

$$[C_o(\text{Bq/m}^3)] = D_o/\xi_k$$

Bu aşamadan sonra, aşağıda verilen basit eşitlik uyarınca, doğal yapı taşlarının radon emanasyon hızı saptanmıştır.

$$E = \frac{C_{Rn} \times V_d \times \lambda}{A}$$

Bu eşitlikte;

C_{Rn} : Radon aktivite konsantrasyonu (Bqm^{-3})

λ : Radon bozunum sabiti ($7.567 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$)

V:Radon tankının hacmi ($1\text{L} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)

A:Materyalin yüzey alanı ($8.37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)

olmak üzere;

E:Radon emanasyon hızı'dır.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Ülkemizin doğal taş kaynaklarının tür ve rezerv zenginliğinin son yıllarda değerlendirilmesi ile gelişen “*Türkiye Doğal Taş Endüstrisi*” sadece ulusal değil, uluslararası ekonomik ve ticari boyut kazanmıştır. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, ticari olarak mermer olarak adlandırılan Türkiye doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit içeriği ve radon emanasyon hızı ölçülerek radyolojik risk açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamlı çalışmada, elde edilen deneysel bulgular aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır.

4.1 Türkiye Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite İçeriği

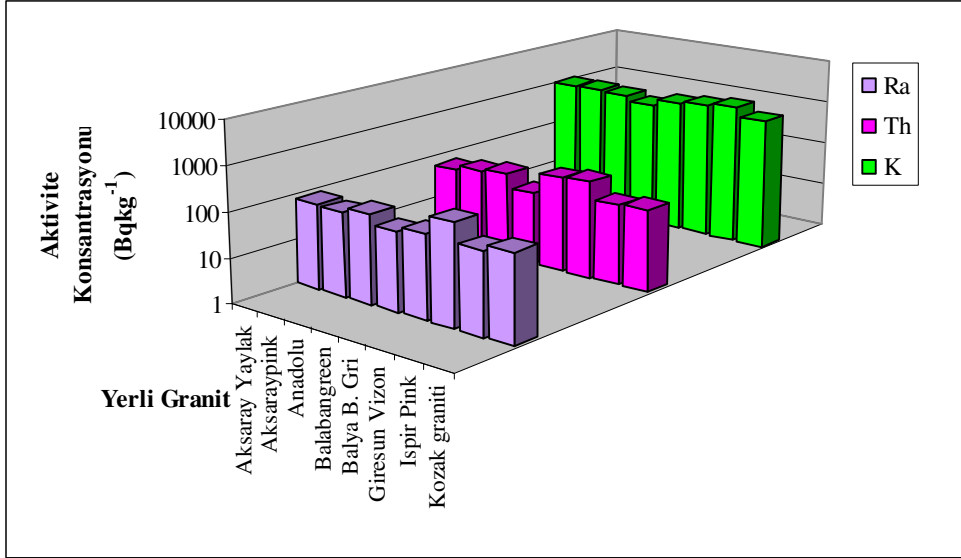
Bu radyolojik incelemede, Ege, Marmara, Orta Anadolu, Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu gibi Türkiye'nin önemli blok taş üretim bölgelerinden sağlanan yaklaşık 90 adet farklı doğal yapı taşında ve Türkiye'de ithal edilerek yaygın şekilde kullanılan 49 adet ithal doğal taş örneğinde, doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları gama spektrometrik olarak saptanmıştır.

İnceleme altındaki doğal yapı taşlarının ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, litolojik sınıflandırılmaları dikkate alınarak aşağıda verilmiştir.

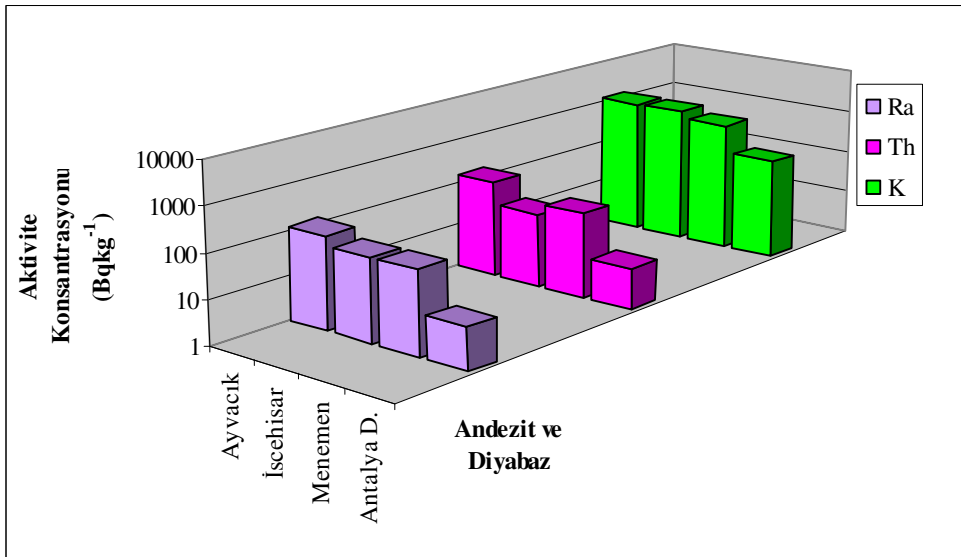
4.1.1 Magmatik Kökenli (*Granit, Andezit ve Diyabaz*) Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Çalışılan magmatik kökenli yerli doğal taştan 8 *granit*, 4 *andezit* ve 1 *diyabaz* örneğine ilişkin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite içerikleri, Şekil 4.1-4.2 ve Çizelge 4.1-4.2 'de ticari isimleri ile verilmiştir. *Antalya Diyabaz*

örneğine ilişkin radyoaktivite içeriği andezit örnekleri ile birlikte verilmiştir (Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2).



Şekil 4.1 Granit örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.2 Andezit ve diyabaz örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

Çizelge 4.1 Granit Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg^{-1})		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Aksaray Pink	75±2	78±2	1114±11
Aksaray Yaylak	82±3	62±2	1082±13
Anadolu	99±3	93±3	1027±11
Balaban Yeşil	60±2	45±1	766±7
Balya Balıkesir Gri	75±1	138±2	1153±11
Giresun Vizon	194±8	155±3	1377±18
İspir Pink	69±2	65±2	1602±16
Kozak Graniti	90±6	73±3	972±13

Çizelge 4.2 Andezit Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg^{-1})		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Ayvacık Andezit	132±3	158±3	1297±13
İscehisar Andezit	80±2	48±3	1387±12
Menemen Andezit	81±3	89±2	953±10
Antalya Diyabaz	9±1	9±1	208±2

İlgili çizelgeler ve şekiller (Şekil 4.1-4.2 ve Çizelge 4.1-4.2) incelendiğinde, bilinen yerli granitlerde saptanan en yüksek ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitesi konsantrasyonunun, sırası ile 194 Bqkg^{-1} ve 158 Bqkg^{-1} olarak *Giresun Vizon* örneğinde ölçüldüğü görülmektedir. Yüzey kayacı olan magmatik kökenli andezit örneklerinde ise ^{226}Ra 'nın $80\text{-}132 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve ^{232}Th aktivitesinin $48\text{-}158 \text{ Bqkg}^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmektedir.

Derinlik kayacı olan *Antalya Diyabaz* örneğinde ise uranyum ve toryum konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir.

Daha önce değinildiği üzere, granit gibi, magmatik kökenli doğal yapı taşlarında ortalama U konsantrasyonu 5 ppm [(~60 Bq/kg); 1ppmU= 12.353 Bqkg⁻¹] ve Th konsantrasyonu 15 ppm [(~60 Bq/kg) ; 1ppmTh= 4.074 Bqkg⁻¹] iken bazik ve ultramafik kayalarda U< 1 ppm'dir (Tzortsiz, 2003). Çalışmada elde edilen bulgular, bu gözlemi destekler niteliktedir. Ayrıca, bu saptama, ultrabazikler içinde damar şeklinde oluşabilecek diyabaz türü kayalarda, düşük konsantrasyonlarda uranyum (U< 1 ppm) ve toryum gözlenmesini açıklar niteliktedir. Kayalardaki potasyumun ana kaynağı potasyum feldspat (Ortoklas-Mikroklin) ve beyaz mika (muskovit ve fengit) mineralleridir. Genelde, asitik magmatik kökenli kayalarda ortalama K içeriği % 4 (% 1K = 309.34 Bqkg⁻¹ ⁴⁰K) olarak rapor edilmektedir (IAEA, 1979). Bu doğrultuda, incelenen granit ve andezit örneklerinde ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun 766 Bqkg⁻¹[(%2.3 K), *Balaban Green*] - 1602 Bqkg⁻¹ [(%5.3 K), *İspir pink*] arasında değiştiği saptanmıştır.

Granit örneklerinin doğal radyonüklit aktivite içeriklerine ilişkin basit istatistik SPSS 11.0 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Andezit ve diyabaz örnekleri sınırlı sayıda olduğundan, istatistik değerlendirme içine alınmamıştır. Granitlerde gözlenen doğal radyonüklit içeriklerinin aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri, standart sapmaları ve aktivite konsantrasyonları değişim katsayısı (% CV) ile birlikte Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Ölçülen aktivite konsantrasyonlarının standart sapmasının, aritmetik ortalamaya bölünmesiyle elde edilen, **aktivite konsantrasyonu değişim katsayısı (CV)**, ortalamanın üzerinde gözlenen konsantrasyonlardaki değişimi % olarak ifade etmektedir.

Çizelge 4.3 Granitlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi

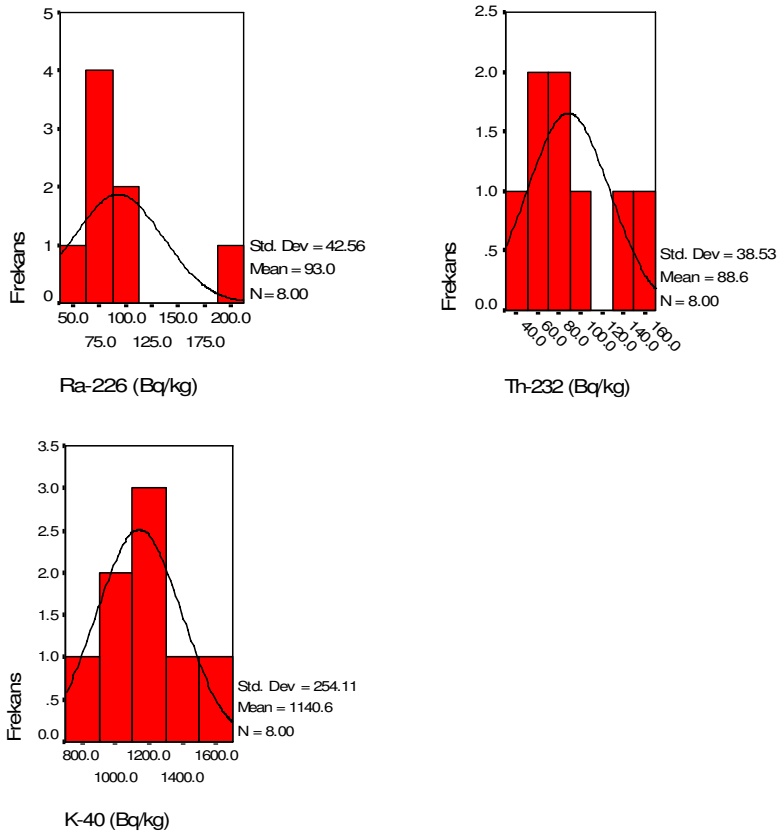
Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)					CV (%)
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Min.Max.	
²²⁶ Ra (eU)*	8	93±3	80	87	43	60-194	46
²³² Th (eTh)*	8	88±3	76	82	39	45-155	44
⁴⁰ K	8	1141±11	1114	1116	254	766-1602	22

* eU ve eTh ; ürün aktivitesi kullanılarak bulunan U ve Th eşdeğer aktiviteleridir.

Çizelge 4.3'den görüleceği üzere, granitlerdeki, uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonlarının ortalamanın üzerindeki değişimleri (CV), % 44-46 arasındadır. Magmatik kayalarda, zirkon ve monozit mineral içeriğine bağlı olarak, doğal radyonüklit içeriğinin değiştiği ve incelenen sınırlı sayıda granit örneğinin farklı blok taş alanlarından sağlandığı düşünülürse, elde edilen sonuçlar şaşırtıcı olmamaktadır. Benzer şekilde, *kayaçlardaki feldspat içeriği ile orantılı olarak artan ⁴⁰K içeriğinin ortalamanın üzerinde % 22 oranında sapması beklentiler doğrultusundadır.*

Bu kapsamlı radyolojik gözlem çalışmasını daha anlamlı kılmak için, granit örneklerinde saptanan ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarına ilişkin frekans dağılımları (Şekil 4.3) elde edilmiş ve bu histogramların normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunluğu tartışılmıştır. Frekans dağılımlarının normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile karşılaştırılmasında Kolmogorov-Smirnov normalite testi yanında kullanılan daha basit bir yöntem, dağılımların aritmetik ortalama, medyan ve geometrik ortalama değerlerinin karşılaştırılmasıdır.

Normal dağılım fonksiyonunda, aritmetik ortalama ile medyan benzer iken, log-normal dağılım fonksiyonunda geometrik ortalama ile medyan birbirine benzer olmaktadır (Blagoeva and Zikovssky, 1995).



Şekil 4.3 Granit örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

Granit örneklerinde saptanan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları dağılımına uygulanan Kolmogorov-Smirnov normalite testi ($\alpha = 0.05$ anlam düzeyinde) ve gözlenen aritmetik ortalama, medyan ve geometrik ortalama değerleri, ^{226}Ra ve ^{232}Th histogramlarının her iki dağılımı da reddettiğini, ^{40}K dağılımının ise normal dağılıma uyduğunu

göstermiştir. Bu dağılımlara göre, granit örneklerinde saptanan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması; ^{226}Ra için $93\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ($e\text{U}= 7.6 \text{ ppm}$), ^{232}Th için $88\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$ ($e\text{Th}= 22\text{ppm}$) ve ^{40}K için $1141\pm 11\text{Bq kg}^{-1}$ ($\% 3.7$)' dir. Bu doğrultuda, granitlerde ürün aktivitesi ölçülerek bulunan $e\text{U}$ ve $e\text{Th}$ konsantrasyonlarının, Clark (Clark et.al., 1966) tarafından verilen uranyum ($e\text{U}= 4.12 \text{ ppm}$) ve toryum ($e\text{Th}= 11.9 \text{ ppm}$) konsantrasyonlarının üzerinde olduğu, K içeriğinin ise Clark (Clark et al., 1966) değeri olan $\% 4$ 'ün altında kaldığı görülmektedir.

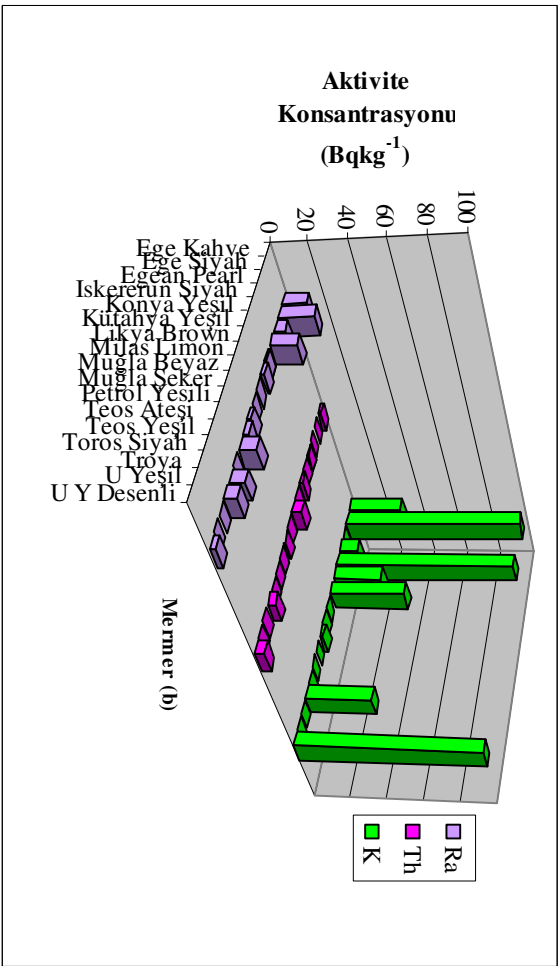
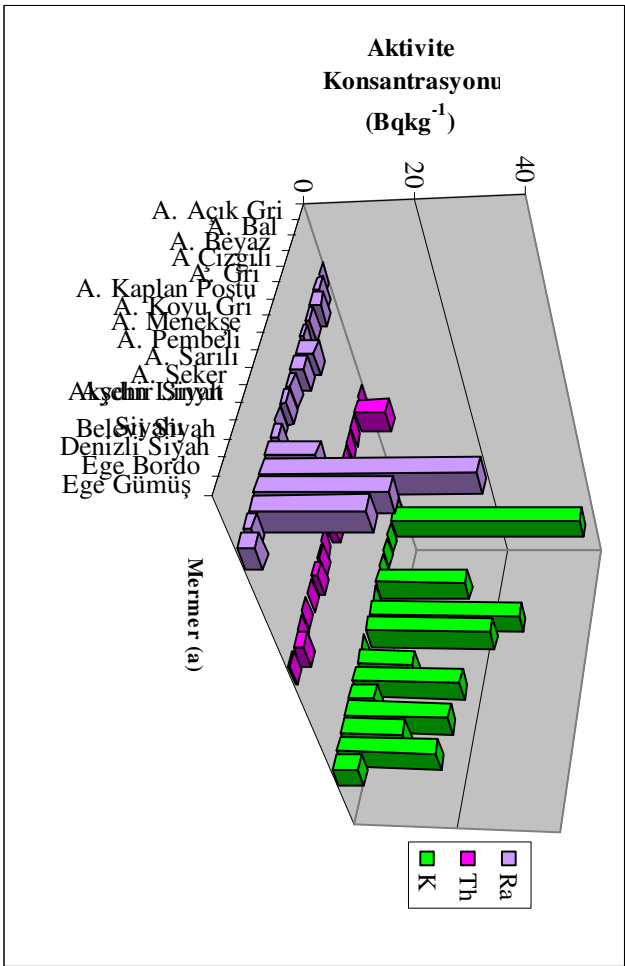
4.1.2 Metamorfik Kökenli (Mermer ve Kayraktaş) Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Karbonat bileşimli, başkalaşım (metamorfizma) aşamasını geçirmiş kristalen dokulu, bilimsel anlamda mermer özelliği taşıyan ve büyük bir kısmı Ege Bölgesinden sağlanan 35 mermer örneğine ilişkin doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

Mermerler: Metamorfik kökenli bir kayacık olan mermerlerde, uranyum ve toryum içerikleri ilksel kayacık olan kireç taşıdaki değerlere bağlı olarak değişmektedir. Kireç taşıda, Clark (IAEA, 1979) değerleri; U için ortalama 2 (1-10) ppm, Th için 2 ppm ve K için $\% 0.3$ 'dür. Bu doğrultuda, çalışma altına alınan 35 mermer örneğinde gözlenen en yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu, Aydın linyit siyahında 37 Bqkg^{-1} ($e\text{U}\sim 3\text{ppm}$) olarak saptanmıştır. Bu örneğin yanı sıra, Uşak yeşil desenlide gözlenen maksimum ^{232}Th aktivitesi, 5 Bqkg^{-1} ($e\text{Th}\sim 1 \text{ ppm}$) ve Ege siyahta ölçülen maksimum ^{40}K aktivitesi, 107 Bqkg^{-1} ($\sim\%0.3$) önceki saptamalar ile örtüşmektedir.

Çizelge 4.4 Mermer Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)		
	Ra	Th	K
Afyon Açık Gri	<0.5	<0.5	<2
Afyon Bal	1.5 ±0.5	3±1	43 ± 5
Afyon Beyaz	2 ±0.2	<0.5	<2
Afyon Çizgili	1± 0.1	<0.5	<2
Afyon Gri	<0.5	<0.5	<2
Afyon Kaplan Postu	3.5 ± 0.5	1±0.1	18±2
Afyon Koyu Gri	2.5 ± 0.5	<0.5	<2
Afyon Menekşe	1.3 ± 0.2	1.5 ± 0.1	30 ±1
Afyon Pembeli	1 ± 0.1	1.5 ± 0.1	25±1
Afyon Sarılı	<0.5	<0.5	<2
Afyon Şeker	1.5 ± 0.5	0.5 ± 0.1	11±1
Akşehir Siyah	9 ±0.5	1 ±0.2	21±1
Aydın Linyit Siyahı	37±1	<0.5	5±1
Belevi Siyah	23±2	<0.5	20 ±1
Denizli Siyah	20 ± 0.5	<0.5	12 ±1
Ege Bordo	15±0.2	2±0.1	19±1
Ege Gümüş	3±0.2	0.5 ± 0.1	5±1
Ege Kahve	13± 0.2	1.5 ± 0.1	30±1
Ege Siyah	19±2	<0.5	170±2
Egean Pearl	6±1	<0.5	<2
İskenderun Siyah	14 ± 50	0.5± 0.1	10±1
Konya Yeşil	<0.5	<0.5	102±7
Kütahya Yeşil	1.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	27±1
Likya Brown	<0.5	<0.5	42±2
Milas Limon	<0.5	5±2	<2
Muğla Beyaz	2±0.5	<0.5	<2
Muğla Şeker	2.5 ± 0.5	0.5 ± 0.1	2± 1
Petrol Yeşili	9±1	<0.5	<2
Teos Ateşi	<0.5	<0.5	<2
Teos Yeşil	<0.5	<0.5	<2
Toros Siyah	<0.5	4±1	<2
Troya	<0.5	<0.5	<2
Uşak Dolamit	<0.5	<0.5	<2
Uşak Yeşil	<0.5	<0.5	<2
Uşak Yeşil Desenli	3 ± 0.5	5 ± 1	101 ± 3

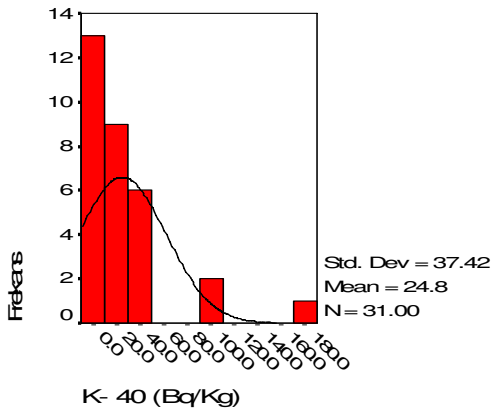
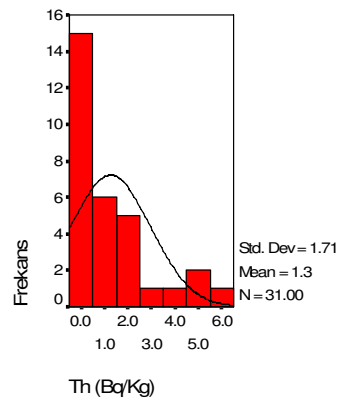
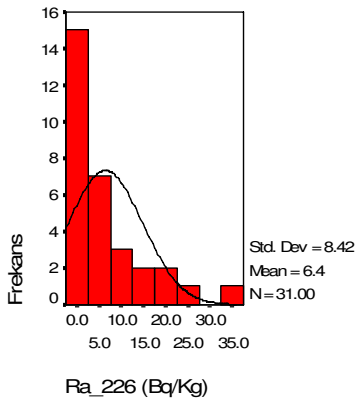


Şekil 4.4 Mermer örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

Mermer örneklerinin içerdiği doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına ilişkin temel istatistik Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Mermerlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi

Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)				
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Min.Max.
²²⁶ Ra (eU)	35	6±1	3	3.6	8.42	0.5-37
²³² Th (eTh)	35	1±0.5	1	1.3	1.71	0.5-6
⁴⁰ K	35	25±1	22	23	37	2-170



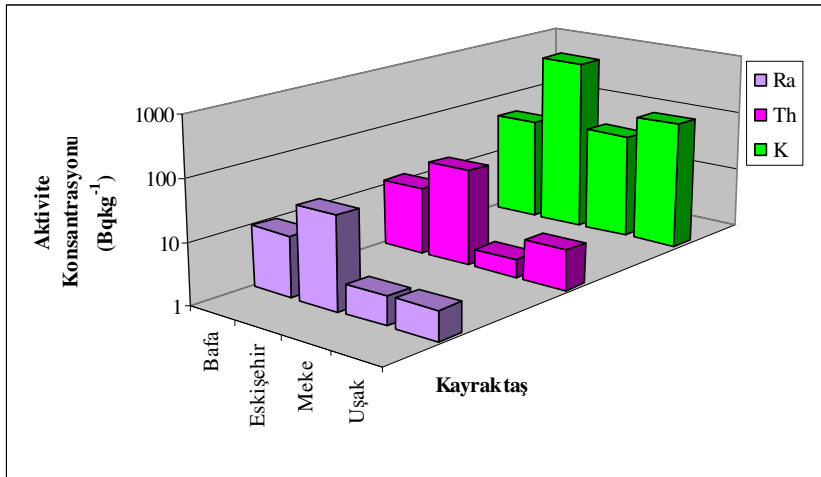
Şekil 4.5 Mermer örneklerinde saptanan ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

Mermer örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımı Şekil 4.5’de verilmiştir. Yapılan Kolmogorov-Smirnov normalite testi ve ilgili çizelgedeki veriler, ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu frekans dağılımının log normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda, ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ortalamasının medyan değeri ile ifade edilmesi önerilmektedir (Blagoeva and Zikovsky, 1995). Diğer radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu frekans dağılımları, normal dağılıma uymaktadır (Şekil 4.5). Bu doğrultuda, mermer örneklerinde saptanan ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ortalaması 3 Bqkg^{-1} (medyan değeri), ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalaması (aritmetik ortalama) ise sırası ile 1 Bqkg^{-1} ve 25 Bqkg^{-1} dir ve Clark değerlerinin altında kalmaktadır.

Kayraktaşlar: Çalışmada incelenen diğer bir metamorfik kayaç türü, halk arasında kayraktaş olarak adlandırılan şistlerdir. Şistlerin mermercilikte kullanılabilmesi için sert olmaları gerekir. Şistlerin sertliği kuvars yani SiO_2 içerikleri ile orantılıdır (Kun.,2000). Kuvars mineralinden dolayı kayraktaşların doğal radyonüklit içeriği, gerçek mermerler göre daha yüksek gözlenmiştir (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6). Kayraktaş örneklerinin sınırlı sayısı istatistiksel değerlendirme yapılmasına izin vermemiştir.

Çizelge 4.6 Kayraktaş Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg^{-1})		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Bafa Kayrak Taş	10 ± 1	1 ± 0.5	48 ± 1
Eskişehir Doğal Taş	33 ± 1	38 ± 1	725 ± 7
Meke Kayrak	3 ± 1	2 ± 0.5	54 ± 1
Uşak Kayrak	3 ± 1	4 ± 1	127 ± 3



Şekil 4.6 Kayraktaş örneklerinde gözlenen ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları .

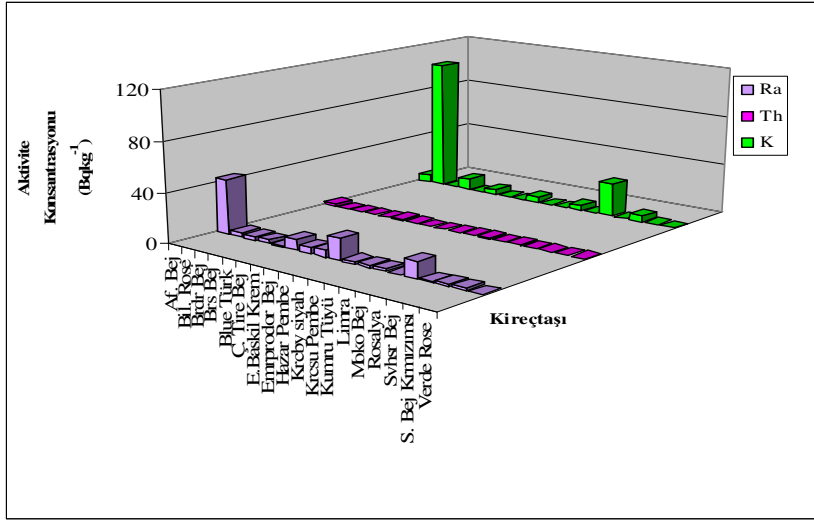
4.1.3 Sedimanter Kökenli (Kireçtaşı ve Traverten) Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Kireçtaşları: Sedimenter kayaların yapısındaki ana bileşen CaCO₃'tür. Bu özelliklerinden dolayı sedimenter kayalar düşük radyoaktivite içermektedirler. Bir önceki bölümde değinildiği üzere, Clark (IAEA, 1979) değerleri; U için ortalama 2 (1-10) ppm, Th için 2 ppm ve K için % 0.3 olarak verilmektedir. Bu doğrultuda, Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7' de görüleceği üzere, kireç taşlarında gözlenen en yüksek ²²⁶Ra ve ²³²Th aktivite konsantrasyonu, *AfyonBej* örneğinde 44 Bqkg⁻¹ (eU~3.6ppm) ve 2 Bqkg⁻¹ (eTh~0.5 ppm) ve maksimum ⁴⁰K aktivitesi *Bursa Bej*, örneğinde 51±2 Bqkg⁻¹ (~ %0.2K) olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.7 Kireçtaşı Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Afyon Bej	44 ±1	2±1	6±1
Bilecik Rose	4±1	<0.5	<2
Başaranlar Bej	<0.5	<0.5	<2
Blue Türk	0.5±0.1	<0.5	<2
Burdur Bej	3 ±1	<0.5	<2
Bursa Bej	3 ±1	<0.5	9±1
Çivril Tire Bej	9 ±1	1 ±0.5	4±1
Elazığ Baskil Krem	5 ±1	<0.5	<2
Elazığ Sunta Dark	<0.5	8±1	51±2
Emrprodor Bej	6±1	<0.5	<2
Hazar Pembe	17 ±1	<0.5	4 ±1
Karacabey Siyah	2±1	<0.5	<2
Karacasu Pembe	2±1	<0.5	<2
Kumru Tüyü	2 ±1	0.5 ±0.1	4±1
Limra	<0.5	<0.5	<2
Moko Bej	13±1	0.5 ±0.1	2±1
Rosalya	1 ±0.5	<0.5	<2
Sivrihisar Bej	2 ±1	<0.5	5 ±1
Sivrihisar Bej (Kırmızımsı)	2±1	<0.5	<2
Verde Rose	<0.5	<0.5	<2

Özetle, inceleme altındaki kireç taşlarının doğal radyonüklit aktivite içerikleri verilen Clark sınırları içinde kalmaktadır.



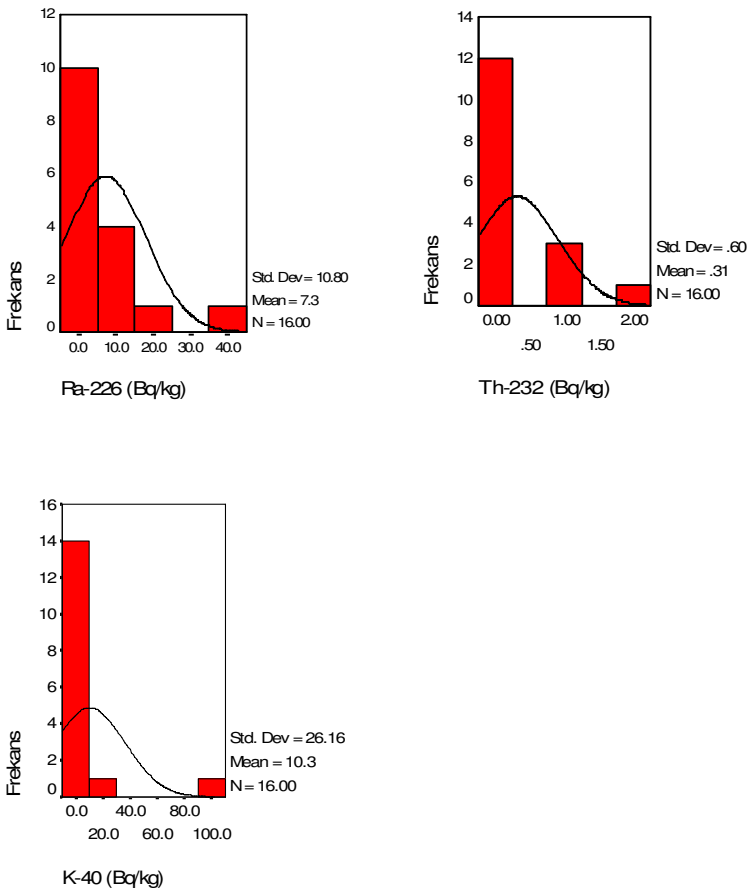
Şekil 4.7 Kireçtaşı örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

Türkiye'deki farklı doğal yapı taşı alanlarından sağlanan 20 kireçtaşında ölçülen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına ilişkin istatistik değerlendirme Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Kireçtaşlarında Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi

Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)				
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Min.Max
^{226}Ra (eU)	20	7±1	3	3.5	11	1-44
^{232}Th (eTh)	20	0.3	1	1.2	0.6	0.5-2
^{40}K	20	10±1	9	9	26	2-51

Yapılan normalite testi ve ilgili çizelgedeki veriler, ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları frekans dağılımının(Şekil 4.9) log-normal dağılıma, ^{40}K histogramının ise normal dağılıma uyduğu göstermiştir. Bu doğrultuda, kireçtaşlarında medyan değerleri ile ifade edilen ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 3 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 1 Bqkg^{-1} 'dir. Normal dağılıma uyan ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması ise 10 Bqkg^{-1} 'dir.



Şekil 4.8 Kireçtaşı örneklerinde saptanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

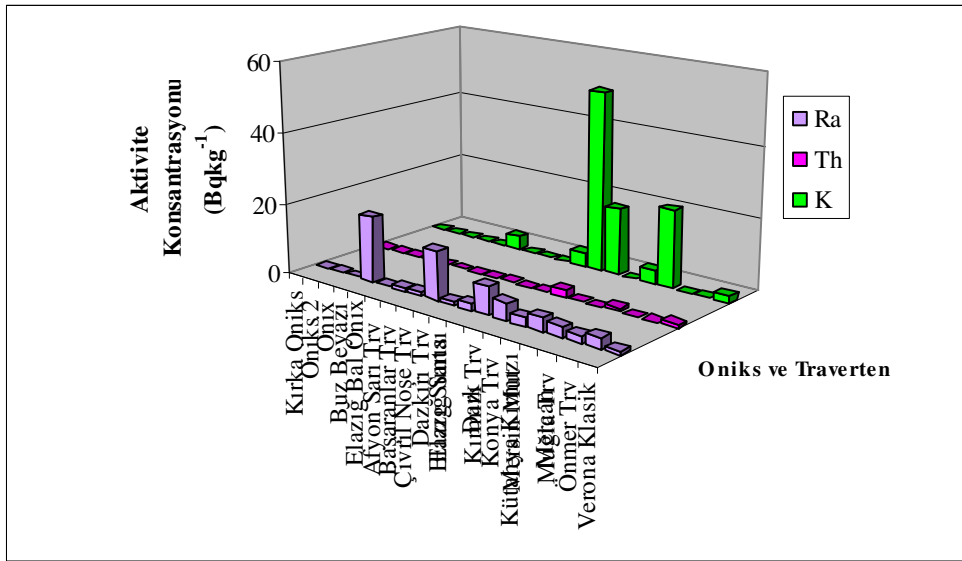
Travertenler ve oniksler :Ülkemizin doğal taş varlıkları arasında yer alan diğer önemli bir grup ise traverten ve oniks yataklarıdır. Soğuk ve sıcak suların çökelleri şeklinde oluşan Kuvaterner yaşlı bu oluşumlara, Doğu ve Kuzey Anadolu fayları ile Ege graben sistemi içinde gelişen kırık hatlarının çevresinde rastlanmaktadır (Yüzer, 2003). Çalışmada incelenen 12 adet traverten ve 4 adet oniks örneğinde saptanan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.9- 4.10 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Traverten ve Oniks Örneklerinde Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Afyon Sarı Trv	1 ±0.2	<0.5	4±1
Başaranlar Trv	1 ±0.1	<0.5	<2
Çivril Noşe Trv	14 ±1	<0.5	<2
Dazkırı Trv	1 ±0.1	<0.5	<2
Elazığ Sarısı	2 ±0.1	<0.5	4±1
Kırmızı Trv	5 ±1	2 ±0.5	19 ±1
Konya Trv	2.5 ±1	<0.5	<2
Kütahya Kırmızı	5 ±1	<0.5	4 ±1
Mersin Mut Mercan	3 ±0.5	1 ±0.1	22±1
Muğla Trv	2 ±0.3	<0.5	<2
Önmer Trv	3 ±0.3	<0.5	<2
Verona Klasik	1 ±0.5	1 ±0.5	2 ±1
Kırka Oniks	<0.5	<0.5	<2
Buz Beyazı	7±1	<0.5	<2
Emirdağ bal onix	<0.5	<0.5	<2
Onix	<0.5	<0.5	<2

Çizelge 4.9 incelendiğinde, çalışma altına alınan traverten ve oniks örneklerinde gözlenen en yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonunun, *Çivril*

Noşe traverteninde 14 Bqkg^{-1} ($eU \sim 1\text{ppm}$) olarak saptandığı görülmektedir. Ayrıca, bu çizelgede çalışılan kayaçlarda ^{232}Th aktivitesinin oldukça düşük konsantrasyonlarda olduğu ($\leq 1 \text{ Bqkg}^{-1}$) ve ^{40}K aktivitesinin 22 Bqkg^{-1} (*Mersin Mut Mercan*)¹ aşmadığı dikkat çekmektedir.



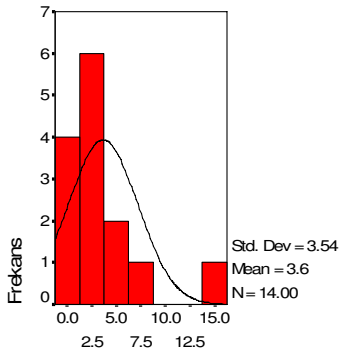
Şekil 4.9 Traverten ve oniks örneklerinde gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

Traverten örneklerinde gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları Şekil 4.10' da verilmiştir. Çizelge 4.10' da verilen aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve medyan değerlerinin benzerliği ve uygulanan Kolmogorov-Smirnov testi, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları dağılımlarının normal olduğunu işaret etmektedir. Bu doğrultuda, travertenlerde aritmetik ortalama ile ifade edilen ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 4 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 1 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 9 Bqkg^{-1} dir.

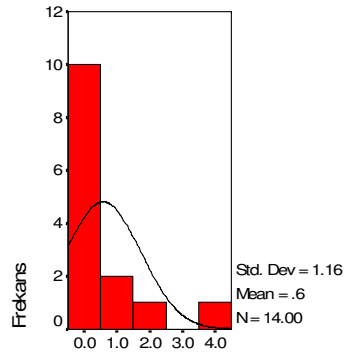
Çizelge 4.10 Travertenlerde Gözlenen Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonlarının İstatistik Analizi

Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)				
		Aritmetik Ortalama	Medyan	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Min.Max.
²²⁶ Ra (eU)	12	4±1	3	3	3.54	1-14
²³² Th (eTh)	12	1±0	1	1.2	1.15	0.5-2
⁴⁰ K	12	9±1	9	9	14.7	2-22

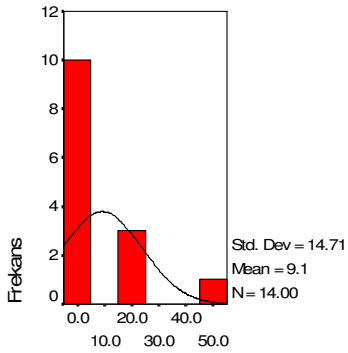
*Sınırlı sayıdaki oniks örnekleri için istatistik analiz yapılmamıştır.



Ra-226 (Bq/kg)



Th-232 (Bq/kg)



K-40 (Bq/kg)

Şekil 4.10 Traverten örneklerinde saptanan ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

4.2 İthal Doğal Yapı Taşlarının Doğal Radyonüklit Aktivite İçeriği

Türkiye doğal taş ithalâtında granit miktarında artış dikkat çekicidir. Yılda ortalama 40 milyon dolar tutarında granit ithal edilmektedir. Granit ithal ettiğimiz başlıca ülkeler İtalya, İspanya, Hollânda ve Güney Afrika'dır (Çetin., 2003). Bu doğrultuda, bina yapım ve dekorasyonunda yaygın kullanımına paralel olarak ithalatımızda önemli yer tutan yabancı doğal yapı taşlarının radyolojik özelliklerinin incelenmesi, çalışmanın kapsamı altına alınmıştır.

Afrikan Red, Afrikan Lilac, Aswan Red, Asway Gray, Azul Platino, Baltık Brown Bianco Refealya, Blue Orissa, Blue Pearl (Belçika) ,Cafeİmperial, Coralmist, Çin Beta, Çin Brown Porrino, Çin Rose Beta, Çin Sarı, Çin Siyah, Giallo Ormantale, Giallo Topazio, Giaollo Fioroti, Green Butterfly, Green Tween, Kinawa(Brezilya) Capao Bonita, Multicolor, Nero Afrika, New Calendonia, Rosa Balmoral(Hollanda), Rosa Gondelo, Rosa Marina, Rosa Minho, Rosso Porrino, Rosa Royal, Rosa Toledo, Rosavell, Santiago Red, Sapphire Blue, Silver White, Star Galaxy, Tan Brown,Upatuba, Tiger Skin, Verde Karzai, Verde Mare, Volga Blue, Wadi Forsan, Wadi Gazhal, White Palmas ve Zinbawe ticari isimleri ile anılan ithal doğal yapı taşlarında gama spektrometrik olarak ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11'de verilmiştir

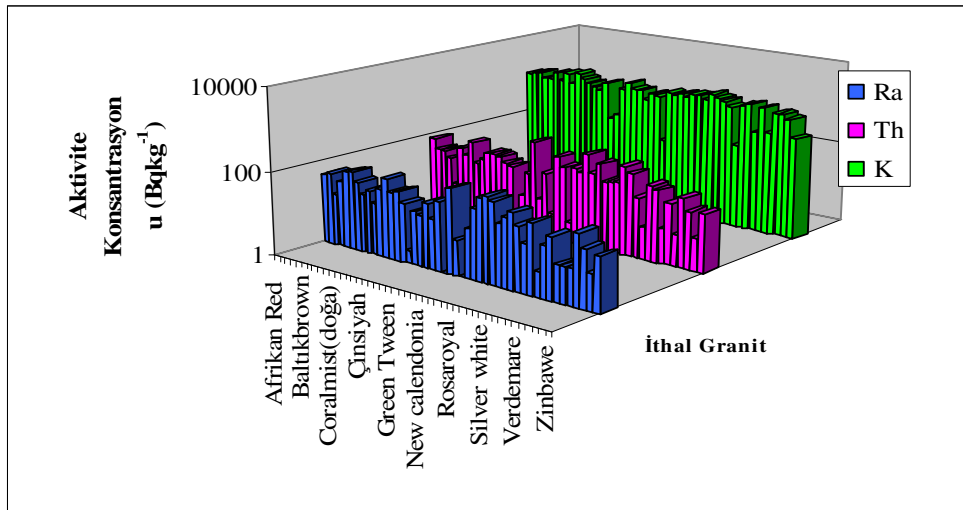
Ülkemizin aksine yabancı ülkelerde, blok verebilen, kesilip parlatılabilen her türlü doğal yapı taşı ticari olarak granit olarak adlandırılmaktadır (Pavlidou et al., 2006).

Çizelge 4.11 İthal Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivite Konsantrasyonları

İthal Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Afrikan Red	46±3	77±3	1042±12
Afrikanlilax	54±3	44±3	1134±11
Aswan Red	17±3	43±3	1189±12
Asway Gray	39±3	30±3	938±20
Azul Platino	69±4	7±1	920±15
Baltıkbrown	74±3	61±3	1370±14
Bianco Refealya	45±3	42±3	911±9
Blue Orissa	24±2	69±3	1505±19
Blue Pearl	32±1	30±1	846±8
Cafe imperial	17±3	40±2	1630±16
Coralmist	40±3	59±3	1234±12
Çin Beta	80±2	61±2	1011±11
Çin Brown Porino	39±3	58±3	856±15
Çin Rosa Beta	44±3	42±2	754±8
Çin Sarı	26±1	37±1	1166±17
Çinsiyah	2±0.5	2±0.5	153±15
Giallo Ormantale	19±1	8±1	197±1
Giallo Topazio	16±2	30±2	996±20
Giaollo Fioreti	34±1	199±1	1503±15
Green Butterfly	16±6	8±2	1064±11
Green Tween	45±3	38±2	1083±20
Kinawa	<0.5	4±1	651±13
Kopa Bonita	101±4	111±3	1002±20
Multicolor*	7±1	65±4	876±9
Nero Afrika	<0.5	3±2	70±7
New Calendonia	15±2	71±3	1202±17
Rosa Gondalo	46±3	40±2	1091±20
Rosa Marina	85±4	174±5	1316±19
Rosa minho	106±4	65±3	1140±23
Rosa porino	86±3	99±2	1369±13
Rosa royal	29±3	47±3	1374±14
Rosa toledo	44±3	49±294	1132±22
Rosavell	61±4	52±3	1660±17
Santiagored	33±2	139±4	1413±14

Çizelge 4.11' devam ediyor.

İthal Doğal Taş	Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bqkg ⁻¹)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Saphire blue	14±3	96±4	1249±12
Silver White	45±1	27±1	951±2
Star Glaxy	4±1	6±1	114±7
Tan Brown	16±3	64±4	1157±22
Tiger Skin	28±3	52±3	1302±13
Upatupa	7±1	35±2	1100±10
Verde Karzai	7±1	7±2	281±2
Verde Lavras	35±2	50±4	995±5
Verde Mare	7±	30±	1195±
Volga Blue	29±2	59±3	306±3
Wadiforsan	46±3	46±3	996±20
Wadigazhal	23±3	24±10	975±20
White Palmas	8±1	6±2	766±12
Wadiforsan	46±3	46±3	996±20
Wadigazhal	23±3	24±10	975±18
White Palmas	7±1	6±3	766±15
Zinbawe	18±1	24±2	287±4



Şekil 4.11 İthal doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit aktivite içeriği.

Bununla birlikte, Çizelge 4.11’de ticari isimleri ile verilen doğal yapı taşlarının büyük bir kısmının radyolojik özellikleri, granit sınıflandırılması altında bir çok çalışmada incelenmiştir (Tzortsiz et al., 2003; Anjos et al., 2005; Pavlidou et al., 2006). Türkiye dışında tüm dünya ülkelerinde bina yapım ve dekorasyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan ve büyük bir pazarı olan bu popüler doğal yapı taşlarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları ile birlikte Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 İthal Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)		
		Ortalama	Standart Sapma	Min.-Max.
²²⁶ Ra	49	51	32	<0.5 -106
²³² Th	49	65	42	2-174
⁴⁰ K	49	1143	404	70-1660

Çizelge 4.11 ve 4.12 incelendiğinde, ithal sert taşlar arasında, saptanan en yüksek ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonunun 106 Bqkg⁻¹ olarak *Rosa minho* örneğinde ölçüldüğü görülmektedir. Ayrıca, *Rosa Marina* örneğinde ²³²Th aktivite konsantrasyonunun 174 Bqkg⁻¹ ve *Rosavell* örneğinde ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun 1660 Bqkg⁻¹ gibi yüksek değerler aldığı gözlenmektedir. İthal sert taşlarla yapılan benzer çalışmalarda gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmak amacıyla Çizelge 4.13’de, verilmiştir.

Çizelge 4.13 Dünyadaki Farklı Ülkelerde Granit Örneklerinde Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Litaratür	Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)		
			Ortalama	Standart Sapma	Min.-Max.
Chen and Lee, 1996	²²⁶ Ra	137	42	35	0.2-160
	²³² Th		73	51	<4 -253
	⁴⁰ K		1055	357	<36 -2355
Tzortzis et al., 2003	²²⁶ Ra	28	75		1-558
	²³² Th		141		1-906
	⁴⁰ K		1173		50-1606
*Anjos et al., 2005	²²⁶ Ra	73	35		5-161
	²³² Th		68		5-448
	⁴⁰ K		1421		185-1978
Pavlidou et al., 2006	²²⁶ Ra	16	64	53	2-170
	²³² Th		81	79	<MDA -354
	⁴⁰ K		1104	407	49-1592

* Bu çalışma sadece Brezilya granitlerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada ve diğer çalışmalarda incelenen ithal taşların kökenleri tartışmaya açık olsa da, Çizelge 4.11- 4.13'den görüleceği üzere bu materyallerde saptanan ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları birbiri ile örtüşmektedir.

4.3 Doğal Yapı Taşlarının Radon Emanasyon Hızının Saptanması

Günümüzde, bina yapım ve dekorasyonunda, diğer malzemelere tercih edilerek yaygın şekilde kullanılan doğal yapı taşlarının radon emanasyon hızının bilinmesi, bina içi ortamda, içsel radyasyona maruz kalmanın tahmin edilmesinde radyolojik risk açısından oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada, 34 adet doğal yapı taşının radon salınım hızı, LR-115 SSNTD dedektör kullanılarak saptanmıştır.

Bina materyallerinden radon salınım hızı, malzemenin içerdiği radyum aktivitesine, gözenekliliğine, yoğunluk ve nem oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu anlamda, doğal yapı taşlarının fiziksel özelliklerinin ve radyoaktivite içeriğinin radon salınımı üzerinde etkili olacağı kaçınılmazdır. Doğal taşların radon emanasyon hızlarının ölçüldüğü çalışmalarda; yüksek radyoaktivite içeren granitlerin bina içi radon konsantrasyonuna önemli miktarlarda katkı yaptığı saptanmıştır. Konuya ilişkin olarak yapılan çalışmalar, doğal yapı taşının içerdiği ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ile radon salınım hızı arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu ve bina materyalindeki radyum içeriğinin yaklaşık % 45'e varan oranda bina içindeki radon konsantrasyonuna katkıda bulunduğunu göstermiştir (Al- Jarallah et al., 2005; Al- Jarallah, 2001; El- Dine et al., 2001; Righi and Bruzzi, 2006).

Bu çalışmada, doğal yapı taşlarının kapalı ortamda oluşturacakları ^{222}Rn konsantrasyonları LR-115 alfa iz dedektörü ile ölçülmüş ve radon salınım (emanasyon) hızları hesaplanarak Çizelge 4.14'de verilmiştir. Ayrıca bu çizelgede, incelenen doğal yapı taşlarının gama spektroskopik olarak saptanan ^{226}Ra aktivitelerine dayalı olarak hesaplanan radon emanasyon kesirleri verilmiştir.

Çizelge 4.14 Doğal Yapı Taşlarının ^{222}Rn Salınım Hızı ve Salınım Kesri

LİTOLOJİ	Doğal Taş	C_{Ra} (Bqkg ⁻¹)	$e(C_{\text{Rn}})^*$ (Bqm ⁻³)	C_{Rn} (Bqm ⁻³)	Salınım Kesri $C_{\text{Rn}} / e(C_{\text{Rn}})^*$	^{222}Rn Salınım Hızı (Bqm ⁻² h ⁻¹)
MAGMATİK	G1	74	720	107	0.14	0.097
	G2	32	311	4	0.01	$3.66 \cdot 10^{-3}$
	G3	34	331	52	0.16	0.046
	G4	19	185	7	0.04	$6.54 \cdot 10^{-3}$
	G5	69	671	101	0.15	0.0913
	G6	106	1031	849	0.82	0.768
	G7	61	594	325	0.55	0.294
	G8	14	136	72	0.53	0.065
	G9	7	68	4	0.06	$3.31 \cdot 10^{-3}$
	G10	35	341	211	0.62	0.190
	G12	7	68	12	0.18	0.010
	G13	18	175	11	0.06	0.1
	METAMORFİK	M1	0.5	0.5	6	0.08
M2		1	10	2.44	0.25	$2.20 \cdot 10^{-3}$
M3		9	88	3.3	0.04	$2.98 \cdot 10^{-3}$
M4		37	360	3.3	0.01	$2.92 \cdot 10^{-3}$
M5		20	195	9	0.05	$7.68 \cdot 10^{-3}$
M6		15	146	70	0.48	0.011
M7		13	126	8	0.06	$7.23 \cdot 10^{-3}$
M8		6	58	0.43	0.01	$3.89 \cdot 10^{-3}$
M9		3.5	34	2.31	0.07	$2.08 \cdot 10^{-3}$
M10		3	29	2	0.07	$1.74 \cdot 10^{-3}$
M11		2	19	2	0.10	$1.56 \cdot 10^{-3}$
M12		6	58	6	0.10	$5.40 \cdot 10^{-3}$
M13		0.5	5	0.7	0.14	$6.32 \cdot 10^{-4}$
SEDİMENTER	T1	2	19	20	0.90	0.018
	T2	2	19	5	0.26	$4.52 \cdot 10^{-3}$
	T4	0.5	5	1	0.21	$9.47 \cdot 10^{-4}$
	T5	3	29	5	0.17	$4.20 \cdot 10^{-3}$
	T6	5	49	11	0.23	$9.78 \cdot 10^{-3}$

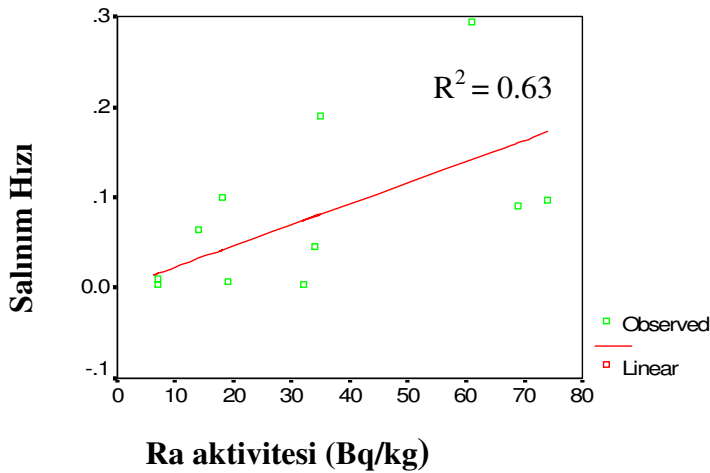
* $e(C_{\text{Rn}})$: materyalin içerdiği ^{226}Ra aktivitesine eşdeğer ^{222}Rn aktivitesidir.

* Radon Salınım Kesri: ölçülen radon konsantrasyonu (C_{Rn}) / tahmin edilen eşdeğer radon konsantrasyonu $e(C_{\text{Rn}})$

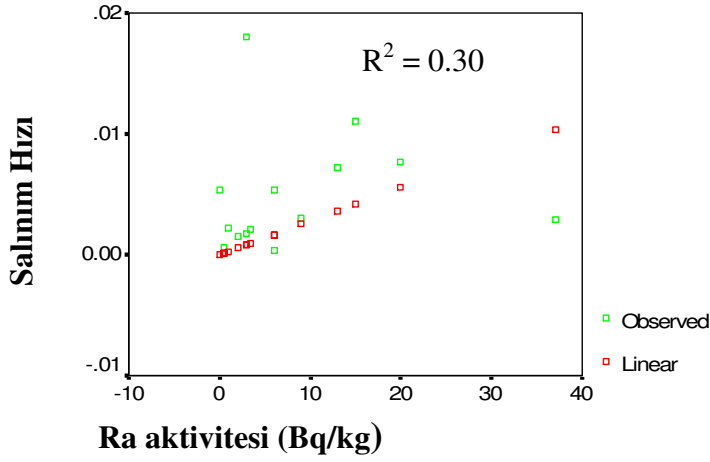
Radon salınım kesri, ölçülen radon konsantrasyonunun (C_{Rn}), incelenen materyallerin içerdiği ^{226}Ra aktivitesine dayalı olarak tahmin edilen (^{226}Ra ve ^{222}Rn arasında radyoaktif denge olduğu varsayılarak) eşdeğer ^{222}Rn aktivitesine [$e(C_{Rn})$] oranı kullanılarak hesaplanmıştır (Al-Jarallah et al., 2005).

Çizelge 4.14 incelendiğinde, bina materyalindeki radyum içeriğinin ortalama % 20 oranında bina içindeki radon konsantrasyonuna katkıda bulunduğu gözlenmektedir. Bu doğrultuda, doğal yapı taşlarının ^{226}Ra aktivite içerikleri ile salınım hızları arasındaki ilişki, basit regrasyon analizi yapılarak incelenmiştir.

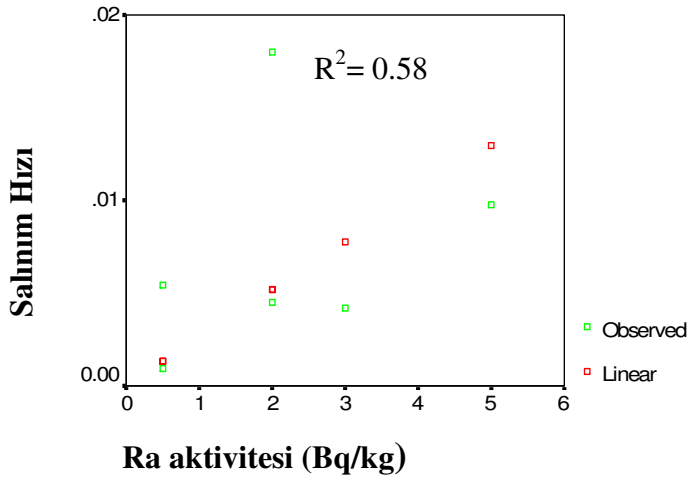
Bu ilişki, doğal taşların kökenleri baz alınarak Şekil 4.12-4.13' de grafik edilmiştir .



Şekil 4.12 Magmatik kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki.



Şekil 4.13 Metamorfik kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki.



Şekil 4.14 Sedimanter kökenli doğal taş örneklerinde ^{222}Rn salınım hızı ve ^{226}Ra aktivitesi arasındaki ilişki.

Doğal yapı taşlarının ^{226}Ra içeriği ile ^{222}Rn salınım hızı arasında istatistiksel ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları (Şekil 4.12 – 4.13), magmatik kökenli doğal yapı taşları için $R^2 = 0.63$, sedimanter kökenli taşlar için $R^2 = 0.52$ ve metamorfik kökenli taşlar için $R^2 = 0.30$ ' dur.

Elde edilen sonuçlar, doğal yapı taşlarında ^{226}Ra içeriği ile ^{222}Rn salınım hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde doğrusal bir ilişkiyi işaret ediyorsa da, zayıf korelasyon katsayıları, radon salınım hızı üzerine materyalin radyoaktivite içeriği yanında, gözeneklilik yoğunluk, ve nem gibi diğer fiziksel faktörlerinde etkili olduğunu göstermektedir.

4.4 Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi

Bina yapım ve dekorasyonunda kullanılan malzemelerdeki radyonüklit içeriği nedeniyle, bina içinde radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır; bunlardan ilki, bina içi ortamda solunan radon gazının neden olduğu içsel maruz kalma, diğeri ise bina materyalinde bulunan radyonüklitlerden yayımlanan γ ışınlarının neden olduğu dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR, 1982; 1988). Bu doğrultuda, bina yapım ve dekorasyonu amacıyla Türkiye'de yaygın şekilde kullanılan granit, mermer, traverten, kireç taşı ve bunun gibi doğal yapı taşlarının radyoaktivite içeriğinin ve radon emanasyon hızının ölçüldüğü bu çalışmada elde edilen sonuçlar, radyolojik risk açısından bina içi ortamda içsel ve dışsal maruz kalma olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

4.4.1 Bina İçi Ortamda İçsel Maruz Kalma İle Oluşan Radyolojik Risk

Bina materyallerindeki radyonüklit içeriği nedeniyle, bina içinde maruz kalınan radyasyon seviyesi için OECD-NEA başta olmak üzere WHO, ICRP, EPA gibi uluslararası kuruluşların insan sağlığını dikkate alarak tavsiye ettiği

radYOlojik risk kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterler , mümkün olabilecek en az radyasyon dozuna maruz kalmayı ifade eden ALARA (As low as reasonably achievable) prensibi dikkate alınarak önerilmektedir.

ICRP, WHO, ICRU, IAEA, OECD-NEA gibi sağlık ve radyo-korunum ve güvenliği alanında yetkili uluslar arası organizasyonlar tarafından tavsiye edilen radyolojik verileri yayınlanan UNSCEAR Raporlarında, (1988; 1993), bina içi radon konsantrasyonuna dayalı olarak, maruz kalınan içsel radyasyon dozu, aşağıdaki dozimetrik ilişki ile verilmektedir.

$$ED(mSvy^{-1}) = C_{Rn} \times 0.4 \times 0.8 \times 9.0 \text{ nSvh}^{-1} / Bqm^3 \times 24 \times 365 \times 10^{-6}$$

Bu eşitlikte; C_{Rn} : Bqm^3 olarak radon konsantrasyonunu, 0.4: radon ve ürünleri arasındaki denge faktörünü, 9.0 $nSvh^{-1} / Bqm^3$:doz dönüşüm katsayısını ve 0.8: bina içinde maruz kalma faktörünü (insanların zamanlarının %80'nini bina içinde geçirdiği varsayılmıştır) göstermektedir (UNSCEAR 2000).

UNSCEAR 1993 Raporunda, radon konsantrasyonu dünya ortalaması 40 Bqm^{-3} olarak verilmektedir. Bu radon konsantrasyonu yukarıdaki eşitlikte yerine konulduğunda bina içi ortamda radona maruz kalma sonucu etkin doz eşdeğeri yılda 1 mSv olarak tahmin edilmektedir.

Herhangi bir materyalin radon salınım hızının bilinmesi, bina içi ortamda, bu materyalden kaynaklanacak radon konsantrasyonu seviyesinin belirlenmesini ve bina içinde içsel maruz kalmayla oluşacak radyolojik zarar indekslerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır (Righi and Bruzzi, 2006).

Bir nceki bölümde, doğal yapı taşlarında radon salınım hızı; granitlerde, 3.31×10^{-3} - $0.768 \text{ Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$; mermerlerde (metamorfik), 1.56×10^{-3} - 0.011 ve travertenlerde (sedimenter), 9.47×10^{-4} - 0.018 olarak saptanmıştı.

Genelde, doğal yapı taşlarında radon salınım hızının ölçüldüğü çalışmalarla (Al- Jarallah et al., 2005; Al- Jarallah, 2001; El- Dine et al., 2001) örtüşen bu sonuçlar kullanılarak, bina içi ortamda radon gazının solunması ile maruz kalınan içsel doz tahmin edilebilmektedir.

Sunulan çalışmada, doğal yapı taşlarında gözlenen en yüksek radon salınım hızı, $0.768 \text{ Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ göz önüne alınarak, yukarıdaki eşitlik yardımıyla UNSCEAR Raporlarında verilen standart oda ($3 \times 3 \times 3 \text{m}$) için dozimetrik hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamada, odanın tamamının aynı materyalden yapıldığı varsayılmış ve bina içi içsel maruz kalma etkin doz eşdeğeri 0.03 mSv olarak bulunmuştur. Bu sonuç, incelen doğal yapı taşlarının bina içi maruz kalmaya katkısının oldukça az olduğunu ve radyolojik risk oluşturmayacak düzeyde olduğunu göstermektedir. Ancak, bina içi ortamda, radon konsantrasyonunu arttıran tek faktörün radyum içeren bina malzemeleri olmadığını, bunun yanı sıra, yapının bağlı bulunduğu tabanın radon geçirgenliği, bina dışındaki havada bulunan radon konsantrasyonunun miktarı, musluk suyu ve havalandırma koşulları gibi faktörlerin bina içindeki radon konsantrasyonunu hızlı şekilde arttırdığını unutmamak gerekir.

4.4.2 Bina İçi Ortamda Dışsal Maruz Kalma İle Oluşan Radyolojik Risk

Bina materyallerinden salınan gama ışınları, bina içi ortamda dışsal radyasyona maruz kalmayı hızlı şekilde arttırmaktadır(UNSCEAR, 1988). Bu doğrultuda, bina içi ortamda, havadaki karasal kaynaklar nedeniyle maruz kalınan dışsal gama dozu ve doza dayalı olarak hesaplanan etkin doz eşdeğeri, aşağıdaki dozimetrik ilişkiler ile verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = 0.0414 A_K + 0.623 A_{\text{Th}} + 0.461 A_{\text{Ra}}$$

Bu eşitlikte; A_K , A_{Th} , ve A_{Ra} sırasıyla bina yapı malzemesinde Bq/kg olarak ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonlarıdır.

$$ED(\text{mSvy}^{-1}) = D(\text{nGyh}^{-1}) \times 0.7 \text{ Sv/Gy}^1 \times 0.8 \times 8760 \text{ saat/yıl} \times 10^{-6}$$

Radyolojik risk açısından, yukarıda verilen dozimetrik kavramların yanı sıra, Bölüm 2.7’de tanımlanan H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri <1 ve $Ra(\text{eq})$ aktivitesinin 370 Bqkg^{-1} geçmemesi istenmektedir (UNSCEAR, 1988;1993).

UNSCEAR 1993 Raporunda, tipik bina materyallerindeki ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları; ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için, sırasıyla 50 Bqkg^{-1} , 50 Bqkg^{-1} ve 500 Bqkg^{-1} olarak verilmektedir. Bu doğrultuda, tipik bina materyali için (doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarını kullanarak) elde edilen, $Ra(\text{eq})$ aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, absorbe edilen karasal gama doz hızı (D) ve etkin doz eşdeğeri (DE), Çizelge 4.15’de, çalışmada incelenen doğal yapı taşlarının radyolojik özelliklerinin değerlendirmek üzere verilmiştir.

Çizelge 4.15 Tipik Bina Materyalinin Radyolojik Özellikleri.

UNSCEAR (1993)	Radyonüklit Aktivitesi (Bqkg^{-1})			$Ra(\text{eq})$ Bqkg^{-1}	Hex	Hin	D nGyh^{-1}	DE μSvy^{-1}
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K					
Tipik Bina Materyali	50	50	500	160	0.43	0.57	80	370

UNSCEAR 1993’de önerilen tipik bina materyalinin bina içi ortamda, oluşturacağı karasal gama dozu 80 nGyh^{-1} olarak tahmin edilmektedir.

Tipik bina materyalleri için önerilen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarına dayalı olarak ($A_{Ra}=50 \text{ Bqkg}^{-1}$, $A_{Th}=50 \text{ Bqkg}^{-1}$ ve $A_K=500 \text{ Bqkg}^{-1}$) herhangi bir bina materyalinin radyonüklit içeriği " C_{Ra} , C_{Th} ve C_K " ve materyalin bina içi kullanım yüzdesine " w_m " bağlı olarak aktivite indeksi (I) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla tanımlanmaktadır (UNSCEAR 1993).

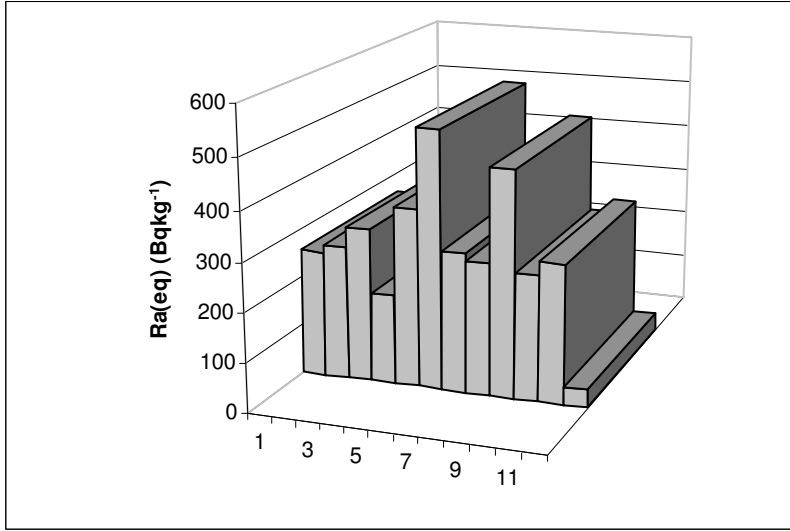
Tipik bina materyali için Aktivite İndeksi (I), 1 kabul edilmekte ve bu durumda, havadaki karasal kaynaklardan alınan etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv'ı aşmayacağı tahmin edilmektedir.

$$I = \left(\frac{C_{Ra}}{A_{Ra}} \cdot 0.461 + \frac{C_{Th}}{A_{Th}} \cdot 0.623 + \frac{C_K}{A_K} \cdot 0.0414 \right) w$$

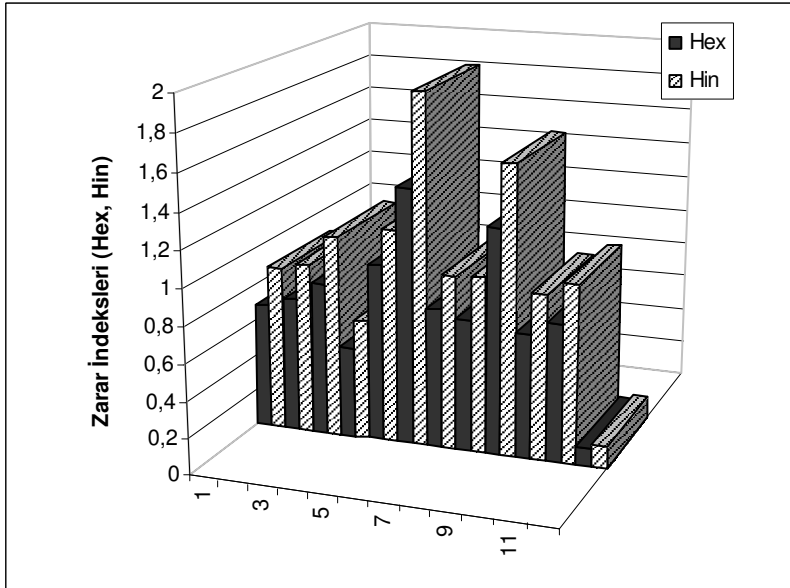
Radyolojik risk açısından, yukarıda tanımlanan aktivite indeksinin $I \leq 1$ olması istenmektedir (UNSCEAR, 1993).

4.4.2.1 Magmatik Kökenli (*Granit, Andezit ve Diyabaz*) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

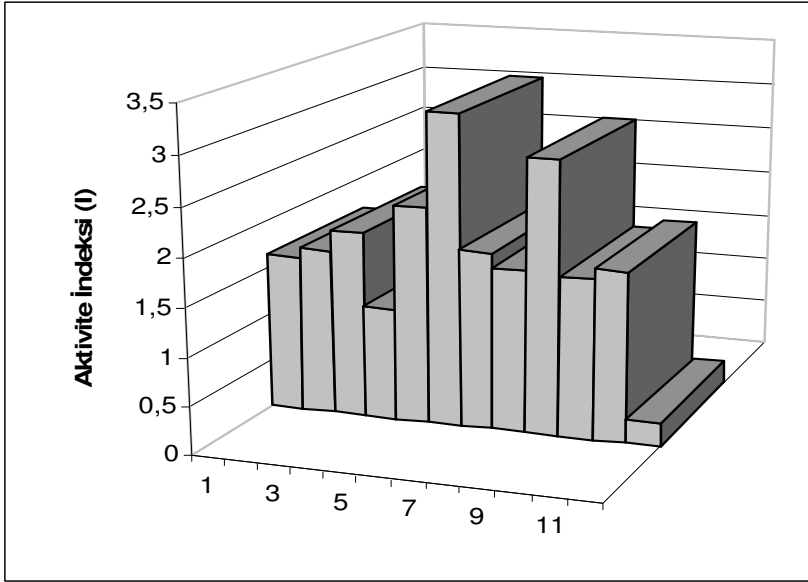
Çalışmada incelenen Türkiye doğal yapı taşları arasında, radyoaktivite içeriği göreceli olarak mermer, kireçtaşı ve traverten gibi taşlarının üzerinde gözlenen granit, andezit ve Antalya diyabaz örnekleri için $Ra(eq)$ aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, karasal kaynaklardan bina içi ortamda absorbe edilen gama doz hızı (D), etkin doz eşdeğeri ve doz eşdeğeri (DE) ve aktivite indeksini (I) gösteren grafikler Şekil 4.15- 4.19' da gösterilmiş ve bu radyolojik özellikler Çizelge 4.16'da özetlenmiştir.



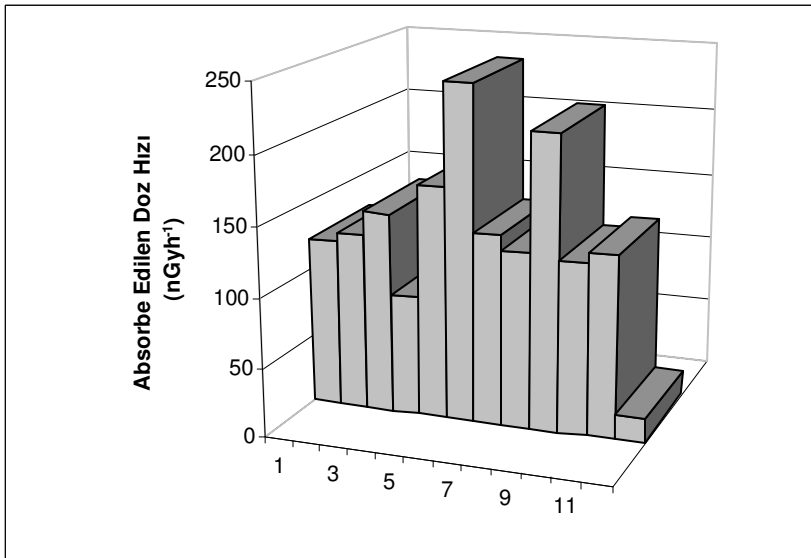
Şekil 4.15 Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının Ra(eq) aktiviteleri.



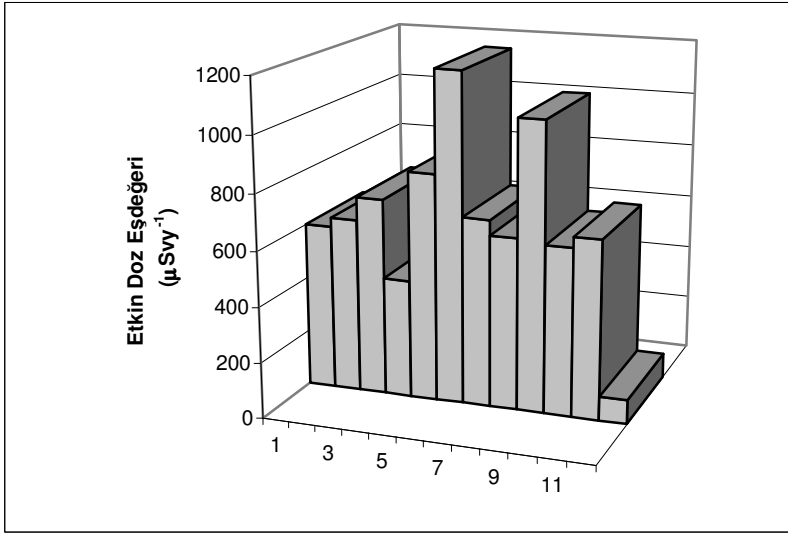
Şekil 4.16 Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri.



Şekil 4.17 Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksi (I).



Şekil 4.18 Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları.



Şekil 4.19 Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri.

Bina içi ortamda granit ve diğer magmatik kökenli doğal yapı taşlarının kullanımından kaynaklanacak radyolojik riskin değerlendirilmesine olanak tanıyan bu radyolojik özellikler, incelenen doğal taşlarda gözlenen radyoelement içeriklerine dayalı olarak hesaplanmıştır.

Bilinen yerli granitlerde saptanan en yüksek ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitesi konsantrasyonu, sırası ile 194 Bqkg^{-1} ve 158 Bqkg^{-1} olarak *Giresun Vizon* örneğinde ve en düşük ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivitesi konsantrasyonu ise, sırası ile 60 Bqkg^{-1} ve 45 Bqkg^{-1} olarak *Balaban Green* örneğinde ölçülmüştür (Çizelge 4.1-4.2). Sözü edilen bu doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K), her bir magmatik kökenli yapı taşı için Çizelge 4.16'ya ilave edilmiştir.

Çizelge 4.16 Magmatik Kökenli (*Granit, Andezit ve Diyabaz*) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

Doğal Taş	Radyonüklit Aktivitesi			Ra(eq) Bqkg ⁻¹	Hex	Hin	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					
Aksaray Pink	75	78	1114	272	0.74	0.94	129	630
Aksaray Yaylak	82	62	1082	256	0.70	0.91	123	600
Anadolu	99	93	1027	311	0.84	1.11	146	720
Balaban Green	60	45	766	183	0.50	0.66	87	430
Balya Balıkesir Gri	75	138	1153	361	0.98	1.18	168	830
Giresun Vizon	194	158	1377	522	1.41	1.93	243	1200
Ispir Pink	69	65	1602	285	0.77	0.96	139	680
Kozak Graniti	90	73	972	269	0.73	0.97	127	620
Ayvacık Andezit	132	158	1297	458	1.24	1.59	213	1044
İscehisar Andezit	80	48	1387	255	0.69	0.91	124	609
Menemen Andezit	81	89	953	282	0.76	0.98	132	648
Antalya Diyabaz	9	9	208	37	0.10	0.12	18	88

Magmatik kökenli (*granit, andezit ve diyabaz*) doğal yapı taşlarının radyolojik özelliklerini veren Şekil 4.15- 4.19 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, granit örneklerinde Ra(eq) aktivitelerinin; 183-522Bqkg⁻¹, H_{ex} zarar indekslerinin; 0.5- 1.41 , ve H_{in} zarar indekslerinin; 0.7- 1.93, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; 87-243 nGyh⁻¹ ve etkin doz eşdeğerlerinin 430-1200μSvy⁻¹ arasında değiştiği gözlenmektedir.

Kayaçların içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerine dayalı olarak hesaplan $\text{Ra}(\text{eq})$ aktivitesi, radyolojik risk kriterleri için gösterge olmakta ve sınır değerleri belirlemektedir. Bu doğrultuda, radyolojik risk kriterlerinin düşük değerlerinin *Balaban Green*, yüksek değerlerinin ise *Giresun Vizon* örneğine ilişkin olduğu açıkça gözlenmektedir.

Genellikle plajiyoklas (andezin cinsi), biyotit, amfibol ve az oranda piroksen ile K-feldspattan oluşan mineral içeriğine sahip olan andezitlerin uranyum ve toryum içermesinin olası nedeni, plajiyoklas gibi ana minerallerinin ve apatitin kristalizasyonu sırasında az miktarda uranyum ve toryum bu minerallerin kafeslerine girebilmesidir. Çalışmada, andezit örneklerinde $\text{Ra}(\text{eq})$ aktivitesinin 255 Bqkg^{-1} (*İscehisar Andezit*) ve 458 Bqkg^{-1} (*Ayvacık Andezit*) arasında değiştiği saptanmıştır. Benzer şekilde, *İscehisar Andezit* ve *Ayvacık Andezit* örneklerinde, H_{ex} zarar indekslerinin; 0.69- 1.24, ve H_{in} zarar indekslerinin; 0.91- 1.59, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; 124-213 nGyh^{-1} ve etkin doz eşdeğerlerinin 609-1044 μSvy^{-1} arasında değiştiği gözlenmektedir.

Magmatik kökenli doğal yapı taşları içinde, en düşük radyolojik risk kriterleri, tek diyabaz örneği olan *Antalya Diyabaz*' da gözlenmiştir.

Radyolojik risk açısından, daha önce sözü edildiği üzere, $\text{Ra}(\text{eq})$ aktivitesinin 370 Bqkg^{-1} 'ı geçmemesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri <1 ve bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv 'ı aşmaması istenmektedir. Bu doğrultuda tanımlanan bir diğer radyolojik risk kavramı, Aktivite İndeksi (I)' dir ve $I \leq 1$ durumunda, etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv 'ı aşmayacağı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.17'de, doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I), materyalin bina içi kullanım yüzdesine " w_m " bağlı olarak verilmiştir.

4.17 Magmatik Kökenli (*Granit, Andezit ve Diyabaz*) Doğal Yapı Taşlarının Aktivite İndeksleri (I)

Doğal Taş	Bina Materyali Kullanım Oranına Bağlı Olarak (%w _m) Aktivite İndeksleri (I)				Absorbe Edilen Gama Doz Hızı (nGyh ⁻¹)	Bina-içi Ortamda Etkin Doz Eşdeğeri (μSvy ⁻¹)
	w _m =1	w _m =0.75	w _m =0.5	w _m =0.25	w _m =0.25	w _m =0.25
Aksaray Pink	1.7	1.3	0.9	0.5	32	158
Aksaray Yaylak	1.6	1.2	0.6	0.3	31	150
Anadolu	1.9	1.4	0.7	0.4	37	180
Balabangreen	1.2	0.9	0.5	0.3	22	108
Balya Balıkesir	2.3	1.7	0.9	0.5	42	209
Giresun Vizon	3.3	2.5	1.3	0.7	61	300
Ispir Pink	1.9	1.4	0.7	0.4	35	170
Kozak graniti	1.7	1.3	0.7	0.4	32	155
Ayvacık Andezit	2.8	2.1	1.0	0.5	53	261
İscehisar Andezit	1.7	1.3	0.7	0.4	31	152
MenemenAndezit	1.8	1.4	0.7	0.4	33	162
Antalya Diyabaz	0.2	0.2	0.1	0.1	5	22

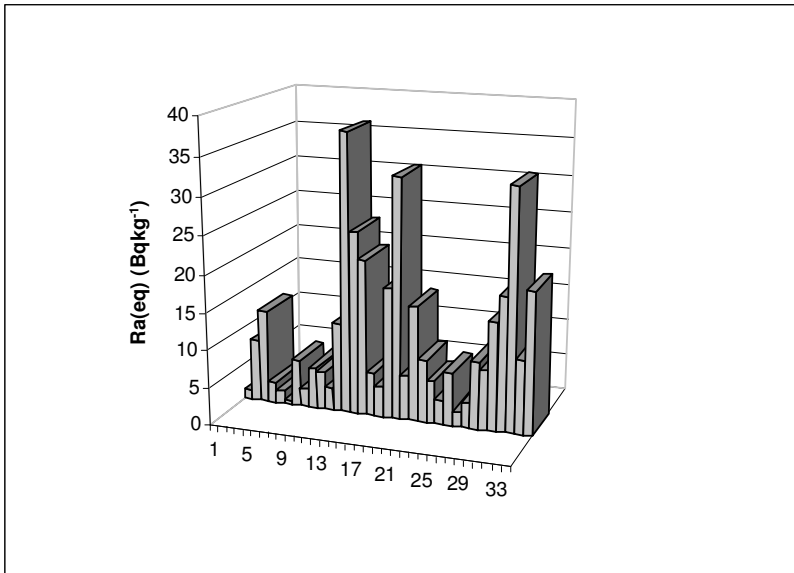
Doğal yapı taşlarının bina içinde kullanım oranı %25'i aşmamaktadır. Bu doğrultuda, bina materyali kullanım yüzdesine bağlı olarak, magmatik kökenli doğal yapı taşları için hesaplanan aktivite indekslerinin; $I < 1$, bina-içi ortamda karasal kaynaklardan absorbe edilen gama doz hızlarının; $D < 80 \text{ nGyh}^{-1}$ ve etkin doz eşdeğerlerinin; $DE < 1 \text{ mSvy}^{-1}$ olduğu ve radyolojik risk kriterlerini aşmadığı gözlenmektedir.

Bu kapsamda verilen andezit ve diyabaz örnekleri, bina içi ortamdaki çok, dış cephe, bahçe dekorasyonu, şömine vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Sonuç olarak, bina yapım ve dekorasyonunda kullanılan Türkiye granitlerinin, bina içi ortamda radyolojik risk oluşturmayacağı açıkça görülmektedir.

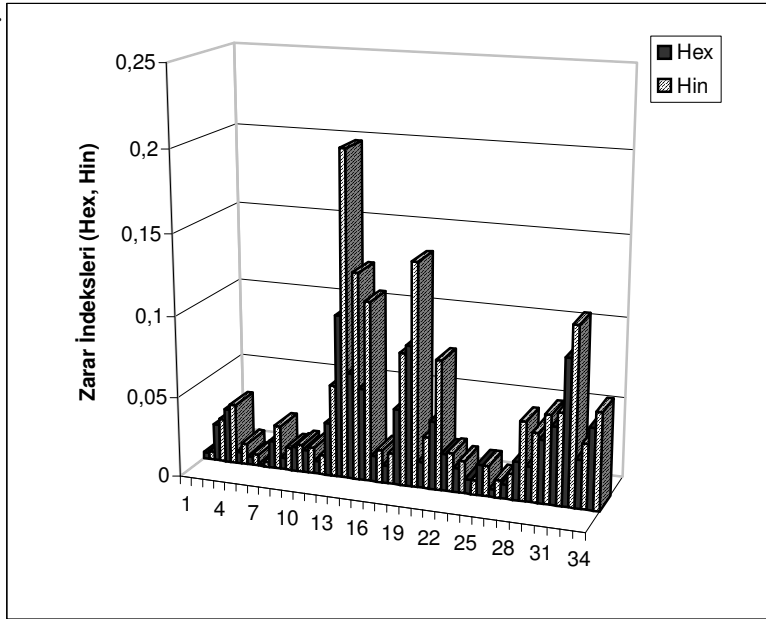
4.4.2.2 Metamorfik Kökenli (Mermer ve Kayraktaş) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

Bilimsel anlamda mermer özelliği taşıyan ve büyük bir kısmı Ege Bölgesinden sağlanan mermer örneklerine ilişkin $Ra(eq)$ aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, karasal kaynaklardan bina içi ortamda absorbe edilen gama doz hızı (D), etkin doz eşdeğeri (DE) ve aktivite indeksini (I) gösteren grafikler Şekil 4.20- 4.24’ de gösterilmiş ve bu radyolojik özellikler Çizelge 4.18’de özetlenmiştir.

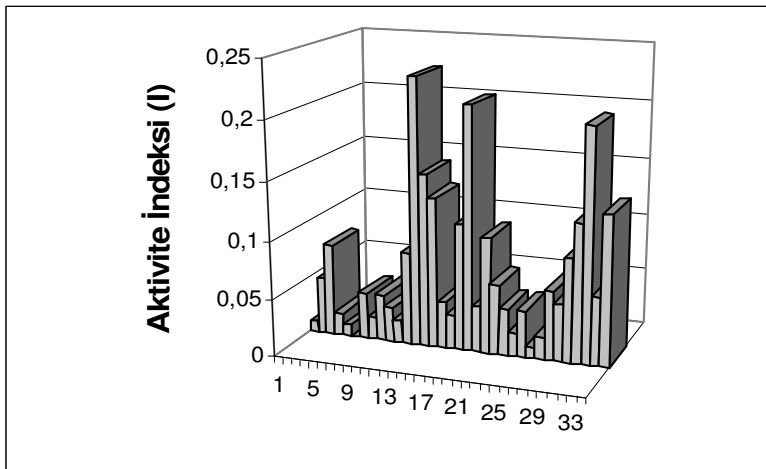
Cilalanarak mermer olarak kullanılan şistler mermercilik deyiimiyle “kayraktaş” olarak isimlendirilmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada incelenen 4 farklı kayraktaşın radyolojik özellikleri Çizelge 4.18’e ilave edilmiş, ancak grafik edilmemiştir. Genelde, bina içi ortamda yapı malzemesi olarak değerlendirilmeyen kayraktaşlar, dekoratif olarak park, bahçe ve çok yıldızlı yapılarda havuz kenarı, yürüme yolları gibi görsel güzellik ve tabii görüntü aranan mekanlarda kullanılmaktadır.



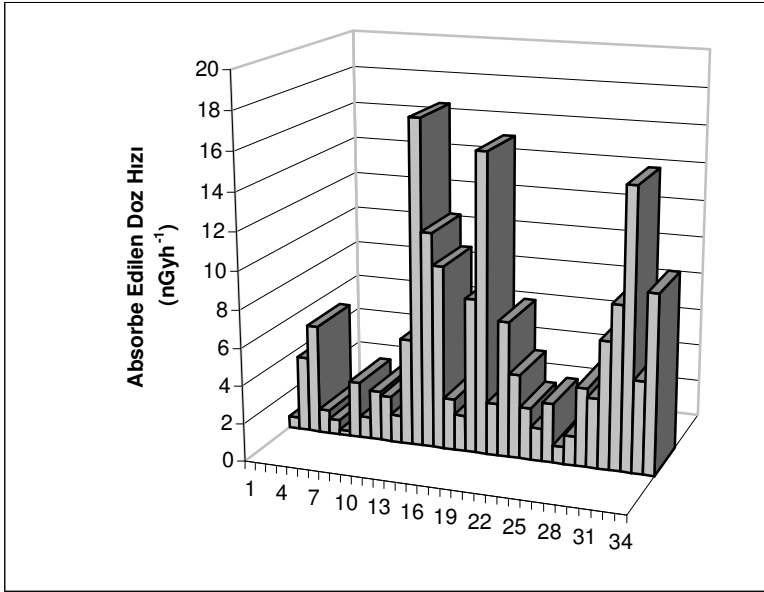
Şekil 4.20 Doğal yapı taşı mermerlerin $Ra(eq)$ aktiviteleri



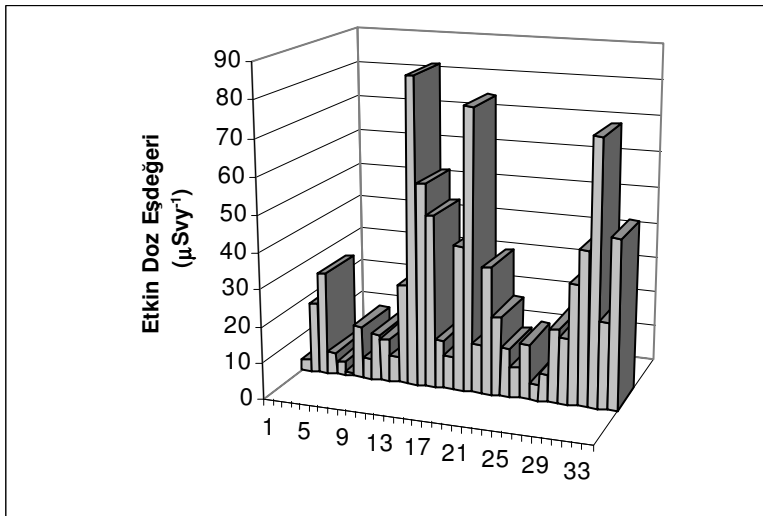
Şekil 4.21 Doğal yapı taşı mermerlerin H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri.



Şekil 4. 22 Doğal yapı taşı mermerlerin Aktivite İndeksleri (I).



Şekil 4.23 Doğal yapı taşı mermerlerin karasal gama doz hızları.



Şekil 4.24 Doğal yapı taşı mermerlerin etkin doz eşdeğerleri.

Çizelge 4.18 Metamorfik Kökenli (*Mermer ve Kayraktaş*) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

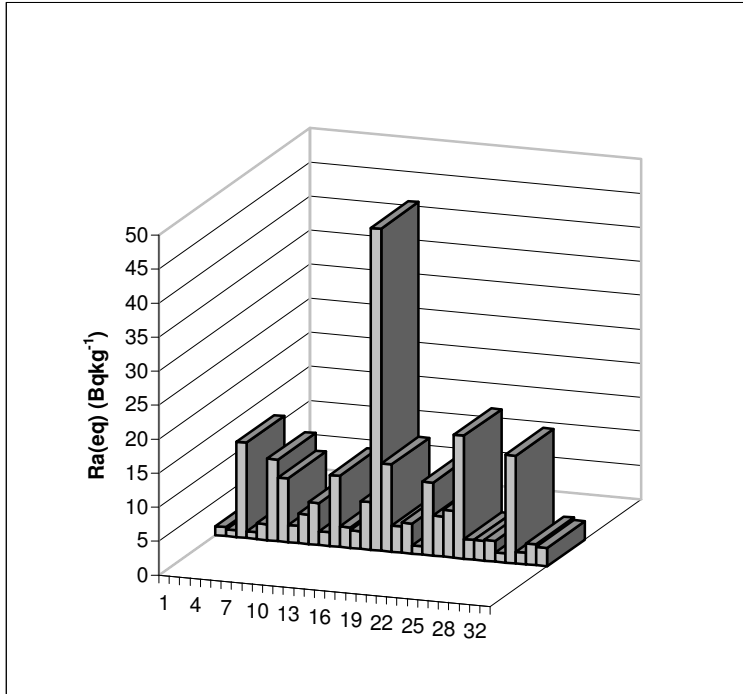
Doğal Taş	Ra (eq) Bqkg ⁻¹	H _{ex}	H _{in}	I	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
Afyon Açık Gri	1	0.004	0.005	0.01	1	3
Afyon Bal	8	0.023	0.027	0.05	4	20
Afyon Bal	13	0.034	0.037	0.08	6	29
Afyon Beyaz	3	0.007	0.013	0.01	1	6
Afyon Çizgili	2	0.005	0.007	0.01	1	4
Afyon Gri	1	0.001	0.003	0.01	1	1
Afyon Kaplan Postu	6	0.017	0.027	0.04	3	15
Afyon Koyu Gri	3	0.007	0.014	0.01	1	6
Afyon Menekşe	5	0.015	0.017	0.04	3	13
Afyon Pembeli	5	0.014	0.016	0.03	2	12
Afyon Şeker	3	0.008	0.012	0.01	1	7
Akşehir Siyah	12	0.033	0.057	0.08	6	28
Aydın Linyit Siyahı	37	0.101	0.201	0.23	17	85
Belevi Siyah	25	0.066	0.128	0.15	11	56
Denizli Siyah	21	0.057	0.111	0.13	10	48
Ege Bordo	6	0.016	0.02	0.04	3	13
Ege Gümüş	4	0.011	0.019	0.03	2	9
Ege Kahve	17	0.047	0.082	0.11	8	40
Ege Siyah	32	0.087	0.138	0.22	16	77
Egean Pearl	6	0.016	0.032	0.04	3	14
Iskererun Siyah	15	0.042	0.08	0.09	7	35
Konya Yeşil	8	0.023	0.024	0.05	4	22
Kütahya Yeşil	6	0.015	0.02	0.04	3	13
Likya Brown	3	0.009	0.009	0.03	2	9
Milas Limon	7	0.019	0.019	0.04	3	15
Muğla Beyaz	2	0.005	0.011	0.01	1	5
Muğla Şeker	3	0.009	0.016	0.03	2	8
Petrol Yesili	9	0.024	0.049	0.05	4	20
Teos Yeşil	8	0.022	0.043	0.05	4	18
Toros Siyah	14	0.039	0.055	0.09	7	33
Uşak Yeşil Desenli	18	0.048	0.057	0.12	9	43
*Bafa Kayrak Taş	15	0.042	0.07	0.09	7	35
*Eskişehir DoğalTaş	143	0.39	0.48	0.92	69	338
*Meke Kayrak	10	0.03	0.04	0.05	4	17
*Uşak Kayrak	19	0.95	0.06	0.12	9	45

* Kayraktaş grubunu göstermektedir.

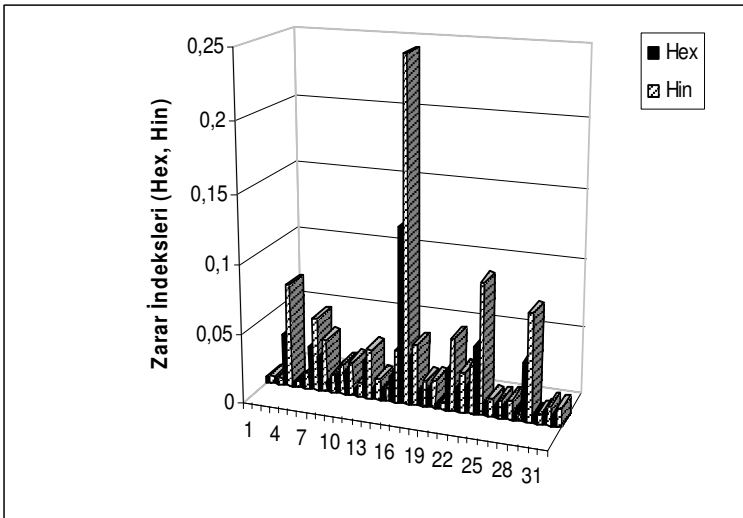
Metamorfik kökenli mermerlerin radyolojik özelliklerini veren Şekil 4.20-4.24 ve Çizelge 4.18 incelendiğinde, mermer örneklerinde en yüksek Ra(eq) aktivitesinin *Aydın linyit siyahında* 37 Bqkg^{-1} olarak saptandığı ve zarar indeksleri; $H_{\text{ex}} \leq 0.1$ ve $H_{\text{in}} \leq 0.2$, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; $D \leq 17 \text{ nGyh}^{-1}$, aktivite indekslerinin $I \leq 0.23$, ve etkin doz eşdeğerlerinin; $DE \leq 85 \mu\text{Svy}^{-1}$ olduğu ve bu değerlerin radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu açıkça gözlenmektedir.

4.4.2.3 Sedimanter Kökenli (*Kireçtaşı, Traverten ve Oniks*) Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

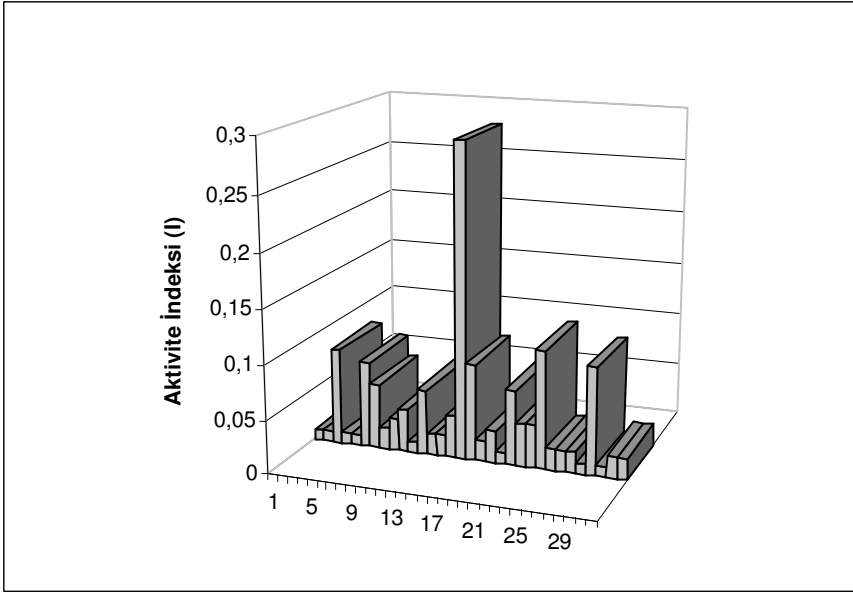
Yapılan çalışmada, sedimanter kökenli yapı taşlarının doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.7 ve 4.9). Bu doğrultuda, sedimanter kökenli doğal yapı taşlarında gözlenen en yüksek ^{226}Ra , ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonu, kireçtaşı olan *Afyon Bej* örneğinde 44 Bqkg^{-1} ve 2 Bqkg^{-1} olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, çalışma altına alınan *Bursa Bej* kireçtaşında en yüksek ^{40}K aktivitesi $51 \pm 2 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak saptanmıştır. İnceleme altındaki bu kireçtaşı, traverten ve oniks örneklerinin içerdiği radyoelement konsantrasyonlarına dayalı olarak saptanan radyolojik risk kriterleri; Ra(eq) aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, karasal kaynaklardan bina içi ortamda absorbe edilen gama doz hızı (D), etkin doz eşdeğeri (DE) ve aktivite indeksi (I) Şekil 4.25- 4.29' da birlikte grafik edilmiş ve bu radyolojik özellikler her bir taş grubu için Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'de özetlenmiştir.



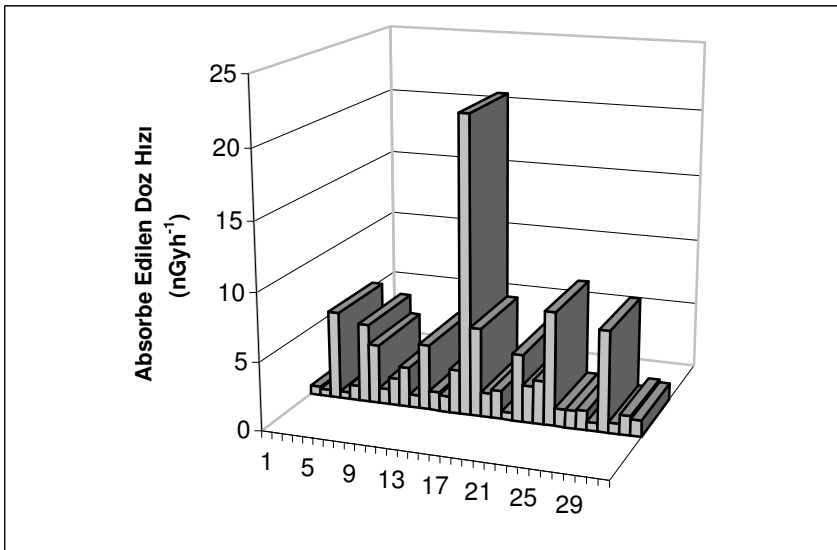
Şekil 4.25 Sedimanter kökenli (*kireçtaşı, traverten ve oniks*) doğal yapı taşlarının Ra(eq) aktiviteleri.



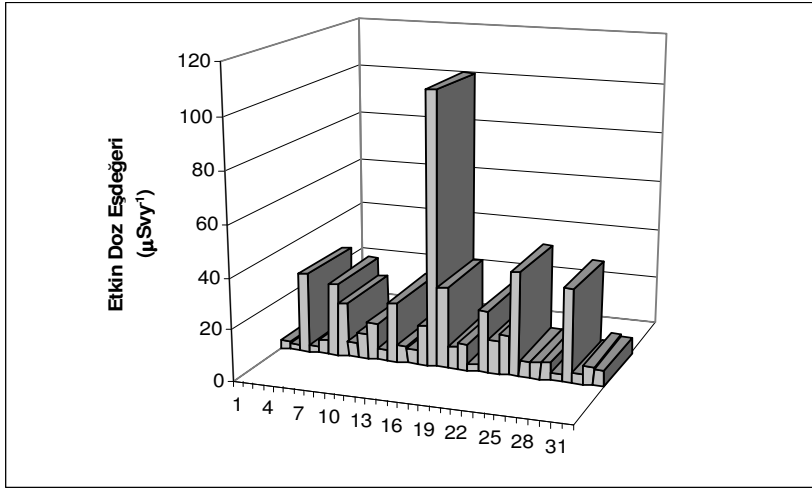
Şekil 4.26 Sedimanter kökenli (*kireçtaşı, traverten ve oniks*) doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri.



Şekil 4.27 Sedimanter kökenli (*kireçtaşı, traverten ve oniks*) doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I).



Şekil 4.28 Sedimanter kökenli (*kireçtaşı, traverten ve oniks*) doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları.



Şekil 4. 29 Sedimanter kökenli (*kireçtaşı, traverten ve oniks*) doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri.

Çizelge 4.19 Traverten ve Oniks Örneklerinin Radyolojik Özellikleri

Doğal Taş	Ra (Eq) Bqkg ⁻¹	H _{ex}	H _{in}	I	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
Afyon Sarı Trv	1	0.004	0.006	0.01	1	3
Başaranlar Trv	1	0.003	0.005	0.01	1	2
Çivril Noşe Trv	14	0.04	0.08	0.08	6	32
Dazkırı Trv	1	0.003	0.005	0.01	1	2
Elazığ Sarısı	2	0.006	0.01	0.01	1	5
Elazığ Sunta Dark	12	0.03	0.05	0.08	6	28
Kırmızı Trv	9	0.03	0.04	0.05	4	21
Konya Trv	3	0.007	0.01	0.01	1	6
Kütahya Kırmızı	4	0.01	0.02	0.03	2	10
Mersin Mut Mercan	6	0.02	0.03	0.04	3	14
Muğla Trv	2	0.005	0.01	0.01	1	5
Osmaniye Kırmızı	10	0.03	0.04	0.07	5	23
Önmer Trv	3	0.008	0.02	0.01	1	7
Verona Klasik	3	0.007	0.01	0.01	1	6

Çizelge 4.20 Kireçtaşı Örneklerinin Radyolojik Özellikleri

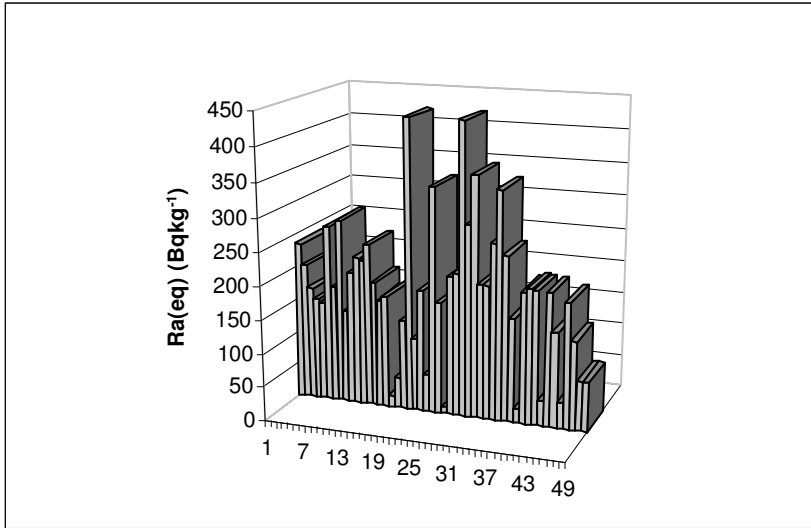
Doğal Taş	Ra (Eq) Bqkg ⁻¹	H _{ex}	H _{in}	I	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
Afyon Bej	47	0.13	0.25	0.29	22	107
Bilecik Rose	13	0.04	0.05	0.09	7	32
Burdur Bej	4	0.01	0.02	0.03	2	9
Bursa Bej	4	0.01	0.02	0.03	2	10
Blue Türk	1	0.003	0.005	0.01	1	3
Çivril Tire Bej	11	0.03	0.05	0.07	5	24
Elazığ Baskil Krem	6	0.02	0.03	0.03	2	13
Emrprodor Bej	7	0.02	0.04	0.04	3	16
Hazar Pembe	18	0.02	0.01	0.11	8	41
Karacabey siyah	3	0.01	0.01	0.01	1	6
Karacasu Pembe	3	0.01	0.01	0.01	1	6
Kumru Tüyü	3	0.001	0.01	0.01	1	7
Limra	1	0.004	0.01	0.01	1	3
Moko Bej	16	0.1	0.078	0.09	7	36
Rosalya	2	0.01	0.01	0.01	1	4
Sivrihisar Bej	3	0.01	0.01	0.01	1	7
Sivrihisar Bej Kırmızımsı	3	0.01	0.01	0.01	1	6
Verde Rose	1	0.002	0.002	0.01	1	2

Sedimanter kökenli doğal yapı taşlarının radyolojik risk açısından değerlendirilmesini sağlayan şekiller ve çizelgeler incelendiğinde, bu doğal taş grubunda, Ra(eq) aktivitesinin 370 Bqkg⁻¹'i geçmediği, H_{ex} ve H_{in} zarar indekslerinin <1 olduğu ve bina içi ortamda karasal kaynaklardan maruz kalınan etkin doz eşdeğerinin <1mSvy⁻¹'in çok altında kaldığı gözlenmektedir. Bu doğrultuda travertenlerde ve bu grup içinde yer alan sınırlı sayıda oniks örneğinde, Ra(eq) aktivitesinin ≤14 Bqkg⁻¹ olarak saptandığı ve zarar indeksleri; H_{ex} ≤0.04 ve H_{in} ≤0.08, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; D≤6 nGyh⁻¹, aktivite indekslerinin I≤0.08, ve etkin doz eşdeğerlerinin; DE≤32μSvy⁻¹ olduğu ve bu değerlerin radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu gözlenmektedir. Benzer şekilde, kireçtaşlarında, Ra(eq) aktivitesinin 1-47 Bqkg⁻¹, H_{ex} zarar indeksinin 0.002

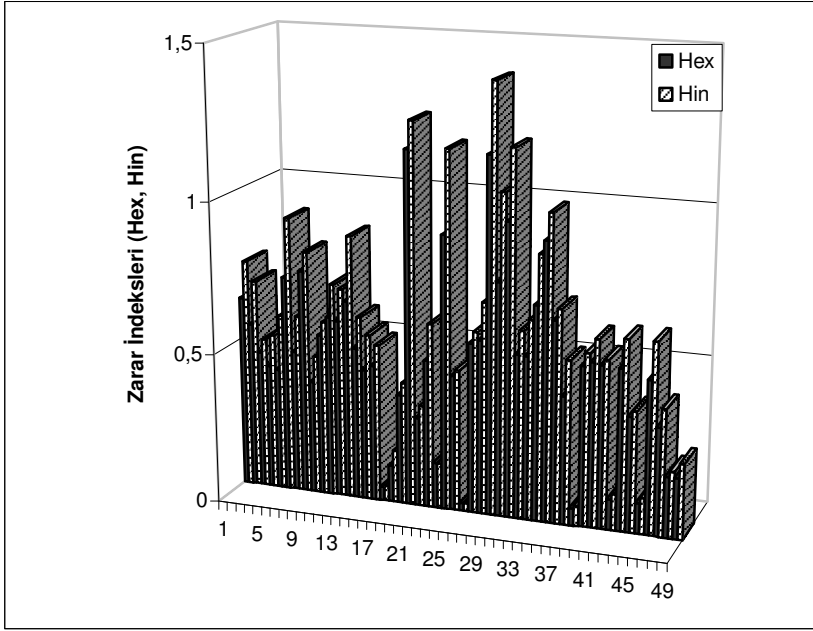
-0.13, H_{in} zarar indeksinin 0.002 -0.25, bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan gama doz hızının 1-22. $nGyh^{-1}$, aktivite indekslerinin(I) 0.01-0.29 ve etkin doz eşdeğerlerinin 2-107 $\mu Sv y^{-1}$ arasında değiştiği ve bu değerlerin radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu açıkça görülmektedir.

4.4.2. 4 İthal Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

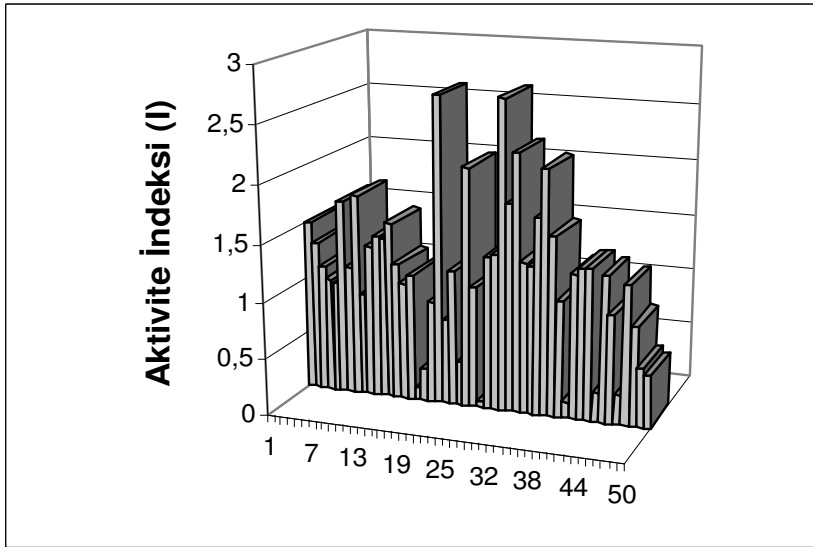
Bu çalışmada, farklı kökenli Türkiye doğal yapı taşlarının yanı sıra, ithal doğal yapı taşları da radyolojik risk açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olan bu girişim, ithal doğal yapı taşları için radyolojik veri tabanının oluşturulmasını sağlamıştır. Bu doğrultuda, söz konusu sert taşların $Ra(eq)$ aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, absorbe edilen karasal gama doz hızı (D), etkin doz eşdeğerini ve aktivite indeksini(I) kapsayan radyolojik özellikler Çizelge 4.21’de verilmiş ve grafik edilerek Şekil 4.30-4.34’de detaylandırılmıştır.



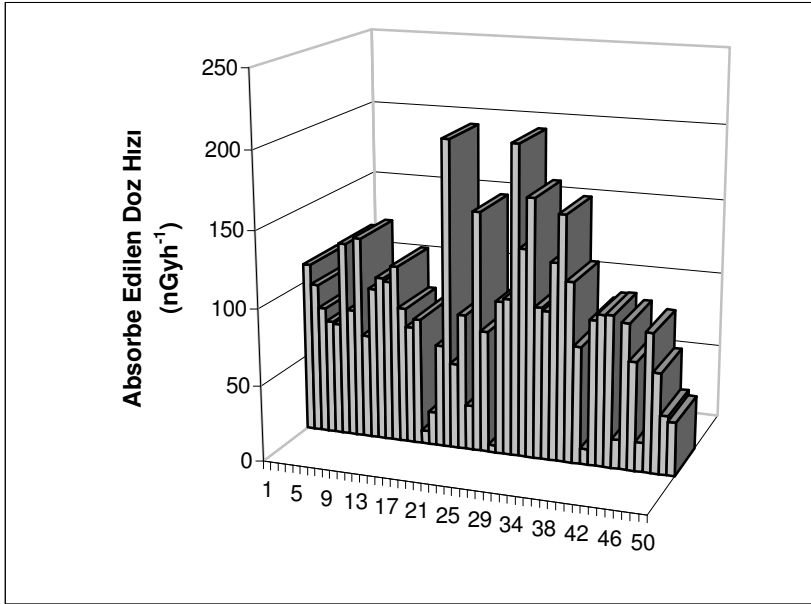
Şekil 4.30 İthal doğal yapı taşlarının $Ra(eq)$ aktiviteleri



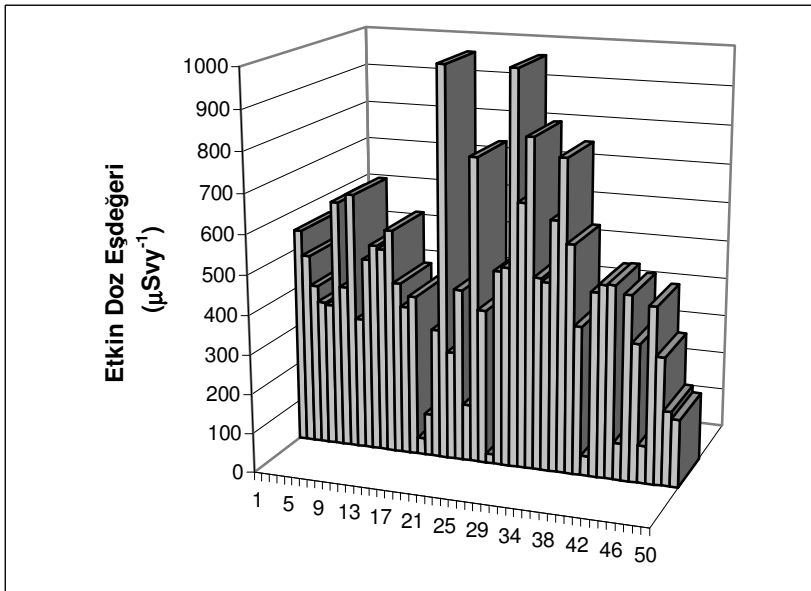
Şekil 4.31 İthal doğal yapı taşlarının H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri.



Şekil 4.32 İthal doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I).



Şekil 4.33 İthal doğal yapı taşlarının karasal gama doz hızları.



Şekil 4.34 İthal doğal yapı taşlarının etkin doz eşdeğerleri.

Çizelge 4.21 İthal Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

Doğal Taş	Ra (Eq) Bqkg ⁻¹	H _{ex}	H _{in}	I	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
Afrikan Red	236	0.6	0.8	1.49	112	551
Afrikan Lilax	204	0.6	0.7	1.32	99	487
Aswan Red	170	0.4	0.5	1.12	84	411
Asway Gray	154	0.4	0.5	1.01	76	370
Azul Platino	150	0.4	0.6	0.99	74	364
Baltıkbrown	267	0.7	0.9	1.72	129	632
Bianco Refealya	175	0.5	0.6	1.13	85	415
Blue Orissa	277	0.7	0.8	1.77	133	653
Blue Pearl	140	0.4	0.5	0.91	68	336
Cafeimperial	200	0.5	0.6	1.33	100	492
Coralmist(Silkar)	219	0.6	0.7	1.41	106	521
Çin Beta	245	0.7	0.9	1.56	117	573
Çin Brown Porino	188	0.5	0.6	1.20	90	439
Çinrose Beta	162	0.4	0.6	1.04	78	381
Çin Sarı	169	0.5	0.5	1.11	83	409
Çinsiyah	17	0.05	0.1	0.12	9	42
Giallo Ormantale	46	0.1	0.2	0.29	22	107
Giallo Topazio	136	0.4	0.4	0.89	67	330
Giaollo Fioroti	434	1.2	1.3	2.69	202	990
Green Butterfly	109	0.3	0.3	0.75	56	277
Green Tween	183	0.5	0.6	1.19	89	438
Kniwa	56	0.2	0.2	0.39	29	144
Kopa Bonita	337	0.9	1.2	2.09	157	771
Multicolor	167	0.5	0.5	1.07	80	392
Neroafrika	10	0.05	0.0	0.07	5	23
New Calendonia	209	0.6	0.6	1.35	101	495
Rosa Gondelo	214	0.6	0.7	1.37	103	506
Rosa Marina	435	1.2	1.4	2.69	202	991
Rosaminho	287	0.8	1.1	1.83	137	670
Rosaporino	359	1.0	1.2	2.25	169	830
Rosaroyal	202	0.5	0.6	1.33	100	488
Rosatoledo	201	0.5	0.7	1.49	98	479
Rosavel	263	0.7	0.9	1.32	129	634
Santiagored	341	0.9	1.0	1.12	160	786
Saphireblue	247	0.7	0.7	1.01	118	579
Silver White	157	0.4	0.5	0.99	77	377
Star Galaxy	21	0.1	0.1	1.72	10	51
Tan Brown	197	0.5	0.6	1.13	95	467

Çizelge 4.21 devam ediyor.

Doğal Taş	Ra (Eq) Bqkg ⁻¹	H _{ex}	H _{in}	I	D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
Upatupa	200	0.5	0.6	0.91	100	489
Verde Karzai	39	0.1	0.1	1.33	19	94
Verde Lavras	199	0.5	0.6	1.41	96	469
Verde Mare	142	0.4	0.4	1.56	71	350
Volga Blue	39	0.1	0.1	1.20	19	95
Wadiforsan	188	0.5	0.6	1.04	91	447
Wadigazhal	132	0.4	0.4	1.11	66	323
White Palmas	75	0.2	0.2	0.12	39	190
Zinbawe	74	0.2	0.3	0.29	35	172

Bina yapım ve dekorasyonunda yaygın kullanımına paralel olarak ithalatımızda önemli bir yer tutan yabancı doğal yapı taşlarının radyolojik özellikleri incelendiğinde, Ra(eq) aktivitesinin 10-435 Bqkg⁻¹, H_{ex} zarar indeksinin 0.005 – 1.2, H_{in} zarar indeksinin 0.0.1 – 1.4, bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan gama doz hızının 5-202 nGyh⁻¹, aktivite indekslerinin(I) 0.07-2.69 ve etkin doz eşdeğerlerinin 23-991μSvy⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Bu doğal yapı taşlarında geniş bir aralıkta değişen ve oldukça yüksek değerler aldığı gözlenen radyolojik risk kriterlerinin, materyalin bina içinde kullanım oranı (w_m=0.5 ve w_m= 0.25) dikkate alındığında, radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu söylenebilir.

5 . SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkelerin kalkınmalarında ve geleceklere yön vermede zengin ham madde kaynaklarına sahip olmanın önemi bilinen bir gerçektir. Tam ve sağlıklı bir envanter yapılmamış olmasına rağmen ülkemizin 5 milyar m³'ün üzerinde muhtemel mermer rezervleriyle dünyadaki mermer rezervlerinin % 40'ına sahip olduğu tahmin edilmektedir. (Yüzer, 2003; Yalçın ve Uyanık, 2001). Bu değer doğal taş sektöründe en büyük payı olan Çin, İtalya, Hindistan, Brezilya, A.B.D ve Yunanistan'ın rezervlerinin iki katına yakındır. Bununla birlikte, mevcut rezervler dikkate alındığında, dünya mermer ticaretinde hak ettiğimiz yerde olmadığımız görülmektedir.

İstanbul Maden ve Metal İhracatçılar Birliğinin (İMMİB)'nin rakamlarına göre, Türkiye Maden ihracatı 2004 yılında 1.158.361.000 USD'dir ve bu gelirin 626.129.000 USD'lik kısmını mermer, onix, granit, traverten, kayagan taşı ve inşaata elverişli doğal taşların ham, yarı işlenmiş ve işlenmiş şekilde ihracatı sonucunda elde edilmiştir (9. Kalkınma Planı, 2006). İMMİB veriliyle, son üç senede doğal taş ihracatı bor minerallerini geçerek birinci sıraya oturmuştur. Ham ve işlenmiş doğal taş türleri içinde özellikle travertenlerin dış satımındaki, % 40'lara varan payı dikkat çekicidir. Granit ve diğer sert taş türlerinin toplam dış satım değerleri mermer, traverten ve renkli taşlara oranla daha sınırlı kalsa da artış hızı olumludur. Özetle, son yıllarda doğal taşların, özellikle inşaat ve dekorasyon sektörlerinde kullanım alanının genişlemesi ile doğal taş ticaretimiz büyük bir ivme kazanmıştır. Bu hızlı gelişmeye paralel olarak, doğal taş kaynaklarımızın verimli olarak kullanılması ekonomik gücümüzü arttıracak bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya doğal taş ticaretinde hak ettiğimiz yere gelmenin en önemli koşulu ise kalitenin

yükseltilmesi ve belgelendirilmesidir. Kalitenin belgelendirilmesi, Türkiye doğal taşlarının her birine ait kimlik kartlarının çıkarılması ile gerçekleşecektir. Bu kimlik kartlarının, doğal taş türlerinin petrokimyasal, minerolojik, petrografik, fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin yanı sıra, doğal radyoaktivite içeriğini de kapsaması, radyolojik açıdan oldukça önemlidir. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, ticari olarak mermer olarak adlandırılan Türkiye doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit içeriği ve radon emanasyon hızı radyolojik risk açısından değerlendirilmiştir.

Bu radyolojik incelemede, Ege, Marmara, Orta Anadolu, Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu gibi Türkiye'nin önemli blok taş üretim bölgelerinden sağlanan yaklaşık 90 adet farklı doğal yapı taşında ve Türkiye'de ithal edilerek yaygın şekilde kullanılan 49 adet ithal doğal taş örneğinde, doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları gama spektrometrik olarak saptanmıştır. Bina yapım ve dekorasyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan ve büyük bir pazarı olan bu popüler doğal yapı taşlarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları ile birlikte Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çalışma altındaki doğal yapı taşlarının ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, litolojik sınıflandırılmaları dikkate alınarak incelendiğinde, granitlerde doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının göreceli olarak, diğer mermer, kireçtaşı ve traverten gibi örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.1). Bunun temel nedeni, uranyum ve toryumun bazik magmadan kristalize olamamaları ve bu radyoelementlerin silisli magmada zenginleşmeleridir. Bu doğrultuda, SiO_2 miktarı yüksek asitik magmatik kayalar yüksek U ve Th içermektedir. Örneğin, granit gibi, asidik magmatik kökenli doğal yapı taşlarında ortalama U konsantrasyonu 5

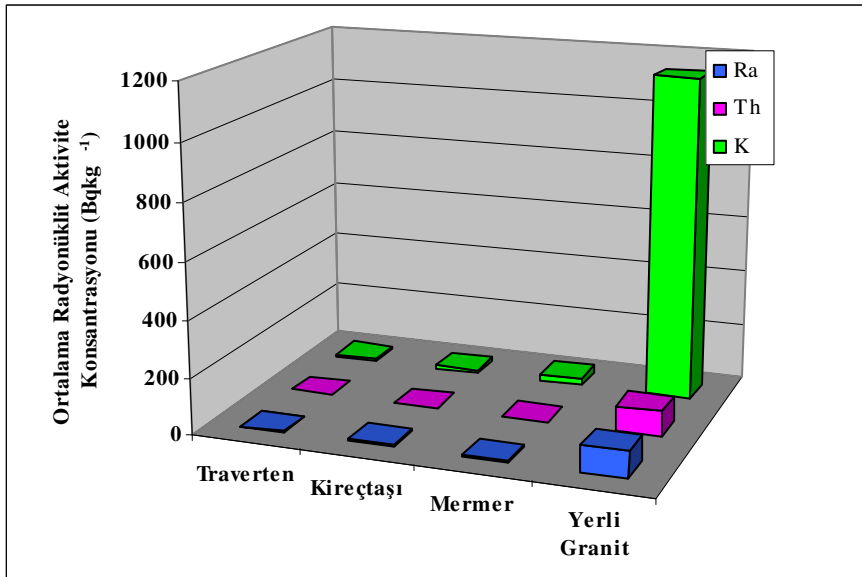
ppm [(~60 Bq/kg); 1ppmU= 12.353 Bqkg⁻¹] ve Th konsantrasyonu 15 ppm [(~60 Bq/kg) ; 1ppmTh= 4.074 Bqkg⁻¹] olarak rapor edilirken, bazik ve ultramafik kayalarda U< 1 ppm olarak rapor edilmektedir (Tzortsiz, 2003).

Çizelge 5.1 Doğal Yapı Taşlarında Gözlenen Ortalama Doğal Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları

Litoloji	Radyonüklit	N	Radyonüklit Aktivite Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹)		
			Ortalama	Standart Sapma	Min.-Max.
Granit	²²⁶ Ra	12	93	43	60-194
	²³² Th		88	39	45-155
	⁴⁰ K		1141	254	766-1602
Mermer	²²⁶ Ra	35	3	8	<0.5-37
	²³² Th		1	1.7	<0.5-6
	⁴⁰ K		22	37	2-170
Kireçtaşı	²²⁶ Ra	20	3	11	1-44
	²³² Th		1	0.6	<0.5-2
	⁴⁰ K		9	26	2-51
Traverten	²²⁶ Ra	12	4	3.5	1-14
	²³² Th		1	1.2	<0.5-2
	⁴⁰ K		9	15	2-22
İthal Granit	²²⁶ Ra	49	51	32	<0.5-106
	²³² Th		65	42	2-174
	⁴⁰ K		1143	404	70-1660

Çalışmada granit örneklerinde saptanan ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları, ²²⁶Ra için 93±3(eU=7.5ppm) Bq kg⁻¹, ²³²Th için 88±3(22ppm) Bq kg⁻¹ ve ⁴⁰K için 1141± 11Bq kg⁻¹ (% 3.7) olarak bulunmuştur. Çizelge 5.1’de yer almayan sınırlı sayıdaki andezit örneğinde, ölçülen ortalama ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları sırası ile, 76±3 (6ppm) Bq kg⁻¹, 76±3 (19ppm)Bq kg⁻¹ ve 961± 11(%3)Bqkg⁻¹’dir. Bu doğrultuda, granit ve andezitlerde ürün aktivitesi ölçülerek bulunan eU ve

eTh konsantrasyonlarının, Clark (Clark et.al., 1966) tarafından verilen uranyum(eU= 4.12 ppm) ve toryum (eTh= 11.9 ppm) konsantrasyonlarının üzerinde olduğu, K içeriğinin ise Clark değeri olan % 4'ün altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.1 Türkiye doğal yapı taşlarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları.

Metamorfik kökenli bir kayaç olan mermerlerde, uranyum ve toryum içerikleri ilksel kayacı olan kireç taşıdaki değerlere bağlı olarak değişmektedir. Kireç taşında, Clark (IAEA, 1979) değerleri; U için ortalama 2 (1-10) ppm, Th için 2 ppm ve K için % 0.3 ' dür. Bu doğrultuda, çalışma altına alınan 35 mermer örneğinde gözlenen en yüksek ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu, *Aydın linyit siyahında* 37 Bqkg⁻¹(eU~3ppm) olarak saptanmıştır. Bu örneğin yanı sıra, *Uşak yeşil desenlide* gözlenen maksimum ²³²Th aktivitesi, 5 Bqkg⁻¹ (eTh~1 ppm) ve *Ege siyahta* ölçülen maksimum ⁴⁰K aktivitesi, 107 Bqkg⁻¹(~%0.3) önceki saptamalar ile örtüşmektedir.

Sedimenter kayaçların yapısındaki ana bileşen CaCO_3 'tür. Bu özelliklerinden dolayı sedimenter kayaçlar düşük radyoaktivite içermektedirler. Bu görüşe paralel olarak, sedimenter kayaç olan kireç taşlarında gözlenen ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları; ^{226}Ra için 3 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 1 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 10 Bqkg^{-1} 'dir. Ülkemizin doğal taş varlıkları arasında önemli bir yeri olan diğer bir sedimenter kayaç türü olan traverten örneklerinde, ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 4 Bqkg^{-1} , ^{232}Th için 1 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için 9 Bqkg^{-1} olarak saptanmıştır.

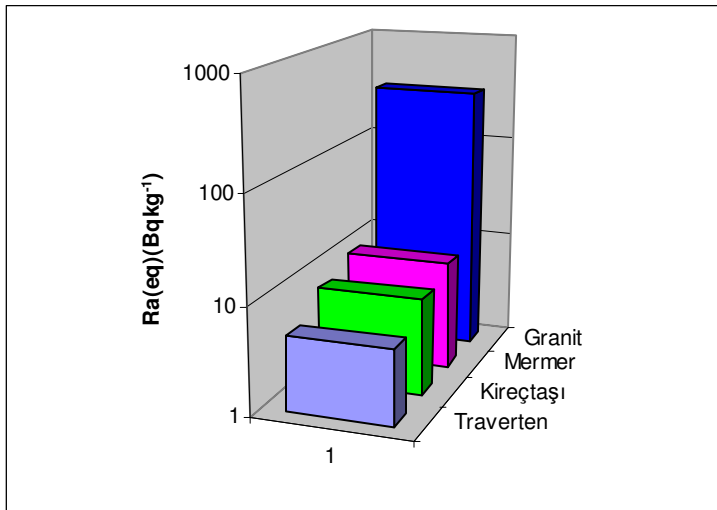
Bina yapım ve dekorasyonunda kullanılan malzemelerdeki radyonüklit içeriği nedeniyle, bina içi ortamda radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır; bunlardan ilki, bina içi ortamda solunan radon gazının neden olduğu içsel maruz kalma, diğeri ise bina materyalinde bulunan radyonüklitlerden yayımlanan γ ışınlarının neden olduğu dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR, 1982; 1988).

Çalışmada, bina yapım ve dekorasyonu amacıyla Türkiye'de yaygın şekilde kullanılan granit, mermer, traverten, kireç taşı ve bunun gibi doğal yapı taşlarında saptanan radyoaktivite içeriği ve radon emanasyon hızına dayalı olarak bina içi ortamda içsel ve dışsal maruz kalma, radyolojik risk açısından incelenmiştir.

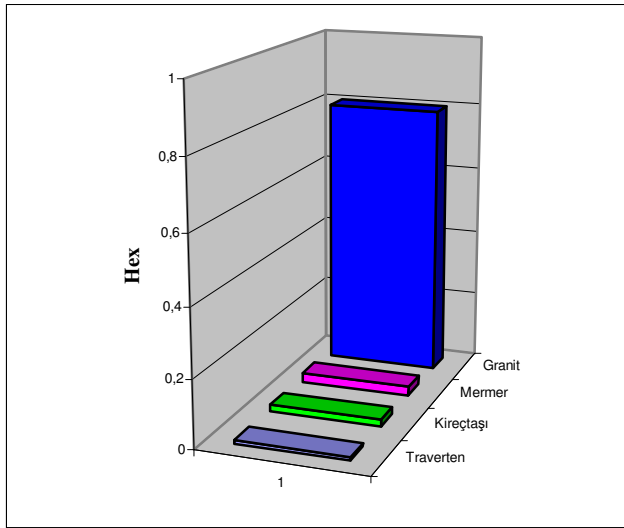
Doğal yapı taşlarında LR-115 SSNTD ile saptanan en yüksek radon salınım hızı, $0.768 \text{ Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$ olarak granit örneklerinde ölçülmüştür. UNSCEAR Raporlarında verilen *model oda* ($3 \times 3 \times 3 \text{ m}$) için yapılan dozimetrik hesaplamada, bu materyalden kaynaklanan bina içi içsel maruz kalma etkin doz eşdeğerinin 0.03 mSv olduğunu bulunmuştur. Bu sonuç, incelen doğal yapı taşlarının bina içi maruz kalmaya katkısının oldukça az olduğunu ve radyolojik risk oluşturmayacak düzeyde olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, çalışmada, doğal yapı taşının içerdiği ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ile radon salınım hızı arasında doğrusal bir korelasyon olduğu ve bina materyalindeki radyum içeriğinin ortalama % 20 oranında bina içindeki radon konsantrasyonuna katkıda bulunduğu saptanmıştır.

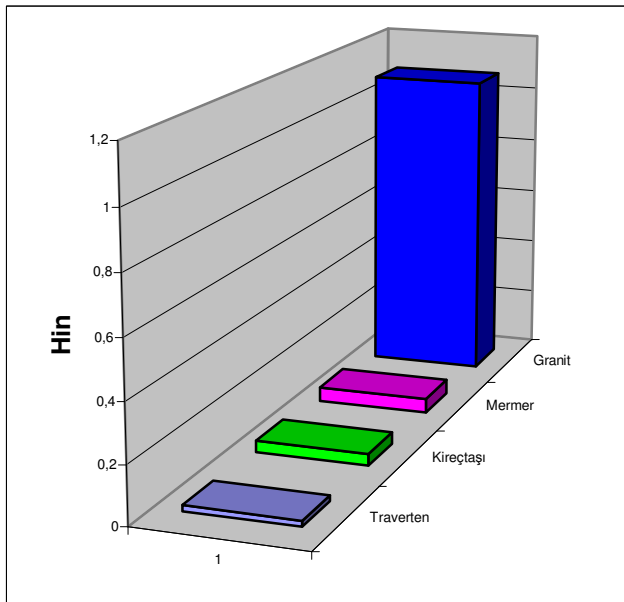
Bina materyallerinden salınan gama ışınları, bina içi ortamda dışsal radyasyona maruz kalmayı hızlı şekilde arttırmaktadır (UNSCEAR, 1988). Bu doğrultuda, incelenen Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama doğal radyonüklit radyoaktivite içeriği ve buna dayalı olarak hesaplanan $\text{Ra}(\text{eq})$ aktivitesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri, absorbe edilen karasal gama doz hızı (D) ve etkin doz eşdeğerini (DE) kapsayan radyolojik özellikler Şekil 5.2-5.5'de grafik edilerek detaylandırılmıştır.



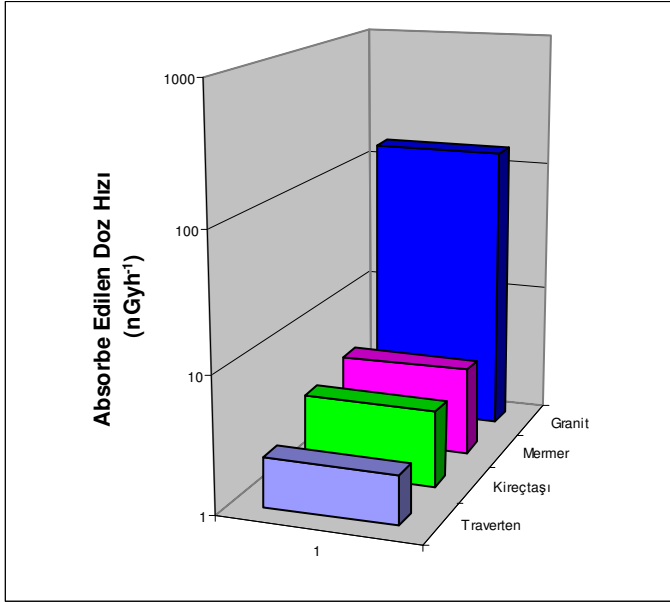
Şekil 5.2 Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama $\text{Ra}(\text{eq})$ aktivitesi



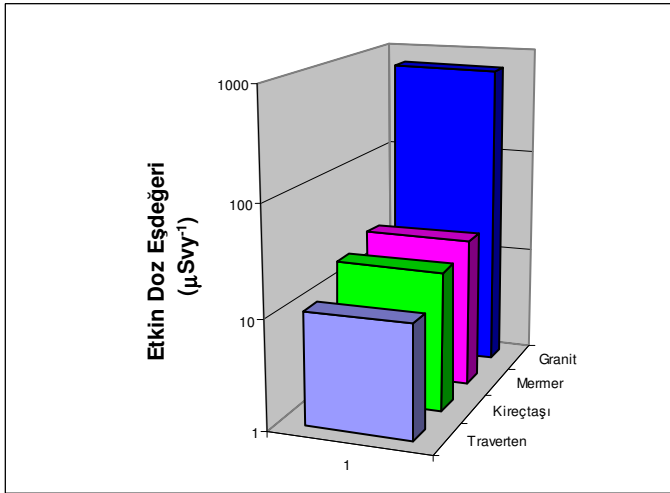
Şekil 5.3 Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama H_{ex} zarar indeksi



Şekil 5.3 Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama H_{in} zarar indeksi



Şekil 5.4 Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama karasal gama doz hızı



Şekil 5.5 Türkiye doğal yapı taşlarının ortalama etkin doz eşdeğeri

Radyolojik risk açısından, Ra(eq) aktivitesinin 370 Bqkg^{-1} 'ı geçmemesi, H_{ex} ve H_{in} zarar indeksleri <1 ve bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv 'ı aşmaması istenmektedir. Bu doğrultuda tanımlanan bir diğer radyolojik risk kavramı, Aktivite İndeksi (I)' dir ve $I \leq 1$ durumunda, etkin doz eşdeğerinin yılda 1 mSv 'ı aşmayacağı tahmin edilmektedir. Çizelge 5.2'de, yukarıda verilen radyolojik risk kavramlarının yanı sıra, doğal yapı taşlarının Aktivite İndeksleri (I), minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Türkiye doğal taş ithalâtında granit miktarında artış dikkat çekicidir. Yılda ortalama 40 milyon dolar tutarında granit ithal edilmektedir. Granit ithal ettiğimiz başlıca ülkeler İtalya, İspanya, Hollânda ve Güney Afrika'dır (Çetin., 2003). Bu anlamda, bina yapımı ve dekorasyonunda yaygın kullanımına paralel olarak ithalatımızda önemli yer tutan yabancı doğal yapı taşlarının radyolojik özellikleri de Çizelge 5.2'ye eklenmiştir.

Türkiye'de bilinen yerli granitlerin radyolojik özelliklerini veren Çizelge 5.2 incelendiğinde, granit örneklerinde Ra(eq) aktivitelerinin; $183\text{-}522 \text{ Bqkg}^{-1}$, H_{ex} zarar indekslerinin; $0.5\text{-}1.41$, ve H_{in} zarar indekslerinin; $0.7\text{-}1.93$, I Aktivite İndekslerinin; $1.2\text{-}3.2$, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; $87\text{-}243 \text{ nGyh}^{-1}$ ve etkin doz eşdeğerlerinin $430\text{-}1200 \mu\text{Svy}^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmektedir.

Metamorfik kökenli mermerlerin radyolojik özellikleri incelendiğinde ise, mermer örneklerinde en yüksek Ra(eq) aktivitesinin 37 Bqkg^{-1} olarak saptandığı ve zarar indekslerinin; $H_{\text{ex}} \leq 0.1$ ve $H_{\text{in}} \leq 0.2$, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; $D \leq 17 \text{ nGyh}^{-1}$, aktivite indekslerinin $I \leq 0.2$, ve etkin doz eşdeğerlerinin; $DE \leq 85 \mu\text{Svy}^{-1}$ olduğu ve bu değerlerin radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu açıkça gözlenmektedir.

Çizelge 5.2 Doğal Yapı Taşlarının Radyolojik Özellikleri

Doğal Taş	Radyolojik Risk Kriterleri	Ortalama	Std Sapma	Min-Max
Granit	Ra (eq) Bqkg ⁻¹	317	100	183-522
	H _{ex}	0.83	0.27	0.5-1.4
	H _{in}	1.08	0.38	0.7-1.9
	Aktivite İndeksi (I)	1.9	0.64	1.2-3.2
	D (nGyh ⁻¹)	145	45	87-243
	DE (μSvy ⁻¹)	712	223	430-1190
Mermer	Ra (eq)	10	9	1-37
	H _{ex}	0.03	0.024	0.001-0.01
	H _{in}	0.05	0.05	0.003-0.2
	Aktivite İndeksi(I)	0.06	0.06	0.003-0.2
	D (nGyh ⁻¹)	5	4.2	1-17
	DE (μSvy ⁻¹)	24	21	1-85
Kireçtaşı	Ra (eq)	8	2	1-47
	H _{ex}	0.02	0.015	0.01-0.1
	H _{in}	0.04	0.012	0.002-0.3
	Aktivite İndeksi(I)	0.05	0.07	0.01-0.3
	D (nGyh ⁻¹)	4	2.5	1-22
	DE (μSvy ⁻¹)	19	12	2-107
Traverten	Ra (eq)	5	4.4	1-14
	Hex	0.01	0.012	0.004-0.04
	Hin	0.02	0.012	0.005-0.08
	Aktivite İndeksi(I)	0.03	0.03	0.01-0.08
	D (nGyh ⁻¹)	3	2.85	1-6
	DE (μSvy ⁻¹)	11	10	2-32
İthal Doğal Yapı Taşları	Ra (eq)	186	98	10-435
	Hex	0.5	0.3	0.03-1.2
	Hin	0.6	0.3	0.03-1.4
	Aktivite İndeksi(I)	1.2	0.6	0.06-2.6
	D (nGyh ⁻¹)	90	45	5-202
	DE (μSvy ⁻¹)	441	225	23-991

Sedimanter kökenli doğal yapı taşlarının radyolojik risk açısından değerlendirilmesini sağlayan Çizelge 5.2 incelendiğinde, kireçtaşlarında, Ra(eq) aktivitesinin 1-47 Bqkg⁻¹, H_{ex} zarar indeksinin 0.002 -0.13, H_{in} zarar indeksinin 0.002 -0.25, bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan gama doz hızının 1-22. nGyh⁻¹, aktivite indekslerinin(I) 0.01-0.29 ve etkin doz eşdeğerlerinin 2-107μSvy⁻¹ arasında değiştiği ve bu doğal taş grubunda,

Ra(eq) aktivitesinin 370 Bqkg^{-1} geçmediği, H_{ex} ve H_{in} zarar indekslerinin <1 olduğu ve bina içi ortamda karasal kaynaklardan maruz kalınan etkin doz eşdeğerinin $<1 \text{ mSvy}^{-1}$ 'in çok altında kaldığı gözlenmektedir. Benzer şekilde, bu grup içinde yer alan traverten örneklerinde, Ra(eq) aktivitesinin $\leq 14 \text{ Bqkg}^{-1}$ olarak saptandığı ve zarar indeksleri; $H_{\text{ex}} \leq 0.04$ ve $H_{\text{in}} \leq 0.08$, bina içi ortamda karasal gama doz hızlarının; $D \leq 6 \text{ nGyh}^{-1}$, aktivite indekslerinin $I \leq 0.08$, ve etkin doz eşdeğerlerinin; $DE \leq 32 \mu\text{Svy}^{-1}$ olduğu ve bu değerlerin radyolojik risk yaratmayacak özellikte olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, farklı kökenli Türkiye doğal yapı taşlarının yanı sıra, ithal doğal yapı taşları da radyolojik risk açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olan bu girişim, ithal doğal yapı taşları için radyolojik veri tabanının oluşturulmasını sağlamıştır. Bu doğrultuda, söz konusu sert taşların radyolojik özellikleri incelendiğinde, Ra(eq) aktivitesinin $10-435 \text{ Bqkg}^{-1}$, H_{ex} zarar indeksinin $0.005 - 1.2$, H_{in} zarar indeksinin $0.0.1 - 1.4$, bina içi ortamda karasal kaynaklardan alınan gama doz hızının $5-202 \text{ nGyh}^{-1}$, aktivite indekslerinin(I) $0.07-2.69$ ve etkin doz eşdeğerlerinin $23-991 \mu\text{Svy}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir.

Doğal yapı taşlarının bina içinde kullanım oranı %25'i aşmamaktadır. Bu doğrultuda, Çizelge 5.3'de magmatik kökenli doğal yapı taşlarının maksimum aktivite indeksleri (I), materyalin bina içi kullanım yüzdesine " w_m " bağlı olarak verilmiş ve bina-içi ortamda karasal kaynaklardan absorbe edilen gama doz hızları (D) ve etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır.

5.3 Türkiye Granitleri ve İthal Doğal Yapı Taşlarının Bina İçi Kullanım Oranına (w_m) Bağlı Olarak Aktivite İndeksleri (I)

Doğal Taş	Bina Materyali Kullanım Oranına Bağlı Olarak ($\%w_m$) Aktivite İndeksleri (I)				D nGyh ⁻¹	DE μSvy ⁻¹
	$w_m=1$	$w_m=0.75$	$w_m=0.5$	$w_m=0.25$	$w_m=0.25$	$w_m=0.25$
Türkiye Granitleri	3.2	2.4	1.8	0.9	61	298
İthal Doğal Yapı Taşları	2.6	2	1.3	0.7	51	250

Türkiye ve ithal doğal yapı taşlarının radyolojik özelliklerini kısaca özetleyen bu sonuçlar, bu materyallerin bina yapım ve dekorasyonunda kullanılmasının bina içi ortamda, herhangi bir radyolojik risk oluşturmayacağını açıkça göstermektedir.

Türkiye doğal yapı taşlarının doğal radyonüklit içeriği ve radon emanasyon hızının radyolojik risk açısından değerlendirildiği bu kapsamlı tez çalışması, doğal taş kaynaklarımızın tür ve rezerv zenginliğinin son yıllarda değerlendirilmesi ile gelişen “*Türkiye Doğal Taş Endüstrisi*” için önemli bir radyolojik veri tabanı üretmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Albering, H.J., Hoogewerff, J.A. and Kleinjans, J.C.S.**, 1996, Survey of ^{222}Rn Concentration in Dwellings and Fails in the Dutch Belgian Border Region, *Healty Physics*,60(4):64-69.
- Al-Jarallah, M.**, 2001, Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 53, 91-98.
- Al-Jarallah, M.I., Fazal-ur-Rehman, Musazay, M.S., Aksoy, A.**, 2005, Correlation between radon exhalation and radium content in granite samples used as construction material in Saudi Arabia, *Radiation Measurements*, 40, 625-629.
- 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.**, 2005, *Radiation Measurements*, 39, 245-253.
- Aslam, M., Orfi, S.D., Khan, K., Jabbar,A.**, 2002, Radiological Significance of Pakistani Marble Used for Construction of Dwellings, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*,Vol.253,No.3., 483-487.
- Bruzzi, L., Mele, R. and Padoani, F.**, 1992 Evaluation of Gamma and Alpha Doses due to Natural Radioactivity of Building Materials, *J. of Radiat. Prot.*,12(2):67-76.
- Clark, S.P., Peterman, Z.E., Heier, K.S.**, 1966, Abundance of Uranium, thorium and potassium . In: *Handbook of Physical Constant*, Vol. 97.Geo.Soc.AM.Mem., pp: 521-541

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Çelikdağ, C., Yaprak, G.,** 1998, Plastik Nükleer İz Dedektörleri ile Uranyum Cevherlerinde Denge tayini, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- Çolak, M. and Lazzarini, L.,** 2000, Quarries and characterisation of a Hitherto Unknown Alabaster and Marble from Thyatira (Akhisar-Türkey) Asmosia VI, Proceeding of the Sixth International Conference of The Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity, L.Lazzarini (ed).
- De Vecchi, G., Lazzarini, L., Lünel, T., Mignucci, A., Visona, D.,** 2000, The genesis and characterization of ‘Marmor Misium’ from Kozak (Turkey), a granite in antiquity, Journal of Cultural Heritage 1, 145-153.
- Demirkıran, Z., ve Çalapkulu, F.,** 2001, Kaklık-Kocabaş (Denizli) travertenlerinin litolojik,morfolojik özellikleri ve sınıflaması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM’ 2001), Sayfa 17-31, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı** madencilik özel ihtisas komisyonu
- El Afifi, E.M., Hilal, M.A., Khalifa, S.M., Aly, H.F.,** 2006, Evaluation of U, Th, K and emanated radon in some NORM and TENORM samples, Radiation Measurements, 41, 627-633.
- El-Dine, N.W., El-Shershaby, A., Ahmed, F., Abdel-Halem, A.S,** 2001, Measurement of Radioactivity and Radon Exhalation Rate in Different Kinds of Marble and Granites, Applied Radiation and Isotopes 55, 853-860.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Erdoğan, Y. ve Yaşar, E.**, 2001, Adana-İçel-Osmaniye mermerlerinin mühendislik özellikleri açısından değerlendirilmesi, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 163-174, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Eren, B.**, 1999, Milas -Yatağan- Kavaklıdere (Muğla) dolaylarındaki mermer yatakları, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 36-45, 8-14 Mart, İzmir.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., Güleç, K., Zambak, C.**, 1974, A proposal for Classification of Marbles Proc. II. Int. Cong. Eng. Geol., Sao Paulo, Brazil.
- Fairbridge, R. W.**, 1972 , The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences, New York.).
- Gündüz, L., Uğur, İ., Demirdağ, S.**, 2001, Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa181-196, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Güngör, N. ve Önenç, D.İ.**, 1999, Mermer işletmeciliğinde atık mı yoksa artık mı var!, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 63-69, 8-14 Mart, İzmir.
- Hussein, E.M.**, 1994, Radioactivity of Phosphate Ore, Super phosphate, and Phosfogypsum in Abu-Zaabal Phosphate Plant, Egypt, Healty Physics 67(3):280-282.
- Hutter, A.R.**, 1995, A Method for Determinig Soil Gas ²²⁰Rn Concentration, Healty Physics, 68(6) 835-83.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- ICRP (1991)**, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection., Publication 60. Ann. Pergamon Press, Oxford.International Commission on Radiation Protection
- Iqbal, M., Tufail, M., Mirza, S.M.**, 2000, Measurement of Radioactivity in Marble Found in Pakistan Using a NaI(Tl) Gamma Ray Spectrometer, Journal of Radioactivity 51, 255-265.
- İleri, S.**, 1988, Tarih Öncesi Anadolu Mermercileri, Mermer Dergisi, Sayı 20, s.19-24, İzmir.
- İleri, S., Kun, N., Türkmen, F.**, 2001, Antik Dönemde Anadolu Mermerciliğinde Jeolojinin Önemi, Mermer Dergisi, Sayı 28, s.16-20, İzmir.
- İMMİB** 2003, Yıllık Çalışma Raporları, İMMİB İstanbul.
- İşintek, İ.**, 1999, Orta Karaburun Yarımadası karbonat istiflerinin stratigrafik ve litolojik özelliklerinin hammadde kaynakları açısından irdelenmesi, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 54-61, 8-14 Mart, İzmir.
- Karakurt, Ü.**, 2003, Bazı Batı Anadolu Mermer Örneklerinin Radyonüklid ve Ağır Metal İçeriğinin Saptanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi, Yöneten: Y.Doç.Dr. Mümtaz Çolak.
- Keller, G., Hoffmann, B., Feigenspan, T.**, 2001, Radon permeability and radon exhalation of building materials, The Science of the Total Environment, 272, 85-89.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Khan, J.A.**, 1994, Estimation of Dose Rate for Indoor Radon from Building Mater, Radiation and Environmental Biophysics, 33: 81-84.
- Khatbeh, A.J.A.H., Ahmed, N., Matullah and Kenawy, M.A.**, 1997, Natural Radioactivity in Marble Stones-Jorden ,Radiation Measurements, Vol.28, Nos.1-6 pp.345-348.
- Koca, M.Y., Yavuz, A.B., Kıncal, C.**, 2001, Andazitlerin dış mekan kaplama taşı olarak kullanımında Bergama örneği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 99-112, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Koljonen, T. (Ed.)**, 1992. The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.
- Kun, N ve Bacakoğlu, F.**, 1999 , Ege Bordo mermerlerinin jeolojik konumu ve özellikleri, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 70-73, 8-14 Mart, İzmir.
- Kun, N., Göngör, T., Erdoğan, B.**, 1999, Menderes Masifi'ndeki mermer yataklarının stratigrafik konumları ve özellikleri, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 46-53, 8-14 Mart, İzmir.
- Kun., N.**, Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, 2000.
- Lazzarini, L.**, 2002, The origin and characterization of breccia nuvolata, marmor Sagarium, and marmor Triponticum, Asmosia 5:Interdisciplinary Studies on Ancient Stone, J.J Hermann, Jr.,N. Herz & R.Newman (ed).

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Malanca, A., Pessina, V., Dallara , G., Luce, C.N. and Gaidolfi, L.,**1995, Natural Radioactivityin Building Materials from the Brazilian State of Espirito Santo, Appl. Radiat. Isot., 46(12):1987-1992.
- Misdaq, M.A., Amghar, A.,** 2005, Radon and thoron emanation from various marble materials: impact on the workers, Radiation Measurements, 39, 421-430.
- Othman, I. and Mahrouka, M.,** 1994, Radionuclide Content in Some Building Materials in Syria and Their Indoor ,Gamma Dose Rate Radiation Protection Dosimetry, 59 (1) 43-48.
- Oufni, L., Misdaq, M.A., Amrane, M.,** 2005, Radon level and radon effective dose rate determination in Moroccan dwellings using SSNTDs, Radiation Measurements, 40, 118-123.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N.,** 2005, Natural radioactivity levels in granit plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey, Applied Radiation and Isotopes.
- Özer,S.,** 1999, Geç Kretaçe yaşıli resifal kireç taşlarının mermer potansiyeli, Beydağları karbonat platformu (Batı Toroslar), 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 62, 8-14 Mart, İzmir.
- Öztank, N. ve Türkmen F.,** 2001, Mermer-kireçtaşı ve konglomeraların yapılarında kullanımını denetleyen parametreler, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa123-131, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Paplovic, S., Pavlovic, R., Avramovic, I., Markovic, S., Milonovic, S.,** 1996, Radiological Assesment of an Important Building Material:a Case Study, Environmental International Volume 22, Suplement 1, pp.S295-S300.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Pavlidou, S., Koroneos, A., Papastefanou, C., Christofides, G., Stoulos, S., Vavelides, M.**, 2006, Natural radioactivity of granites used as building materials, *Journal of Environmental Radioactivity*, xx, 91-98.
- Petropoulos, N.P., Anagnostakis, M.J., Simopoulos, S.E.**, 2002, Photon Attenuation, Natural Radioactivity Content and Radon Exhalation Rate of Building Materials, *Journal of Radioactivity* 61, 257-269.
- Price, J.G., Rigby, J.G., Christensen, L., Hess, R., La Pointe, D.D., Ramelli, A.R., Desilets., M., Hopper, R.D., Kluesner, T. and Marshall, S.**, 1994, Radon in Outdoor Air in Nevada, *Healty Physics* 57(1)155-160.
- Quindos ,L.S., Fernandez ,P.L., Gomez, J., Javanovic, P., Arvele, H., Verterbacka, K.**, 2001, Result of a Simple İntercomparison of Natural Radioactivity Measurements Using a Blue Concrate Sample, *The Science of the Total Environment* 272, 361-363.
- Quindos ,L.S., Fernandez ,P.L., Soto, J., Rodenas, C. and Gomez, J.**, 1994, Natural Radioactivity in Spanish Soils, *Healty Physics*, 66(2):194-200.
- Quindos, L.S., Fernandez, P.L., Gomez, J., Jovanovic, P., Arvela, H., Verterbacka, K.**, 2001, Results of a simple intercomparison of natural radioavtivity measurements using a blue concrete sample, *The Science of the Total Environment*, 272, 361-363.
- Raporu., 2006

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Righi, S., Bruzzi, L.**, 2006, Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings, *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 158-170.
- Rizzo, S., Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S.**, 2001, Gamma activity and geochemical features of building materials: estimation of gamma dose rate and indoor radon levels in Sicily, *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 259-265.
- Rosholt, J.N.; Prijana, O ve Noble, D.O.** ,1971 : Mobility of uranium and thorium in glassy and crystallized silicic volcanic rocks. *Econ. Geol.*, v. 66, pp, 1061-1071.)
- Schuler, C., Cameri ,R. and Burkart, W.**, 1991, Assesment of the Indoor Radon Contribution of Swiss Building Materials, *Health Physics* , 60 (3):447-451
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı** Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz (sleyt)) Çalışma Grubu Raporu., 2001
- Sohrabi, M., Babapouran, M.**, 2005, New public dose assessment from internal and external exposures in low-and elevated-level natural radiation areas of Ramsar, Iran, *International Congress Series*, 1276, 169-174.
- Sözbilir, H.**, 1999, Çaykavuştu konglomeralarının yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği (Kaklık-Denizli): Stratigrafik ve sedimentolojik bulgular, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, Sayfa 74-81, 8-14 Mart, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Stoulos, S., Manolopoulou, M., Papastefanou, C.,** 2003, Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece, *Journal of Environmental Radioactivity*, 69, 225-240.
- Taylor, S.R.,** 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1273–1284.
- Taylor, S.R.,** 1966. Application of trace element data to problems in petrology. *Phys. Chem. Earth* 6, 135–213.
- Tso ,W. M., Ng, C.Y. and Leung, J.K.C.,** 1994, Radon Release From Building Materials in Hong-Kong , *Health Physics*, 67(4): 378-384.
- TUMMER 2004,** 2004, Natural Stone Profile of Turkey, Ankara.
- Türkmen, F. ve Kun, N.,** 2001, İzmir ili volkanitlerinin doğaltaş sektöründeki yeri, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 9-15, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S., Christodoulides, G.,** 2003, Gamma radiation measurements and dose raates in commercially-used natural tiling rocks (granites), *Journal of Environmental Radioactivity*, 70, 223-235.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation** (1982), Sources Effects and Risks of Ionizing Radiations, United Nations, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation** (1988), Sources Effects and Risks of Ionizing Radiations, United Nations, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation** (1993), Sources and Effects of Ionizing Radiations, United Nations, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation** (2000), Sources and Effects of Ionizing Radiations, United Nations, New York.
- Uz, B., Esenli, V., Yavuz, O., Manav, H., Bacak, G.,** 2001, Sert mermer grubuna bir örnek; Karcadağ (Diyarbakır) bazaltlarının mermer açısından incelenmesi, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 43-52, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Uz, B., Öztaş, T., Esenli, F., Özdamar, Ş.,** 2001, Düzköy-Düzağaç (Ulus-Bartın) traverten oluşumlarının jeolojisi, petrografisi ve mermer açısından değerlendirilmesi, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 33-41, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Walley El-Dine, N., El-Shershaby, A., Ahmed, F., Abdel-Haleem, A.S.,** 2001, Measurement of radioactivity and radon exhalation rate in different kinds of marbles and granites, Applied Radiation and Isotopes, 55, 853-860.
- Weaver, B.L., Tarney, J.,** 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. Nature 310, 575-577.
- www. Taek .gov.tr**
- Yaprak, G.,** 1995, Radyoaktif Mineral İçeren Örneklerin Gama Spektroskopik Analizlerde Matris Etkisi ve Self Absorbsiyon için Bir Düzeltme Yönteminin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Yaprak, G.**, 1999, Indoor ^{222}Rn concentrations in The Vicinity of a Turkish Coal-Fired Power Plant. Journal of Environmental, Radioactivity 46, 131-135.
- Yaprak, G., Kaya, O., Candan, O., Batmaz, İ., Gür, F., Camgöz, B., 2003**, Aktif Gediz Grabeninde yer alan Alaşehir /Manisa yöresinde tektonik aktiviteye dayalı radon anomalilerinin incelenmesi.TÜBİTAK Proje no:100Y059
- Yaprak, G., Yener, G.**, 1990, Bergama Sarıcaoğlu Bölgesindeki Toprak ve Kayaçlarda uranyum ile Ürünleri Arasındaki Radyoaktif Dengenin Saptanması, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No: 1986 NBE 005.
- Yaprak, G., Yener, G.**, 1988, Granit ve Granodiyorit Kayaçlarda ve erozyon Bölgelerindeki Topraklarda gama Spektroskopisi ile Uranyum ve Toryum Analizleri, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu, Proje No. 004/1985.
- Yaşar, Ö., Yaprak, G.**, 1998, Perlitte Radyonüklit İçeriğinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- Yavuz, B., Koca, M.Y., Kıncal, C., Türk, N.**, 2001, Yangın sonucu mermer sütunların bazı mühendislik özelliklerindeki değişimler, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM' 2001), Sayfa 197-207, 3-5 Mayıs, Afyon.
- Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı**, Madencilik ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri ÇG Raporu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Cilt-3 Mermer., 1996.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Yılmaz,H., ve Safel, R.,** 2004, Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. Sektör Araştırmaları Serisi/No:31 Mermer Sektörü.
- Yüzer, E.,** 1971, Marmara Adası mermerlerinin mühendislik jeolojisi ve anizotropik özelliklerinin araştırılması, Doçentlik tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Yüzer, E.,** 2003, STONE-2003 Doğal Taş ve Endüstri Kataloğu
- Yüzer ve Mutlu,** 2003, Türkiye Doğal Taş Sektörünün Gelişimi.
- Zikovsky, L. and Kennedy, G.,** 1992, Radioactivity of Building Materials Available in Canada , Health Physics, 63(4), 449.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özden YAŞAR

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Yılı : 20.07.1971

Öğrenim Durumu:

Lisans 1988-1993 Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü

Yüksek Lisans 1993-1998 Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Doktora 2000-2006 Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Mesleki Durumu:

2004- İzmir Atatürk Lisesi

2001-2004 Mopak Anadolu Teknik ve E.M.L

1997-2001 Armutlu İlköğretim Okulu

1995-2001 Tozkoparan İlköğretim Okulu