

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GRANİTİK KAYAÇLARIN RADYOLOJİK VE  
MİNERALOJİK YÖNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Emel ÇETİN**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**OCAK 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GRANİTİK KAYAÇLARIN RADYOLOJİK VE  
MİNERALOJİK YÖNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Emel ÇETİN  
(301081011)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY (İTÜ)  
Eş Danışman : Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beril TUĞRUL (İTÜ)  
Doç. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN (İÜ)  
Yrd. Doç. Dr. Zuhale ER (İTÜ)**

**OCAK 2011**





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

“Granitik Kayaçların Radyolojik ve Mineralojik Yönden Değerlendirmesi” adlı bu Yüksek Lisans Tez çalışması için, Yüksek Lisans projesi ile destek veren İ.T.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür ederim.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda yardımcı olan, çalışmam boyunca bilgisini, zamanını, sabır ve özverisini benden esirgemeyen değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca bilgisini, deneyimlerini ve zamanını benden esirgemeyen Eş Danışman Hocam Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN’e teşekkürü bir borç bilirim.

Örneklerin toplanmasında çok büyük yardımı bulunan Altınsoy İnşaat, Taahhüt, Proje ve Ticaret Limited Şirketi’ne, örnek hazırlama aşamasında yardım eden İ.T.Ü. Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi Sorumlusu Maden Yüksek Mühendisi Mustafa ÖZER’e, İnce Kesit Hazırlama Atölyesi Sorumlusu Mehmet Ali ORAL’a, değerli yardımlarını benden esirgemeyen ÇNAEM Ölçme-Enstrümantasyon Bölümü Metroloji Birimi Radyasyondan Korunma Uzmanı arkadaşım Enis KAPDAN’a, bilgisini ve zamanını benimle paylaşan ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Uzmanı Dr. Nurdan GÜNGÖR’e teşekkürlerimi sunarım. Başta ÇNAEM Sağlık Fiziği Birim Koordinatörü Dr. Gürsel Karahan olmak üzere, radon ölçümleri aşamasında yardımlarını esirgemeyen ÇNAEM görevlisi Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Dr. Berna ATAKSOR ve Sağlık Fiziği Birimi Radyasyon Korunma Uzmanı Fizik Mühendisi Nesli ALBAYRAK’a, örneklerin radyolojik incelenmesi aşamasında yardım eden değerli hocam Y. Doç. Dr. Sevilay HACIYAKUPOĞLU’na, mineralojik incelenmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nden Doç. Dr. Sabah Yılmaz ŞAHİN’e teşekkürü bir borç bilirim. Lisans eğitimim sırasında ve sonrasında yardımlarını, bilgisini benden esirgemeyen her zaman yanımda olan Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü’nden değerli hocam Prof. Dr. Zikri ALTUN’a teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2010

Emel Çetin

(Fizikçi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTE VE RADYOLOJİK RİSK FAKTÖRLERİ</b>	<b>5</b>
2.1 Radyoaktivite, Radyasyon ve Çeşitleri .....	5
2.1.1 Alfa bozunumu.....	6
2.1.2 Beta bozunumu .....	7
2.1.3 X ışınları.....	7
2.1.4 Gama ışınları .....	7
2.1.5 Nötronlar .....	8
2.2 Radyoaktivite Birimleri.....	9
2.2.1 Aktivite birimi.....	10
2.2.2 Işınlama dozu .....	10
2.2.3 Soğurulmuş doz.....	10
2.2.4 Doz eşdeğeri.....	11
2.3 Radyasyon Kaynakları .....	11
2.3.1 Yapay radyasyon kaynakları .....	12
2.3.1.1 Tıbbi Uygulamalar .....	13
2.3.1.2 Endüstriyel Uygulamalar .....	14
2.3.1.3 Nükleer Serpinti .....	14
2.3.1.4 Nükleer Güç Santralleri .....	14
2.3.1.5 Tüketici Ürünleri .....	14
2.3.2 Doğal radyasyon kaynakları.....	15
2.3.2.1 Kozmik ışınlar .....	16
2.3.2.2 Karasal radyasyon kaynakları .....	16
Dış ışınlama .....	19
İç ışınlama .....	19
2.4 Radon ve Özellikleri.....	20
2.4.1 Evlerde radon .....	21
2.4.2 Sularda radon .....	23
2.4.3 Radonun sağlık etkileri .....	23
2.5 Radyoaktif Denge.....	26
2.6 Bina İçi Radyoaktivite ve Radyolojik Risk.....	28

2.7 Radyasyondan Korunma ve Güvenliği Alanında Yetkili Uluslararası Organizasyonlar.....	30
<b>3. GRANİTİK KAYAÇLARIN OLUŞUMU, SINIFLANDIRILMASI VE MİNERALOGİK ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>33</b>
3.1 Granitik Kayaçların Sınıflandırılması .....	35
3.2 Granitik Kayaçların Mineralojik Bileşimi.....	36
3.3 Granitlerin Ayrışım Çeşitleri.....	37
3.4 Granitik Kayaçlar ve Doğal Radyasyon .....	37
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>39</b>
4.1 Örnekleme .....	39
4.2 Örneklerin Hazırlanması .....	40
4.2.1 Örneklerin gama spektrometrik analiz için hazırlanması.....	40
4.2.2 Örneklerin mineralojik inceleme için hazırlanması .....	42
4.2.3 Örneklerin radon salınım hızı ölçümleri için hazırlanması.....	44
4.3 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması.....	47
4.3.1 Gama spektrometre sistemi .....	47
4.3.2 Radon ölçüm sistemi .....	51
4.3.2.1 CR-39 katıhal iz detektörleri .....	51
4.3.2.2 Radobath iz kazıma ünitesi .....	52
4.3.2.3 Radon iz okuma cihazı .....	54
4.3.3 Optik polarizasyon mikroskobu .....	56
<b>5. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>59</b>
5.1 Radyonüklid Aktivite Konsantrasyonları .....	59
5.2 Radon Salınım Hızları .....	64
5.3 Granit Örneklerinin Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi .....	69
5.4 Mineralojik inceleme sonuçları .....	73
5.4.1 Aksaray yaylak.....	73
5.4.2 Aksaray pembe graniti .....	74
5.4.3 Bergama gri graniti.....	76
5.4.4 Balaban green.....	77
5.4.5 Giresun vizon granit.....	79
5.4.6 Çanakkale gri graniti .....	80
5.4.7 Hisar yaylak graniti .....	81
5.4.8 Kozak graniti .....	83
5.4.9 Çin brown porrino graniti.....	84
5.4.10 Çin porrino graniti.....	85
5.4.11 Hindistan star galaksi graniti.....	86
5.4.12 Hindistan coral mist graniti .....	87
5.4.13 İtalya rosa beta graniti .....	88
5.4.14 Çin sardo graniti .....	89
5.4.15 Hindistan siyah graniti .....	90
5.4.16 Hindistan coral maron graniti.....	91
5.4.17 İspanya rosavel graniti .....	92
5.4.18 Brezilya giallo ornamentale graniti .....	93
5.4.19 Çin sanboa red graniti .....	94
5.4.20 Norveç blue pearl graniti.....	95
5.4.21 Çin balmoral graniti .....	96
5.4.22 İspanya rosa minho graniti .....	97
5.4.23 Hindistan rosy pink graniti.....	98
5.4.24 Hindistan verde guatemala.....	99

5.4.25 İtalya baltic brown graniti .....	100
5.4.26 İspanya rosa porrino graniti .....	101
5.4.27 Finlandiya rosa balmoral graniti .....	102
5.4.28 İtalya porrino graniti .....	104
5.4.29 Brezilya jaguar graniti.....	106
5.4.30 İspanya green butterfly graniti .....	107
5.5 Mineralojik Sonuçlar ve Radyonüklid İçeriklerinin Birlikte Değerlendirilmesi .....	109
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>111</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>115</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>121</b>





## KISALTMALAR

<b>AAET</b>	: Avrupa Atom Enerji Topluluğu
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ALARA</b>	: As Low As Reasonable and Achievable
<b>ÇNAEM</b>	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
<b>DPT</b>	: Devlet Planlama Teşkilatı
<b>EPA</b>	: United States Environmental Protection Agency
<b>EURATOM</b>	: European Atomic Energy Community
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization
<b>HPGe</b>	: Yüksek Safılıkta Germanyum Detektörü
<b>IAEA</b>	: International Atomic Energy Agency
<b>ICRU</b>	: International Commission on Radiation Units and Measurements
<b>ICRP</b>	: International Commission on Radiological Protection
<b>IPL</b>	: Isotope Product Laboratories
<b>İMMİB</b>	: İstanbul Maden ve Metal İhracatçılar Birliği
<b>ILO</b>	: International Labour Organization
<b>MDA</b>	: Minimum Detectable Activity
<b>NCRP</b>	: National Council on Radiation Protection and Measurements
<b>NEA</b>	: Nuclear Energy Agency
<b>NRPB</b>	: National Radiation Protection Board
<b>OECD</b>	: Organization for Economic Co-operation and Development
<b>REE</b>	: Nadir Toprak Elementleri
<b>RSGD</b>	: Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi
<b>SI</b>	: International System of Unit
<b>TAEK</b>	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
<b>UNSCEAR</b>	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
<b>URL</b>	: Uniform Resource Locator
<b>WHO</b>	: World Health Organization



## SEMBOL LİSTESİ

$\alpha$	: Alfa
$\beta$	: Beta
$\gamma$	: Gama
$\lambda$	: Bozunum Sabiti
<b>D</b>	: Doz hızı
<b>ED</b>	: Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
<b>A</b>	: Aktivite Konsantrasyonu
<b>W<sub>m</sub></b>	: Bina İçi Kullanım Yüzdesi
<b>C<sub>rn</sub></b>	: Radon Konsantrasyonu
<b>Ra<sub>eq</sub></b>	: Radyum Eşdeğer Aktivitesi
<b>H<sub>ex</sub></b>	: Dış Zarar İndisi
<b>H<sub>in</sub></b>	: İç Zarar İndisi
<b>P<sub>r</sub></b>	: Gama Yayınlama Olasılığı
$\epsilon$	: Sistem Verimi
<b>E</b>	: Radon Salınım Hızı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> : Türkiye doğal taş ihracat rakamları (Dış Ticaret Müsteşarlığı, 2008; Uyanık, 2008) .....	2
<b>Çizelge 1.2</b> : Türkiye doğal taş ithalat rakamları (Dış Ticaret Müsteşarlığı, 2008; Uyanık, 2008) .....	2
<b>Çizelge 2.1</b> : Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Url-1, 2010). .....	9
<b>Çizelge 2.2</b> : Maruz kalınan dozun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı (Url-2, 2010). .....	12
<b>Çizelge 2.3</b> : <sup>222</sup> Rn ve bozunma ürünlerinin özellikleri (Çelebi ve diğ., 2003) .....	20
<b>Çizelge 2.4</b> : Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m <sup>3</sup> ) (Url-5, 2010). .....	24
<b>Çizelge 4.1</b> : Deneyde kullanılan granitik kayaç örnekleri.....	39
<b>Çizelge 4.2</b> : Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri .....	48
<b>Çizelge 4.3</b> : Detektörün performans özellikleri.....	48
<b>Çizelge 4.4</b> : Gama spektrometre sistemi için hesaplanan MDA değerleri.....	49
<b>Çizelge 4.5</b> : IPL standartına ait özellikler (DKD-K-36901, 2006). .....	49
<b>Çizelge 4.6</b> : Radyonüklit enerjileri için elde edilen verim değerleri.....	50
<b>Çizelge 5.1</b> : Ra ve Th tayininde kullanılan radyonüklidlere ilişkin gamma enerjileri ve intensiteleri.....	59
<b>Çizelge 5.2</b> : Gamma spektrometrik analiz sonucunda elde edilen <sup>226</sup> Ra, <sup>232</sup> Th ve <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	60
<b>Çizelge 5.3</b> : Granitlerde gözlenen doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonunun istatistik analizi .....	63
<b>Çizelge 5.4</b> : Kolmogorov-Smirnov Testi sonuçları.....	64
<b>Çizelge 5.5</b> : Granit örneklerinde saptanan radon konsantrasyonları, salınım hızları ve içsel yıllık etkin doz eşdeğeri. ....	66
<b>Çizelge 5.6</b> : Granit örneklerinin dışsal maruz kalmaya bağlı radyolojik özellikleri.70	



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Alfa bozunumu.....	6
Şekil 2.2 : İyonlaştırıcı radyasyonun gircilikleri .....	8
Şekil 2.3 : Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (Taşkın, 2006).....	11
Şekil 2.4 : Yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri (Url-2, 2010). .....	13
Şekil 2.5 : Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (Taşkın, 2006).....	15
Şekil 2.6 : Uranyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988). .....	17
Şekil 2.7 : Toryum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).....	18
Şekil 2.8 : Aktinyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988). .....	18
Şekil 2.9 : Binalarda radon giriş yerleri.....	22
Şekil 2.10 : Polonyum 218'in akciğerlerde birikimi sonucu DNA'da meydana gelen hasar. ....	25
Şekil 2.11 : Daimi radyoaktif denge (Turner, 2007). .....	26
Şekil 2.12 : Radyoaktif denge durumuna göre <sup>238</sup> U serisinin gruplandırılması (Yaprak,1995). .....	27
Şekil 2.13 : Radyasyondan korunma standartlarının oluşturulması (ICRP, 1991; Yaşar, 2006). .....	30
Şekil 4.1 : Deneyde kullanılan granitik kayaç örnekleri.....	40
Şekil 4.2 : Balyoz yardımıyla kırılan örnekler.....	40
Şekil 4.3 : İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi'nde bulunan Çeneli Kırıcı. ....	41
Şekil 4.4 : İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi'nde bulunan Merdaneli Kırıcı. ....	41
Şekil 4.5 : Marinelli kaplarındaki örnekler.....	42
Şekil 4.6 : İTÜ Maden Fakültesi İnce Kesit Hazırlama Atölyesi'nde bulunan kesici çark.....	43
Şekil 4.7 : İTÜ Maden Fakültesi İnce Kesit Hazırlama Atölyesi'nde bulunan ince kesit makinesi.....	43
Şekil 4.8 : Aşındırma tozları ile cam üzerindeki örneklerin inceltilmesi .....	44
Şekil 4.9 : Mineralojik inceleme için hazırlanan ince kesit örnekleri .....	44
Şekil 4.10 : CR-39 katı hal iz detektörleri .....	45
Şekil 4.11 : Diyafram malzeme ve üzerine yerleştirilen CR-39 detektörü.....	45
Şekil 4.12 : Detektörlerin granit örnek üzerindeki yerleşimleri (Rehman ve diğ., 2003; El-Amri ve diğ., 2003). .....	46
Şekil 4.13 : Detektör filmlerinin granit örneklerinin üzerine yerleştirilmesi .....	46
Şekil 4.14 : Bekleme aşamasındaki granit örnekleri. ....	47

<b>Şekil 4.15</b> : İTÜ Enerji Enstitüsü Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçüm Laboratuvarı ve Germanyum Detektörün Üstten Görünüşü.....	48
<b>Şekil 4.16</b> : İncelenen enerji aralığı için elde edilen verim kalibrasyon eğrisi.....	51
<b>Şekil 4.17</b> : CR-39 katıhal iz detektörü.....	52
<b>Şekil 4.18</b> : Radoslide detektör tutucu'ya yerleştirilmiş detektörler .....	52
<b>Şekil 4.19</b> : Kazıma diskine yerleştirilen radoslide detektör tutucuları.....	53
<b>Şekil 4.20</b> : Radobath iz kazıma ünitesi.....	53
<b>Şekil 4.21</b> : Radosys değerlendirme ünitesi.....	54
<b>Şekil 4.22</b> : Detektörler üzerinde meydana gelen alfa izlerinin sayım işlemi .....	55
<b>Şekil 4.23</b> : Okuyucu sistemin kalibrasyon doğrusu (Radosys, 2000). .....	56
<b>Şekil 4.24</b> : Standart bir polarizan mikroskop (Optik Mineraloji Ders Notları, 2008). .....	56
<b>Şekil 5.1</b> : Granit örneklerinde saptanan $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonları.....	61
<b>Şekil 5.2</b> : Granit örneklerinde saptanan $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları. ....	63
<b>Şekil 5.3</b> : Radosys iz okuma cihazından elde edilen (a) <i>Baltic Brown</i> ve (b) <i>Çin Balmoral</i> granit örneklerine ait detektörlerde meydana gelen izlerin mikroskopik görüntüsü.....	65
<b>Şekil 5.4</b> : Granit örnekleri için belirlenen radon konsantrasyonlarının oranı.....	67
<b>Şekil 5.5</b> : Granit örneklerindeki $^{222}\text{Rn}$ salınım hızı ve Radyum aktivite konsantrasyonları arasındaki ilişki .....	68
<b>Şekil 5.6</b> : Granit örnekleri için belirlenen Doz hızı değerleri.....	71
<b>Şekil 5.7</b> : Granit örnekleri için belirlenen etkin doz eşdeğerleri. ....	71
<b>Şekil 5.8</b> : Granit örnekleri için belirlenen radyum eşdeğer aktiviteleri.....	72
<b>Şekil 5.9</b> : Granit örnekleri için belirlenen $H_{in}$ ve $H_{ex}$ zarar indisleri .....	72
<b>Şekil 5.10</b> : Aksaray yaylak granitinin çıplak gözle görünümü.....	74
<b>Şekil 5.11</b> : Aksaray yaylak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit, Zr: zirkon) .....	74
<b>Şekil 5.12</b> : Aksaray pembe'nin çıplak gözle genel görünümü .....	75
<b>Şekil 5.13</b> : Aksaray pembe granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü pembe granitinin genel görünümü(Qu: kuvars, Ort: ortoklaz, Bi:biyotit) .....	76
<b>Şekil 5.14</b> : Bergama gri'nin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	77
<b>Şekil 5.15</b> : Bergama gri granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Amf: amfibol, Plj: plajiyoklaz, Sf: sfen) .....	77
<b>Şekil 5.16</b> : Balaban green granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.....	78
<b>Şekil 5.17</b> : Balaban green granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen) .....	79
<b>Şekil 5.18</b> : Giresun vizon granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	80
<b>Şekil 5.19</b> : Giresun vizon granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Ort: ortoklaz, Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen).....	80
<b>Şekil 5.20</b> : Çanakkale gri granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	81
<b>Şekil 5.21</b> : Çanakkale gri granitinin ince kesit görünümü (Plj: plajiyoklaz, Qu: kuvars, Ort: Ortoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen, Ap: apatit). ....	81
<b>Şekil 5.22</b> : Hisar yaylak granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	82
<b>Şekil 5.23</b> : Hisar yaylak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Ep: epidot).....	82



<b>Şekil 5.24</b> : Kozak granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	83
<b>Şekil 5.25</b> : Kozak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Zr: zirkon) .....	83
<b>Şekil 5.26</b> : Çin brown porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.....	84
<b>Şekil 5.27</b> : Çin brown porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon) .....	84
<b>Şekil 5.28</b> : Çin porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	85
<b>Şekil 5.29</b> : Çin porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit) .....	85
<b>Şekil 5.30</b> : Hindistan star galaksi çıplak gözle genel bir görünümü. ....	86
<b>Şekil 5.31</b> : Star galaksi granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Px: piroksen).....	86
<b>Şekil 5.32</b> : Hindistan coral mist granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	87
<b>Şekil 5.33</b> : Coral mist granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon, Sf:sfen, Mu: muskovit).....	87
<b>Şekil 5.34</b> : İtalya rosa beta granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	88
<b>Şekil 5.35</b> : İtalya rosa beta granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Ap: apatit, Zr: zirkon).....	88
<b>Şekil 5.36</b> : Çin sardo granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	89
<b>Şekil 5.37</b> : Çin sardo granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon, Sf: sfen).....	89
<b>Şekil 5.38</b> : Hindistan siyah granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	90
<b>Şekil 5.39</b> : Hindistan siyah granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Di: diyopsit, Ap: apatit) .....	90
<b>Şekil 5.40</b> : Coral maron granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	91
<b>Şekil 5.41</b> : Hindistan coral maron granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Mk: mikroklin, Ap: apatit, Zr: zirkon).....	91
<b>Şekil 5.42</b> : İspanya rosavel granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	92
<b>Şekil 5.43</b> : İspanya rosavel granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Kl: klorit, Ap: apatit, Zr: zirkon).....	92
<b>Şekil 5.44</b> : Brezilya giallo ornamentale granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	93
<b>Şekil 5.45</b> : Brezilya giallo ornamentale granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Sf: sfen, Zr: zirkon).....	93
<b>Şekil 5.46</b> : Sanboa red granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.....	94
<b>Şekil 5.47</b> : Sanboa red granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Al: allanit).....	94
<b>Şekil 5.48</b> : Norveç blue pearl granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	95
<b>Şekil 5.49</b> : Norveç blue pearl granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ol: olivin).....	95
<b>Şekil 5.50</b> : Çin balmoral granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	96
<b>Şekil 5.51</b> : Çin balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Bi: biyotit, Ep: epidot, Zr: zirkon) .....	96
<b>Şekil 5.52</b> : İspanya rosa minho granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	97

<b>Şekil 5.53</b> : İspanya rosa minho granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Ep: epidot, Zr: zirkon).....	98
<b>Şekil 5.54</b> : Rosy pink granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	98
<b>Şekil 5.55</b> : Hindistan rosy pink granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Zr: zirkon) .....	99
<b>Şekil 5.56</b> : Verde Guatemala granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	99
<b>Şekil 5.57</b> : Verde Guatemala ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Di: diyopsit, Vol: vollanit). ....	100
<b>Şekil 5.58</b> : Baltic brown granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	101
<b>Şekil 5.59</b> : Baltic brown granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Ort: ortoklaz, Ep: epidot, Zr: zirkon) .....	101
<b>Şekil 5.60</b> : Rosa porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	102
<b>Şekil 5.61</b> : Rosa porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Kl: klorit, Al: allanit, Zr: zirkon).....	102
<b>Şekil 5.62</b> : Finlandiya rosa balmoral granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	103
<b>Şekil 5.63</b> : Finlandiya rosa balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Per: pertit, Mu: muskovit).....	103
<b>Şekil 5.64</b> : Finlandiya rosa balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Mu: muskovit, Zr: zirkon).....	104
<b>Şekil 5.65</b> : İtalyan porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	105
<b>Şekil 5.66</b> : İtalya porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz) .....	105
<b>Şekil 5.67</b> : İtalya porrino granit ince kesit örneğinin tek nikolde elde edilen optik mikroskop görüntüsü (Sf: sfen, Ap: apatit, Zr: zirkon).....	106
<b>Şekil 5.68</b> : Brezilya jaguar granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	106
<b>Şekil 5.69</b> : Brezilya jaguar granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Ort: ortoklaz).....	107
<b>Şekil 5.70</b> : Brezilya jaguar granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit, Zr: zirkon) .....	107
<b>Şekil 5.71</b> : Green butterfly granitinin çıplak gözle genel bir görünümü. ....	108
<b>Şekil 5.72</b> : Green butterfly granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Ort: ortoklaz, Zr: zirkon).....	108
<b>Şekil A.1</b> : Gama spektrometre sisteminin verim kalibrasyonunda kullanılan standart kaynağın sertifikası.....	123

## GRANİTİK KAYAÇLARIN RADYOLOJİK VE MİNERALOJİK YÖNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı kökenli granitik kayaçların radyolojik yönden değerlendirilmesi amaçlanmış, bu doğrultuda ölçümler için hazır hale getirilen 8 tanesi yerli toplam 30 granit örneğinin doğal radyonüklid konsantrasyonları yüksek saflıkta germanyum detektörü kullanılarak gama spektrometre yöntemi ile belirlenmiştir. Aktivite konsantrasyonlarından yola çıkarak bina içi ortamda maruz kalınan gamma doz hızları, yıllık etkin doz eşdeğerleri, radyum eşdeğer aktiviteleri, iç ve dış zarar indisleri belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin radon salınım hızları CR-39 katihal iz detektörleri kullanılarak, “Sealed Can” yöntemi ile ölçülmüş ve bina içi ortamda radona bağlı içsel maruz kalma ile oluşacak radyolojik zarar indisleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak granit örneklerinden ince kesit alınarak mineralojik analizleri de yapılmış, böylece radyoaktiviteye sebep olan mineraller belirlenmiştir.

Granit örnekleri için gama spektrometrik analiz yöntemi ile elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla,  $0.74 \pm 0.05$  Bq/kg ile  $185.55 \pm 1.31$  Bq/kg,  $0.52 \pm 0.10$  Bq/kg ile  $248.54 \pm 1.74$  Bq/kg ve  $<\text{MDA}$  ile  $1934.83 \pm 10.45$  Bq/Kg arasında olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan  $R_{\text{aeq}}$  aktivitelerinin  $1.48 - 667.25$  Bq/kg,  $H_{\text{ex}}$  zarar indekslerinin  $0.004 - 1.8$  ve  $H_{\text{in}}$  zarar indekslerinin  $0.01-2.36$  arasında değiştiği gözlenmiştir. Bina içi kullanım oranları dikkate alındığında; doz hızları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri sırasıyla;  $0.16$  ile  $78.65$  nGy/h arasında ve  $0.81$  ile  $385.85$   $\mu\text{Sv/y}$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Radon salınım hızları için elde edilen değerlerin  $0.020$  Bq/m<sup>2</sup>h ile  $0.849$  Bq/m<sup>2</sup>h arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen yerli ve yabancı granit örneklerinin, binalardaki kullanım oranları dikkate alındığında, bina içi ortamda kullanımının güvenli olduğu belirlenmiştir.

Yapılan mineralojik analizler sonucunda, yapısında aksesuar ve tali minerallere rastlanan granit örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının nispeten yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olan örneklerin ise alkali feldspatlar, mika ve plajiyoklazlar açısından zengin olduğu belirlenmiştir.



## **RADIOLOGICAL AND MINERALOGICAL INVESTIGATION OF GRANITIC ROCKS**

### **SUMMARY**

In present study, it is aimed to investigate the radiological and mineralogical features of local and imported granites commonly used in Turkey, with this purpose, natural radionuclide concentrations of 30 granite samples were analyzed by using gamma ray spectrometer method with high purity germanium detector. Using the activity concentrations; gamma dose rates, annual effective dose equivalents, radium equivalent activities, internal and external hazard indices sourced by external exposure of indoor gamma rays were determined. Radon exhalation rates of granite samples were also evaluated by using “Sealed Can” technique with CR-39 solid-state nuclear track detectors and the radiological hazard indices, sourced by internal exposure of the indoor radon gas, were determined. In addition to these results, granite tiles were also analyzed mineralogically with using the thin sections of samples, in this manner, radioactivity-causing minerals determined.

The activity concentrations, that obtained by using gamma ray spectrometer system, measured for  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  ranged from  $0.74 \pm 0.05$  Bq/kg to  $185.55 \pm 1.31$  Bq/kg,  $0.52 \pm 0.10$  Bq/kg to  $248.54 \pm 1.74$  Bq/kg and  $<\text{MDA}$  to  $1934.83 \pm 10.45$  Bq/Kg, respectively. Calculated Radium equivalent activities,  $H_{\text{in}}$  and  $H_{\text{ex}}$  hazard indices ranged from 1.48 Bq/kg to 667.25 Bq/kg, 0.01 to 2.36, 0.004 to 1.8 respectively. Gamma dose rates and annual affective dose equivalent values were obtained from 0.16 nGy/h to 78.65 nGy/h and 0.81  $\mu\text{Sv/y}$  to 385.85  $\mu\text{Sv/y}$  for the mass utilization factor of the granite samples. The obtained values for the radon exhalation rates, ranged from 0.020 Bq/m<sup>2</sup>h to 0.849 Bq/m<sup>2</sup>h. It has been determined that local and imported granite samples which are investigated in this study, can be safely used as building and ornamental materials for dwelling constructions, take into consideration the fractional usage of the material in the dwelling.

As a result of mineralogical analyzes, it was observed that presence of large amount accessory and secondary minerals are the sources of high  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  activity concentrations. The samples that have high  $^{40}\text{K}$  activity concentrations, include large amount of potash feldspars, mica and plagioclase.



## 1. GİRİŞ

Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra ticari olarak işletilebilen en eski inşaat malzemeleridir. Tarih boyunca insanoğlu tarafından yapılarda ve anıtlarda güzelliği, dayanıklılığı nedeniyle kullanılmışlardır. Zamanla kullanımı artan doğal taşlar günümüzde özellikle inşaat, kaplama, döşeme, heykeltçilik, mezar taşı yapımı, mıcır, porselen ve cam sanayi, optik sanayi ve süs eşyası yapımında kullanılmaktadır. Doğal taş sektörü, son dönemde yeni üreticilerin de pazara girmesiyle ivme kazanan; hem ülkemiz hem de dünya ticareti için önem arz eden sektörler arasındadır.

Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer alan Türkiye, 5,1 milyar m<sup>3</sup> muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık gelmektedir. Türk doğal taş sektörü; çeşit ve rezerv zenginliği, sektör deneyimi, ham madde bolluğu, deniz ulaşımında nakliye kolaylığı, dinamik sektör yapısı, kullanılan yeni teknolojiler ve geniş renk skalası ile dünya doğal taş piyasasında önemli bir yere sahiptir (Uyanık, 2008).

Doğal taşlar grubunda mermerden sonra ikinci önemli taş granittir. Plütonik magmatik kökenli bir kayaç olan granit, asidik bir bileşime sahiptir (Uyanık, 2008). Grinin çeşitli tonlarında renklere sahip olan granitler, genellikle dış kaplama ve yer döşemesinde kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe kullanılan granit, iyi cila alma, renk çekiciliği ve sağlamlığı sayesinde aynı zamanda figür işlemeciliğinde de kullanılmaktadır. Ülkemizdeki önemli rezervler Ordu, Rize, Trabzon, Balıkesir, Kırklareli, Kırşehir, Bolu, İzmit, Çanakkale ve İzmir'de bulunmaktadır. Parlak görünümü ve dayanıklılığı ile genellikle gelişmiş ülkelerde tercih edilen granitin kullanımı son zamanlarda ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Çizelge 1.1'de 2005 ve 2007 yılları arasında gerçekleşen Türkiye doğal taşlarına ait ihracat rakamları verilmiştir.

**Çizelge 1.1 :** Türkiye doğal taş ihracat rakamları (Dış Ticaret Müsteşarlığı, 2008; Uyanık, 2008)

Ürünler	2005		2006		2007	
	Miktar (ton)	Değer (1000\$)	Miktar (ton)	Değer (1000\$)	Miktar (ton)	Değer (1000\$)
Blok mermer	1.569.165	159.682	2.140.163	244.084	2.675.034	338.842
İşlenmiş mermer	1.230.143	603.723	1.408.620	736.926	1.553.769	843.553
Blok granit	188.688	12.563	206.568	14.530	230.609	18.683
İşlenmiş granit	18.024	9.841	20.011	9.340	30.700	12.384
Diğerleri	33.818	15.527	29.441	15.112	141.865	18.238
TOPLAM	3 039 838	801 336	3 804 803	1 019 992	4.631.977	1.231.700

Çizelge 1.2’de ise 2005 ve 2007 yılları arasında gerçekleşen doğal taş ithalat rakamları verilmiştir.

**Çizelge 1.2 :** Türkiye doğal taş ithalat rakamları (Dış Ticaret Müsteşarlığı, 2008; Uyanık, 2008)

Ürünler	2005		2006		2007	
	Miktar (ton)	Değer (1000\$)	Miktar (ton)	Değer (1000\$)	Miktar (ton)	Değer (1000\$)
Blok mermer	3.273	923	4.790	1.065	4.101	1.722
Blok granit	132.133	18.958	143.486	21.367	178.438	26.902
İşlenmiş mermer	13.935	8.872	14.812	9.932	20.157	17.045
İşlenmiş granit	112.711	52.310	181.230	102.265	187.688	106.955
Diğer taşlar	7.136	3.343	10.669	4.167	11.011	4.425
TOPLAM	269.188	84.406	354.987	138.796	401.395	157.049

Son yıllara kadar doğal taş ithalatımız, ihracatta görülen artışın aksine ya sabit kalıyor ya da çok az artış gösteriyordu. Ancak özellikle Çin’den yapılan ithalatın artmasıyla beraber doğal taş ithalatı da artmaya başlamış ve 2007 yılında bir önceki yıla göre %13 artış göstererek 157 bin dolara ulaşmıştır. İthalatta en önemli pay %68’lik paya sahip olan işlenmiş granit olurken; bu ürünü %17’lik değerle blok granit ve %11 ile blok mermer izlemiştir. İşlenmiş granit ithalatı yapılan en önemli ülkeler Çin, İspanya, İtalya ve Hindistan’dır (DPT, 2006). İthalatta meydana gelen bu artış göz önünde bulundurulduğunda ülkemizden çıkarılan granitlerin yanı sıra ithal edilen granitlerde de petrokimyasal, mineralojik, petrografik, fiziksel, jeomekanik ve radyolojik özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir.

Doğal taşlar arasında yüksek miktarlardaki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  içerikleri nedeniyle granitler radyolojik yönden ön plana çıkmaktadır. Bazı bölgelerde çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayalar önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar göstermiştir ki, bu kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen



gama radyasyonları oldukça yüksektir. Bu bölgelerde yaşayan insanların doğal kaynaklardan aldıkları yıllık radyasyon dozları diğer bölgelerde yaşayan insanlara nazaran çok daha fazladır. Granitlerin, özellikle bina-içi kullanımları esnasında, içerdikleri doğal radyonüklitler nedeniyle radyolojik açıdan incelenmeleri gerekmektedir

İnsanların zamanlarının çoğunu kapalı mekânlarda geçirdikleri düşünüldüğünde ev içi radyasyon seviyelerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. 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 (Yaşar, 2006).

Bu çalışmada yerli ve ithal granit örneklerinin radyolojik ve mineralojik yönden incelenmesi amaçlanmıştır. Radyolojik risk değerlendirmelerinde dışsal maruz kalmaya ilişkin zarar indislerinin belirlenmesinde öncelikle radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Bina materyallerindeki radyonüklid içeriği nedeniyle bina içinde maruz kalınan doz seviyeleri için ICRP ve UNSCEAR gibi uluslar arası kuruluşların insan sağlığını dikkate alarak tavsiye ettiği limit değerler bulunmaktadır. Söz konusu kuruluşlar dışsal radyolojik risk değerlendirmelerinde limit değerleri belirlerken nüfuziyeti diğer radyasyon türlerine göre daha fazla olan gama radyasyonunu dikkate almışlardır. Bu doğrultuda çalışmamızda da aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde gama spektrometrik analiz yönteminin kullanılması benimsenmiştir. Radyolojik risk açısından içsel maruz kalma büyük ölçüde ortamdaki radon ve bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıklarından kaynaklanmaktadır. Çalışmamızda radona bağlı radyolojik risk değerlendirmelerinin yapılabilmesi için radon salınım hızları “Sealed Can” yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Radyolojik risk faktörlerinin belirlenmesinin yanı sıra granit örneklerinin mineralojik analizleri de yapılarak, numunelerde radyoaktiviteye sebep olan mineraller belirlenmiştir.



## 2. ÇEVRESEL RADYOAKTİVİTE VE RADYOLOJİK RİSK FAKTÖRLERİ

### 2.1 Radyoaktivite, Radyasyon ve Çeşitleri

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Radyoaktivite; atom çekirdeklerinin, bazı parçacıklar ve enerji yayımlayarak kendiliğinden bozunması olayıdır. Bu bozunma, çekirdek kendiliğinden kararlı bir duruma gelinceye kadar devam etmektedir (Karaman, 2003).

Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik, radyoizotop insan tarafından yapay olarak reaktörlerde veya hızlandırıcılarda üretiliyorsa buna da yapay radyoaktiflik denir.

Radyasyon; partikül akımı ile veya dalga tabiatına uygun olarak, bir maddeye veya ortama enerji transfer edilmiştir (Glass ve diğ., 1962; Karaman, 2003). Bu tanım kapsamında doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya gelebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de "radyasyon" olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar "parçacık" ve "dalga" tipi radyasyonlardır.

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla ( $3 \times 10^8$  m/saniye) hareket ederler.

Radyasyonları, madde içine nüfuz edip cisim oluşturan atomları iyonlaştırması ve iyonlaştırmaması itibariyle de iki sınıfa ayırmamız mümkündür. Bunlar, "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" radyasyonlardır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon elektromanyetik radyasyon olarak da bilinmekte ve madde ile etkileştiğinde madde atomlarında iyonlaştırma meydana getirememektedir.

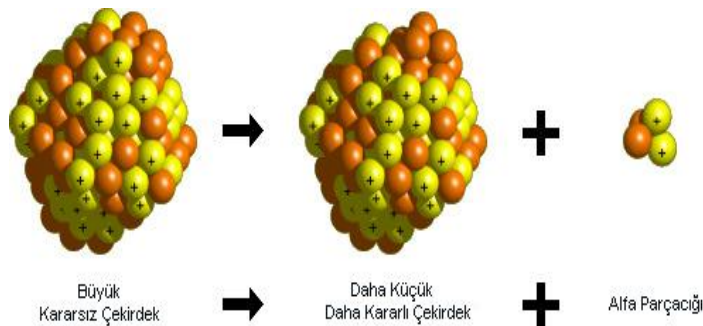
İyonlaştırıcı radyasyon ise, geçtikleri maddesel ortamlarda atomların elektronlarını kopararak onları iyonlaştırabilen radyasyon çeşididir. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir (Göksel, 1973; Taşkın, 2006).

Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlardır.

### 2.1.1 Alfa bozunumu

Alfa parçacıkları yüksek hızlı helyum çekirdekleri olup bazı radyoaktif nüklidler ve parçacık hızlandırıcıları tarafından yayınlanırlar. Her alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş olup iki pozitif elementer yük taşır. Çekirdeğin alfa bozunumu yapması olayı genellikle atom numarası büyük olan izotoplarda görülür. Alfa parçacığı yayınlanan çekirdeklerin kütle numarası 4, atom numarası 2 azalır.

Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altında olup bunları çok küçük bir madde kalınlığı ile durdurmak mümkündür. Bu ağır parçacıklar madde içinden geçerken nispeten büyük olan elektrik yükleri nedeniyle yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek enerjilerini çabucak kaybederler. Doğal radyoaktif maddeler tarafından yayınlanan alfa parçacıklarının enerjileri 3,8 Mev ile 8,78 MeV arasında değişmekte olup, kuru havadaki erişme uzaklıkları 2,8 cm ile 8,6 cm arasında değerler almaktadır. Alfa parçacıkları, erişme uzaklıklarının kısa oluşundan, normal olarak, bir dış radyasyon tehlikesi yaratmazlarsa da alfa parçacıkları yayınlayan radyonüklitler mide, solunum veya yaralar yolu ile vücuda girdikleri takdirde tehlike arz ederler (Göksel, 1973). Şekil 2.1' de alfa bozunumunun temsili gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Alfa bozunumu.

### 2.1.2 Beta bozunumu

Beta ışınları da alfa ışınları gibi kararsız bir çekirdeğin kararlı hale geçerken yaydığı ışınlardır. Çekirdeğin kararsızlığı nötron ve proton sayılarının farklı olmasından kaynaklanıyorsa, çekirdek kararlı hale geçmek için bir  $\beta$  yayınlayacaktır. Bu farklılık  $N>Z$  şeklinde ise, çekirdeğin içindeki bir nötron bir protona dönüşecektir. Bu dönüşümden çekirdekte oluşan elektronlara  $\beta^-$  parçacıkları denir. Eğer kararsızlığın şekli  $Z>N$  ise çekirdekteki bir proton nötrona dönüşür ve pozitron adı verilen  $\beta^+$  yayımlanır. Bu durumda atomun proton sayısı bir eksilir.

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Yine de bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir (Taşkın, 2006).

### 2.1.3 X ışınları

Röntgen ışınları da denilen X-ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga şeklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk yörüngelerinden elektronlar koparılır. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek düzeylerden (üst yörüngelerden) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır (Köklü, 2006).

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

### 2.1.4 Gama ışınları

Gama ışınları, X ışınları gibi elektromanyetik ışınlardır. Ancak gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya beta parçacığı yayımladıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Kalan fazla çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır. Gama ışınları, beta ışınlarından daha

yüksek enerjili ve dolayısıyla daha nüfuz edici ışınlardır. “ $\gamma$ ” sembolü ile sembolize edilirler.

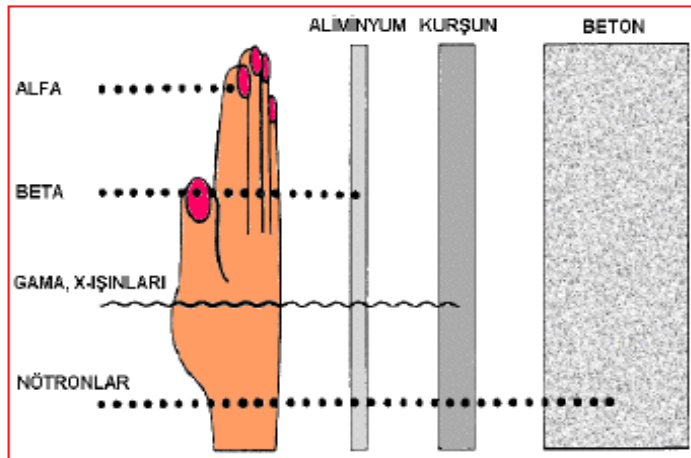
Gama ve X ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise daha azdır. Ancak birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla dahi sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler (Köklü, 2006).

### 2.1.5 Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır, vücut içersine kolayca nüfuz edebilirler ve dolaylı olarak dokularda iyonizasyonla zarar oluştururlar. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Madde içinden geçerken yolları üzerinde direkt iyonizasyon meydana getirmemekle birlikte, atom çekirdekleri ile çarpışmak sureti ile protonlar gibi iyonlaştırıcı parçacıkların yayınlanmasıyla birlikte dolaylı yoldan iyonizasyona sebep olurlar. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleriyle durdurulabilirler (Taşkın, 2006).

Nötronlar fisyon olayı esnasında, nükleer reaksiyonlarla ve hızlandırıcılar aracılığıyla elde edilirler. Atom çekirdeğinin nötron ve protonlardan oluşması nedeniyle bazı nükleer reaksiyonlar, çekirdeğin parçalanması ve hızlandırıcılarla yüksek enerji uygulanması nötronların açığa çıkmasını sağlar (Keskin, 2004).

Şekil 2.2’ de iyonlaştırıcı radyasyonun giricilikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : İyonlaştırıcı radyasyonun giricilikleri

## 2.2 Radyoaktivite Birimleri

Verilen bir numunede mevcut radyoaktif atomların mutlak sayısını bilmekten ziyade saniyede parçalanın atom sayısını bilmek daha önemlidir. Bu yüzden radyoaktivite birimi olarak birim zamandaki parçalanma sayısı alınmıştır. Radyoaktif atomların sayısı doğrudan ölçülemediğinden ölçme metotlarında;

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.1)$$

bağıntısı kullanılır. Bu ifade radyoaktif atomların herhangi bir zamandaki bozunma hızının, aynı zamandaki mevcut radyoaktif atomların sayısının, bozunma sabiti ile çarpımına eşit olduğunu gösterir.

Aktivite;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

denklemleri ile elde edilir. (2.2) eşitliğinde N ve N<sub>0</sub>'ın her ikisi birim zamandaki bozulan atomların sayısı cinsinden ölçülmektedir. Çizelge 2.1'de Radyoaktivite birimlerinin eski birimleri ve yeni birimleri gösterilmektedir.

Başlıca radyasyon birimleri olarak Aktivite, Işınlama, Absorblanan (Soğrulan) Doz, Eşdeğer Doz kullanılır. ICRU (Uluslararası Radyasyon Birimler Komisyonu), aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, soğrulan doz için Rad, eşdeğer doz için Rem'i radyasyon birimleri olarak kabul etmişlerdir. MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi'nin (International System of Unit, SI) kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu kabule göre eski birimler yerine Becquerel (Bq), Röntgen (R), Gray (Gy), Sievert (Sv) birimleri kabul edilmiştir. Eski ve yeni birimler arasındaki dönüşüm faktörleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1 :** Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Url-1, 2010).

Büyükük	SI Birimi ve Sembölü	Eski Birimler ve Sembölü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1Ci= 3,7x10 <sup>10</sup> Bq
Işınlama	(C/kg)	Röntgen (R)	1C/kg= 3876 R
Soğurulmuş Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1Gy= 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	1Sv= 100 rem

### 2.2.1 Aktivite birimi

Aktivite birimi Becquerel olup, saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilir. Genelde kullanılan aktivite birimi Curie'dir ve saniyede  $3,7 \times 10^{10}$  parçalanma olarak tanımlanır (Turner, 2007). Curie, genelde aktivitesi büyük olan, Becquerel ise aktivitesi küçük olan radyasyon kaynakları için kullanılırlar.

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

### 2.2.2 Işınlama dozu

Birim hava kütlesi içinde meydana gelen iyonizasyondur. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel adı yoktur. Işınlama birimi C/kg (Coulomb/kg) olarak ifade edilir. Eski ışınlama birimi ise Röntgen olup (R) olup, SI birim sistemine göre değeri;  $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$  olarak ifade edilir (Çelebi, 1995).

### 2.2.3 Soğurulmuş doz

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. Herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun soğurulmuş dozu, bu radyasyon tarafından ilgilenilen noktada birim kütledeki maddeye aktarılan enerji miktarıdır (IAEA, 1980; ICRP, 1980). SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun dozudur. Eski özel birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurumuna eşdeğerdir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/Kg} = 100 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad } \text{'dır.}$$



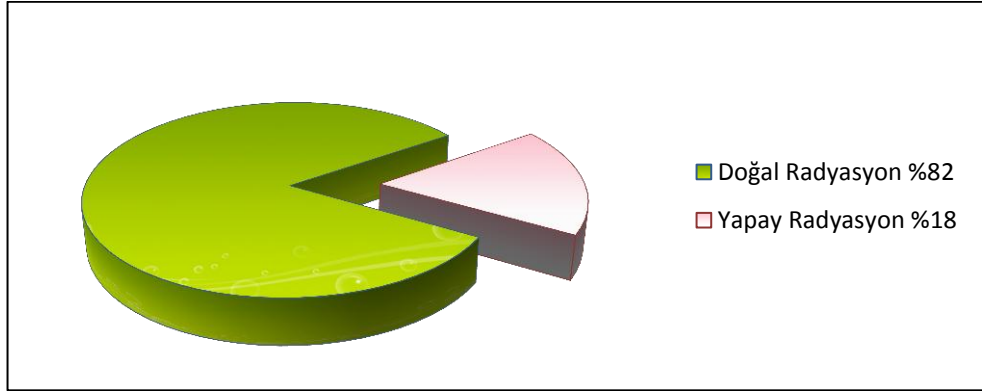
### 2.2.4 Doz eşdeğeri

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan birim rem'dir. Doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarlarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir.

1 Sv = 1 J K/g 1 Sv = 100 rem 'dir.

### 2.3 Radyasyon Kaynakları

İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar, yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile doz alınmaktadır. Yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, dünya genelinde kişi başına yaklaşık 2,5 mSv yıllık doza maruz kalınmaktadır (UNSCEAR, 1988). Şekil 2.3' de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oranı verilmiştir.



**Şekil 2.3 :** Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları (Taşkın, 2006).

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 2.2'de verilmektedir (Göksel, 1973; Keskin, 2004; Url-2, 2010).

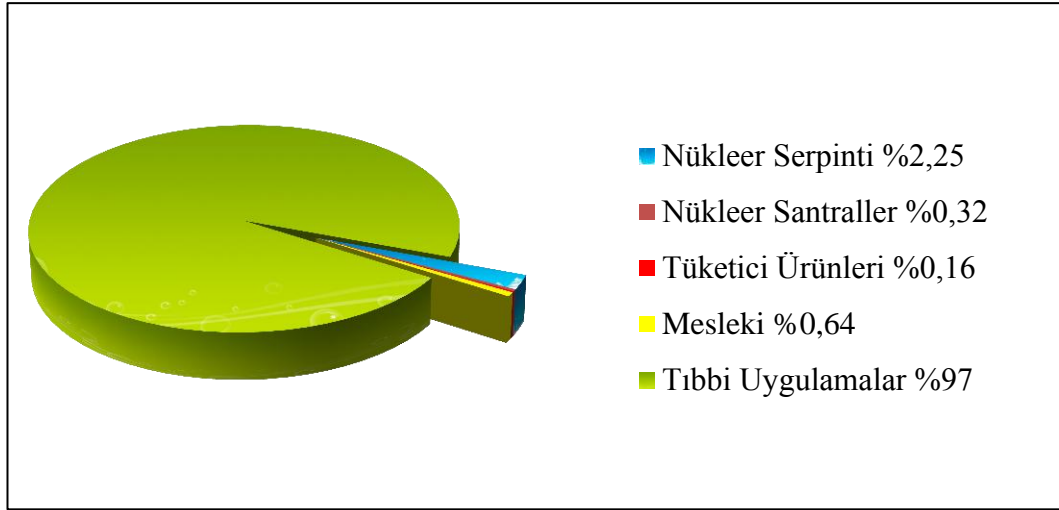
**Çizelge 2.2 :** Maruz kalınan dozun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı (Url-2, 2010).

Radyasyon Kaynağı	Maruz Kalınan Doz
Kozmik	0.39 mSv
Gama	0.46 mSv
İç	0.23 mSv
Radon	1.30 mSv
Tıbbi	0.30 mSv
Serpinti	0.007 mSv
Mesleki	0.002 mSv
Atıklar	0.001 mSv
Tüketici Ürünleri	0.0005 mSv

### 2.3.1 Yapay radyasyon kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir (Akkurt, 2006).

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Göksel, 1973; Keskin, 2004). Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyonun oransal değerleri Şekil 2.4’de görülmektedir.



**Şekil 2.4 :** Yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri (Url-2, 2010).

### 2.3.1.1 Tıbbi Uygulamalar

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

Radyasyonun tıbbi alanda yaygın kullanılmakta olan ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi X ışınlarıdır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan X ışınları, hastadan geçirilerek hastalıklı bölgenin görüntüsü röntgen filmi olarak da adlandırılan radyografi filmi şeklinde elde edilir. Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Bu tür çalışmalarda radyoaktif madde, vücuda, radyoaktif maddenin incelenecek dokuda toplanmasını ve geçici bir süre buraya yerleşmesini sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilerek verilir. Radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışı, vücuda verilen radyoaktif maddeden salınan gama ışınlarını algılayacak özelliklere sahip cihazlarla elde edilir.

Radyoterapi, kanser hastalıklarının %50'sinin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Yaygın olarak yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve <sup>60</sup>Co radyoaktif kaynaklı cihazlar kullanılır. Tedavinin amacına ulaşması tedavi edilecek bölgeye gerekli doz verilirken, sağlam doku ve organların dozunun minimum düzeyde tutulmasıyla mümkün olur (Url-3, 2010).

### **2.3.1.2 Endüstriyel Uygulamalar**

X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamları, vb.) her hangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu çalışmalar genel olarak radyografi olarak adlandırılırlar. Radyografi dışında radyasyondan yararlanılarak yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kâğıt, plastik, çimento, şeker, vb.) üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır. Işınlama tesislerinde gıda ışınlanması ve tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin sterilizasyonu yapılmaktadır. Radyasyondan yararlanılarak akarsularda debi ölçümü, barajlarda su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takibinin yanı sıra mutasyona uğratılan tohumların daha verimli ve dayanıklı hale getirilmesi de sağlanmaktadır (Url-3, 2010).

### **2.3.1.3 Nükleer Serpinti**

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır. Ancak 1960'lı yılların başlarında bu yolla maruz kalınan radyasyon dozu günümüzde nispeten azalmıştır. Bununla birlikte, yer üstü ve hatta yeraltında yapılan bu tür denemeler bölgesel ve küresel kirliliğe neden olmaktadır (Url-3, 2010; Gollnick, 1988).

### **2.3.1.4 Nükleer Güç Santralleri**

Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu önemli miktarda enerji açığa çıkar. Bu şekilde elde edilen enerji “nükleer enerji” tanımı içinde yer alır. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile ortaya çıkan enerji yardımıyla elektrik enerjisi elde edilir. Nükleer yakıt döngüsü, uranyumun madencilik aşamasından işlenişi, taşınması ve enerji üretimi dâhil olmak üzere her aşamada radyasyon kaynağıdır (Url-3, 2010).

### **2.3.1.5 Tüketici Ürünleri**

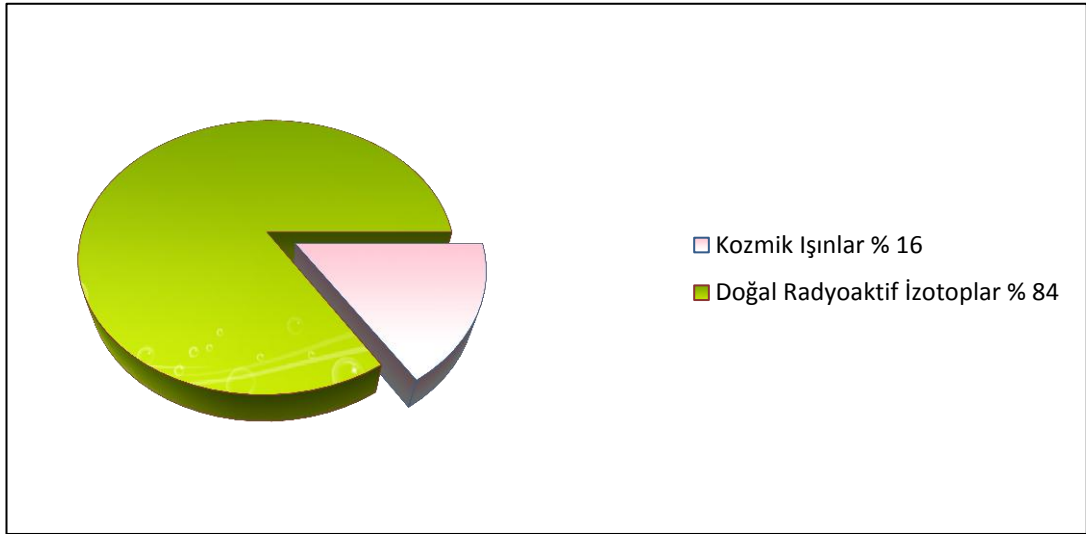
Televizyonlar, duman detektörleri, fosforlu saatler, inşaat malzemeleri, bazı yanıcı gazlar, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerirler. Kömür ve fosfat kayaçları uranyum, radyum, <sup>40</sup>K

ve toryum içerirler. Fosfatın gübre ve kömürün yakıt olarak kullanılması esnasında çevreye az da olsa belli bir radyasyon dozu verilir (Url-3, 2010; Gollnick, 1988).

### 2.3.2 Doğal radyasyon kaynakları

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar.

Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar ve karasal radyasyondan kaynaklanmaktadır. Yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplar karasal radyasyonu oluşturmaktadır. Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv' in üzerindedir (Url-4, 2010). Şekil 2.5' de doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oranları verilmiştir.



**Şekil 2.5 :** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (Taşkın, 2006).

### 2.3.2.1 Kozmik ışınlar

Kozmik ışınlardan kaynaklanan iyonizasyon, enlemin ve denizden yüksekliğin fonksiyonudur. Kozmik ışın dozu, yeryüzünden 12 km yüksekliğe kadar her 1500 m'de iki katına çıkmaktadır. Havadaki kozmik ışın dozu deniz seviyesinde ve herhangi bir enlemde  $\sim 30 \text{ nGy/h}$  iken 12 km ve daha üstünde bu değer  $4000 \text{ nGy/h}$ 'a çıkmaktadır (UNSCEAR, 1988).

Kozmik ışınların iyonizasyon bileşeni için, binaların zırh etkisi, nüfus gruplarının yüksekliğe göre dağılımı dikkate alınarak, kozmik ışınların neden olduğu ortalama etkin doz eşdeğeri  $390 \mu\text{Sv}$  olarak tahmin edilmektedir (UNSCEAR, 2000).

Yeryüzü atmosferine giren kozmik ışınların miktarı yeryüzünün manyetik alanından da etkilenir. Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir. Bu ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından azar azar tutulurlar. Bu nedenle; yükseklik azaldıkça, doz miktarı da azalır. İnsanların büyük çoğunluğu yüksekliği az olan bölgelerde yaşadıkları için kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılıklar gözlenmez. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu nedenle bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır (Taşkın, 2006).

Kozmik radyasyonlar dünya atmosferine girdiklerinde atmosferde bulunan bazı elementlerle nükleer reaksiyonlara girerler. Bu reaksiyonlar sonucu başka ışınlar üretilir. Uzaydan gelen bu ışınlara birincil ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen partiküllere de ikincil ışınlar denir. Kozmik ışın partikül enerjileri çoğunlukla  $10^2$  ile  $10^5 \text{ MeV}$  arasında değişmektedirler. Bu enerji aralığı, solar sistem içindeki magnetik alanların değişiminden etkilenir (Theodorsson, 1996).

### 2.3.2.2 Karasal radyasyon kaynakları

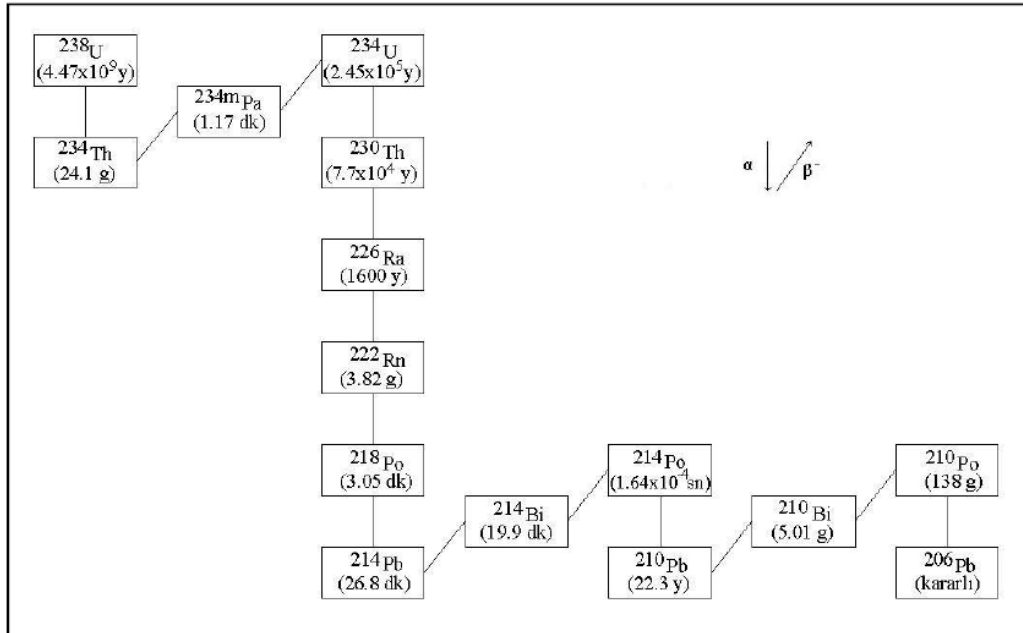
Karasal kökenli doğal radyasyon, yer kabuğunda bulunan ve dünyanın başlangıcından beri ( $4.5 \times 10^9$  yıl) var olan (primordial) radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır. Radyolojik risk açısından en önemli primordial radyonüklitler;  $^{40}\text{K}$  ve  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serileri ile bu serilerin bozunum ürünleridir.

Doğada her biri ağır bir radyoizotoptan başlayan üç radyoaktif bozunum serisi bulunmaktadır. Bunlar:

- Uranyum serisi ( $^{238}\text{U}$  kaynaklı)
- Toryum serisi ( $^{232}\text{Th}$  kaynaklı)
- Aktinyum serisi ( $^{235}\text{U}$  kaynaklı) dir.

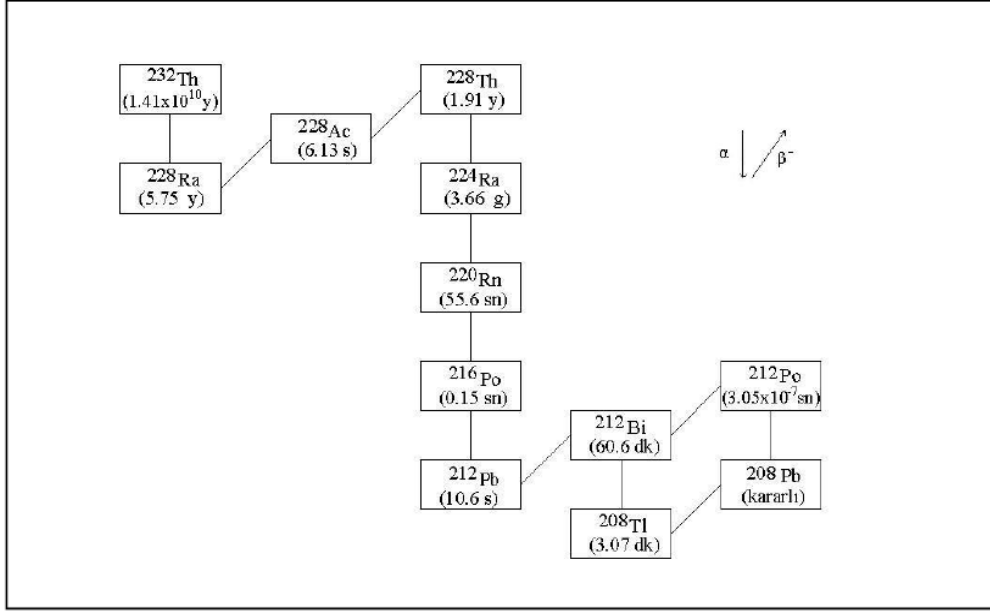
Her üç radyoaktif ailede ortak olarak birçok uzun yarı ömürlü üye ile bir gaz üye bulunmakta ve her üç aile de bir kararlı kurşun izotopu ile sona ermektedir (Valkovic, 2000).

Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır.  $^{238}\text{U}$  birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı  $^{206}\text{Pb}$  haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu ( $^{222}\text{Rn}$ ) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Şekil 2.6’da uranyum serisi verilmiştir.



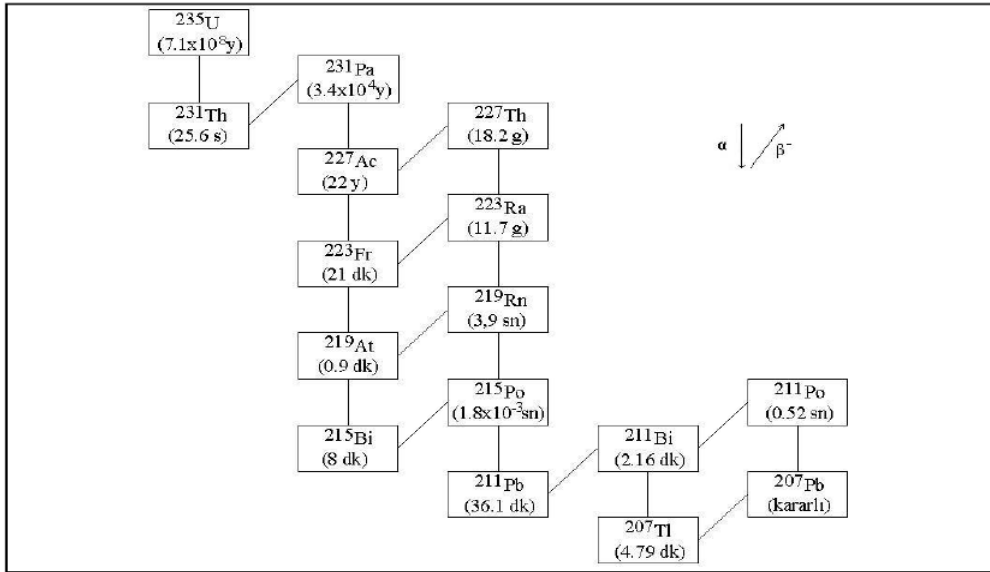
**Şekil 2.6 :** Uranyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).

$^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  serileri, aynı elementlerin (radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum) izotoplarını içermeleri nedeniyle benzer özellikler gösterirler. İki seri arasındaki temel fark,  $^{232}\text{Th}$ 'nin bozunum zincirindeki çok uzun ömürlü tek radyonüklit olmasıdır. Şekil 2.7’de  $^{232}\text{Th}$ 'nin radyoaktif bozunum zinciri verilmiştir.



Şekil 2.7 : Toryum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).

Şekil 2.8’de görülen aktinyum serisinde,  $^{235}\text{U}$  ve bozunma ürünlerinin katkıları ihmal edilecek düzeyde olduğu için genellikle dikkate alınmamaktadır (Kapdan, 2009).



Şekil 2.8 : Aktinyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988).

Karasal kaynaklı radyoizotoplar, insan vücudunu iki şekilde ışınlamaya maruz bırakırlar:

- Dış ışınlama
- İç ışınlama



## **Dış ışınlama**

Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir (Çelebi, 1995).

Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda ve tortularda nispeten daha “yüksek” radyoaktivite bulunabilmektedir. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozunu etkilemektedir.

## **İç ışınlama**

İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Özellikle sanayi bölgelerinde ve kış aylarında havada bulunan kül parçacıkları içerisinde uranyum konsantrasyonu yüksek olabilmektedir. Solunum yolu ile iç ışınlamanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturmaktadır. Radon haricinde doğal radyoizotopların solunum yolu ile vücuda alınmasından kaynaklı iç ışınlamaya katkısı oldukça azdır (Url-4, 2010).

Yiyecek ve içeceklerde bulunan  $^{40}\text{K}$  ve  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  doğal radyoaktif serileri, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır. Doğal radyoizotopların sindirim yolu ile vücuda alınması yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotop konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Besin maddelerinde doğal olarak bulunan radyoizotop konsantrasyonu bölgenin doğal fon seviyelerine, iklimine ve tarım uygulamalarına bağlı olarak değişir. Aynı şekilde beslenme alışkanlıkları da bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir.

Uranyum ve toryum serilerinin diğer radyonüklitleri, özellikle  $^{210}\text{Pb}$  ve  $^{210}\text{Po}$  hava, su ve gıdalarda bulunur ve iç ışınlamaya sebep olur.  $^{40}\text{K}$  da normal beslenme yoluyla vücuda giren radyonüklitlerden birisidir. Bu iç ışınlama kaynaklarından alınan yıllık

ortalama etkin doz miktarının 0,3 mSv olduğu ve bunun yarısının  $^{40}\text{K}$ 'dan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Url-4, 2010).

## 2.4 Radon ve Özellikleri

Radon, doğal radyasyon kaynaklarından olan 4,5 milyar yıl yarı ömre sahip  $^{238}\text{U}$  ailesinin bir elemanı olup, yarı ömrü 3,8 gün olan bu serideki tek radyoaktif gazdır. Radon, yarı ömrü 1600 yıl olan ve bir alfa yayınlayıcısı olan  $^{226}\text{Ra}$ 'nın radyoaktif bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır (Çelebi ve diğ., 2003). Kimyasal tepkimeye girmediğinden gaz fazında ortamlarda bulunmasına bir engel yoktur (EPA, 1987).

Radon, ilk oluştuğu anda bütün bozunma ürünlerinden yoksundur. Bir süre sonra kısa yarı ömürlü ürünlerin birikmesiyle radyoaktivite artmaktadır. Radonun kısa yarı ömürlü ürünleri arasında alfa radyoaktivitesi,  $^{218}\text{Po}$  ve  $^{214}\text{Po}$ ; beta ve gama radyoaktivitesinin büyük bir kısmı da  $^{214}\text{Pb}$  ve  $^{214}\text{Bi}$  radyonüklitlerinin bozunmasından ileri gelmektedir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan  $^{218}\text{Po}$  atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğiliminde olduğundan  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Po}$  atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa yapışmış haldedirler. Alfa radyoaktivitesi, yaklaşık 3 saat sonra başlangıçtaki radon radyoaktivitesinin üç katına ulaşmaktadır. Bundan sonraki zamanda radyoaktivite, radonun karakteristik yarı ömrüne göre azalmaya başlar. Çizelge 2.3'de  $^{222}\text{Rn}$  ve onun bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.3 :**  $^{222}\text{Rn}$  ve bozunma ürünlerinin özellikleri (Çelebi ve diğ., 2003)

İzotopik Gösterimi	Radyasyon Tipi	Yarı ömrü	Bozunum Sabiti ( $\text{dak}^{-1}$ )
$^{222}\text{Rn}$	$\alpha$	3,82 gün	$1,26 \times 10^{-4}$
$^{218}\text{Po}$	$\alpha$	3,05dak	$2,27 \times 10^{-1}$
$^{214}\text{Pb}$	$\beta, \gamma$	26,8dak	$2,59 \times 10^{-2}$
$^{214}\text{Bi}$	$\beta, \gamma$	19,7dak	$3,52 \times 10^{-2}$
$^{214}\text{Po}$	$\alpha$	$1,6 \times 10^{-4}$ s	$2,77 \times 10^{-5}$
$^{210}\text{Pb}$	$\gamma$	22yıl	-----

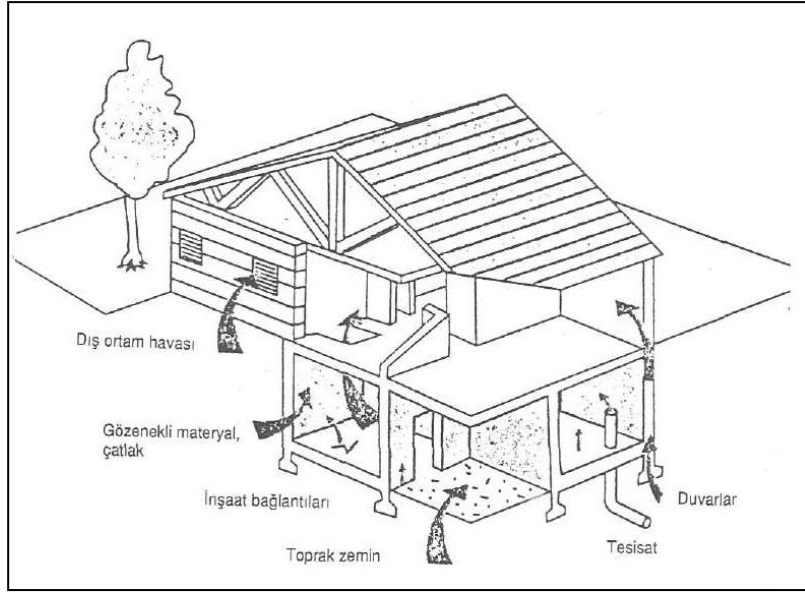
Radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Gaz fazında olan radon, toprak ve kaya partiküllerinin arasında bulunan küçük boşluklardan rahatça geçebilmektedir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır (EPA, 1987).

Yaygın olarak bulunan radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Sonuçta yeraltı kayaçlarının uranyum derişimi en önemli radon salınım nedenidir. Granit ve volkanik topraklar, metamorfik kayaçlar en önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır.

#### **2.4.1 Evlerde radon**

Konut insan hayatının önemli bir bölümünün geçtiği yapay ortam koşullarının belirleyicisidir. Konutla sağlık arasındaki bağlantılar öteden beri bilinmektedir. Günümüzde kapalı ortam terimiyle konut içerisindeki kapalı ortam iklimi ve kirlenmesi, biyolojik etkilenmeler, değişik fizik travmalar söz konusu edilmektedir. Gelişmiş ülkelerde kapalı ortam hava kirliliği 1970 li yıllarda petrol fiyatlarında meydana gelen artış nedeniyle enerji harcanmasını azaltmaya yönelik önlemlerin alınmaya başlamasıyla artım göstermiştir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Radonun binalara girişi, toprak, binanın civarı veya altındaki kayaçlardan, su kaynaklarından, doğal gazdan, bina malzemelerinden, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından veya malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla veya binanın altındaki topraktan yayılma yoluyla olmaktadır. Topraktaki radon konsantrasyonu; topraktaki radyumun radyoaktivite kütle konsantrasyonuna, yayılma gücüne, toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine bağlıdır. Şekil 2.9'da radon gazının evlere muhtemel giriş yerleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.9 : Binalarda radon giriş yerleri**

Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Bu yüzden ki; yüksek radon konsantrasyonu genellikle binaların bodrum katlarında görölmektedir (Kumru ve Hüryaşar, 2003). Binanın altında toplanan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Ev içi radon konsantrasyonu; binanın inşaatı ve tasarımına, toprakta radon hareketini etkileyen meteorolojik parametrelere, ev halkının yaşam alışkanlıklarına, ev içi-dışı sıcaklık farklarına, evin havalandırılmasına, toprak ve ev ortamı arasındaki basınç farkına bağlıdır.

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini arttırıcı etmenlerden birisidir. Bina materyallerinden radon salınım hızı, malzemenin içerdiği radyum aktivitesine, gözenekliliğine, yoğunluk ve nem oranına bağlı olarak değişmektedir. Konuya ilişkin olarak yapılan çalışmalar, doğal yapı taşının içerdiği  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ile radon salınım hızı arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu göstermektedir (Al- Jarallah ve diğ., 2005; Al- Jarallah, 2001; El Dine ve diğ., 2001).

### **2.4.2 Sularda radon**

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda çözünebilme özelliğine sahiptir. Yeraltı uranyum yataklarının keşfi için yapılan çalışmalar genellikle kuyu, kaynak ve jeotermal sularında radon konsantrasyonu ölçülerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi bu suların kaynağının, yeraltı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer suların bir kolu uranyum yatağından geçiyorsa yatağı yıkayan sularda uranyum ile radyum çözünür ve radon bu sular ile içindeki taneciklere absorbe olur. Bu nedenle termal suların çıkış noktalarında radon gazı yoğunluğu artar. Termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla uranyum tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkmalarından dolayı termal sularda radon miktarının daha fazla olması beklenmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Yer altı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. Sularda bulunan radon, sular kullanıldığı zaman ev içlerine girer. Sudan gelen radonun miktarı, sudaki miktarına bağlıdır. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan geldiği için sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir.

Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. Duş, çamaşır ve bulaşık makinesinde olduğu gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanmasıyla yapılan çeşitli uygulamalar büyük miktarda radonun ev içerisine salınmasına neden olur. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar (Kapdan, 2009).

### **2.4.3 Radonun sağlık etkileri**

Topraktan havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktörü olarak belirmektedir. Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür; insan akciğerinde yarı ömrünü tamamlamadan geri atılır. Fakat radon bozunumuyla ortaya çıkan Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotopları olan bozunum ürünleri radon gibi gaz halinde olmadıklarından, toz ya da havadaki diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar ve solunum yoluyla insan vücuduna alınırlar. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan

bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Akciğer üzerinde beta parçacıkları ile gama ışınlarının etkileri, alfa parçacıklarının etkilerine göre ihmal edilebilir düzeydedir. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır. Bozunma sürecinin her aşamasında salınan radyasyon, öncelikle akciğer dokusunda hasara, zamanla da akciğer kanserine neden olabilir (UNSCEAR, 2000; Özdemir, 2006). Bu nedenle radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır.

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2,500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5,000, sigara içenlerden ise 15,000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1994) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

Çizelge 2.4'de, çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir.

**Çizelge 2.4 : Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m<sup>3</sup>) (Url-5, 2010).**

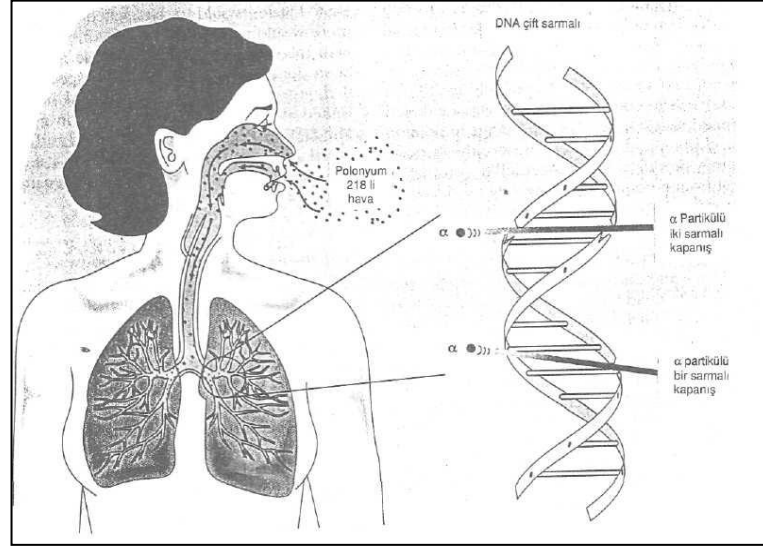
A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO	100

Radonun suda eriyebilme özelliği olduğundan, tüm canlıların yaşamı için gerekli unsurların başında yer alan su kaynakları ile çeşitli jeolojik olaylar sonucu dünyanın katmanları arasından kaynarak yeryüzüne ulaşan, kaplıca ve termal banyolarda doğal tedavi unsuru olarak kullanılan termal sular da radon içermektedir. Radon, bu sulara tedavi amacıyla girenlerin derilerinden kan dolaşımına girerken, suların içme olarak kullanılmasıyla da mide-bağırsak derisi yoluyla kan dolaşımına girmektedir (Atakan, 2007).

ABD de bütün kanser ölümlerinin %10-12 sinin evsel radon etkilenimine bağlı olduğu belirtilmektedir (Lubin ve Steindorf, 1995; Samet ve diğ., 1990; Harley, 1990). Radon etkilenimine bağlı olarak ABD de her yıl 20000 akciğer kanseri olduğu hesaplanmaktadır. (Botkin ve Keller, 1988; EPA, 1986) Sigara ve radonunun birlikte etkilemesi tek tek yaptıklarından en az on kat daha fazla oranda akciğer kanserine neden olmaktadır (Botkin ve Keller, 1988; EPA, 1986).

Radyasyon etkisinde kalan hücreler aldıkları radyasyon enerjisine bağlı olarak canlılıklarını yitirebilir, sterilize olabilir veya mutasyona uğrayabilir. Bu mutasyona bağlı olarak meydana gelen kanser süreci diğer kanserojenlerin neden olduğu sürecin hızlanmasına da neden olabilir.

Radonun akciğer kanseri etkisi doğrudan radonun kendisine değil bozunum ürünlerine bağlıdır (Bard ve Tirmarche, 1996). Şekil 2.10'da gösterildiği gibi radonun bozunum ürünü olan Polonyum 218'in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır (Botkin ve Keller, 1988).



**Şekil 2.10** : Polonyum 218'in akciğerlerde birikimi sonucu DNA'da meydana gelen hasar.

## 2.5 Radyoaktif Denge

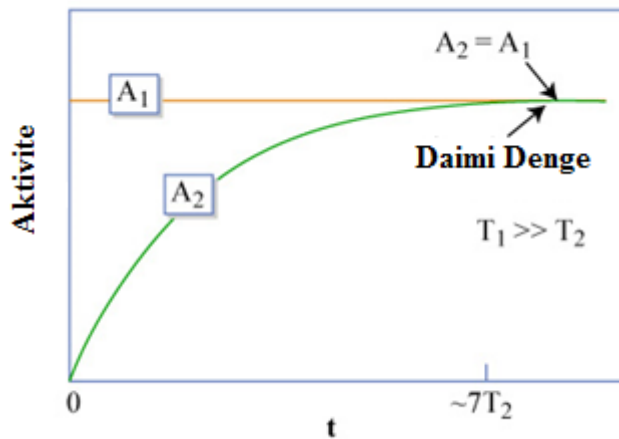
Radyoaktif bozunma sırasında, ortaya çıkan ürün atomların sayısının parçalanmış atomların sayısına eşit olma durumudur. Ana çekirdeğin bozunum sabitinin bozunum ürünlerinin bozunum sabitine eşit olduğu ( $\lambda_1 = \lambda_2$ ) durum geçici denge durumu, ana çekirdeğin bozunum sabitinin bozunum ürünlerinin bozunum sabitinden çok küçük olduğu ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ) durum ise daimi denge durumu olarak bilinir.

Aşağıdaki eşitlikle verilen bu durum radyoaktif bozunum serileri için daimi denge koşuludur.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n \quad (2.3)$$

Bu bağıntı göz önüne alınan bozunum zincirinde, ürün çekirdeğinin aktivitesini ölçerek ana çekirdeğin aktivitesinin bulunabileceğini ifade eder. Ancak böyle bir ölçmenin yapılabilmesi için gerekli koşul daimi bir dengenin bozulmamış olmasıdır. Ana atomun ve ya ürünlerin bir ve ya birden fazlasının radyoaktif parçalanma dışında herhangi bir yolla kaybedilmesi durumunda yukarıdaki eşitlik geçersiz olur ve radyoaktif dengesizlik oluşur (Yaşar, 2006; Yaprak, 1995).

Şekil 2.11'de radyoaktif dengenin oluşumu için gereken koşullar verilmektedir (Theodorsson, 1996; Turner, 2007).



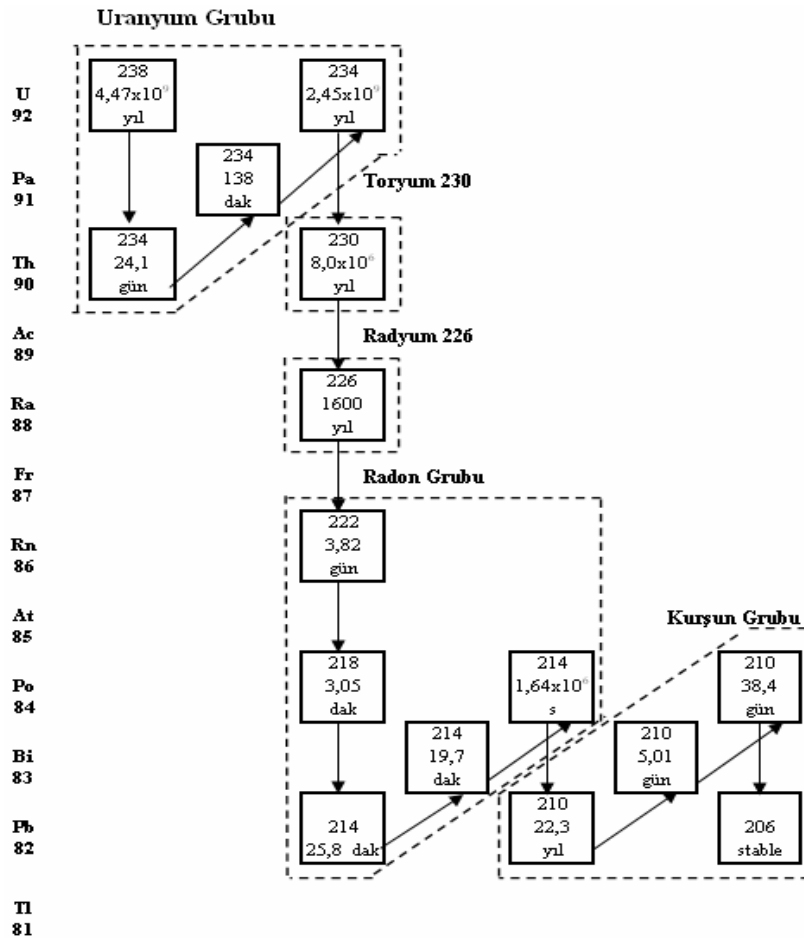
Şekil 2.11 : Daimi radyoaktif denge (Turner, 2007).

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 ( $T_{1/2}$ ) kadardır (Yaprak, 1995).



Uranyumun, bozunum zincirindeki üyeleri ile arasındaki radyoaktif denge, serideki iki uzun yarı ömürlü nükleit  $^{234}\text{U}$  ( $T_{1/2}= 250000$  yıl) ve  $^{230}\text{Th}$  ( $T_{1/2}= 80000$  yıl) nedeniyle 106 yıldan daha fazla zaman alırken,  $^{232}\text{Th}$  ile bozunum ürünleri arasındaki radyometrik denge yaklaşık 40-50 yılda kurulur. Bunun nedeni toryum serisindeki ürünlerin  $^{238}\text{U}$  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  $^{228}\text{Ra}$ ' 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).

Uranyum bozunum zinciri denge yönünden 5 ayrı grupta incelenebilir (Şekil 2.12). Her bir gruptaki ürünler, kendi gruplarının ana radyonükliti ile dengede kalmak eğilimindeyken, her bir grubun başındaki radyonükleit serinin ana izotopu ile dengede olmayabilir (Yaşar, 2006).



Şekil 2.12 : Radyoaktif denge durumuna göre  $^{238}\text{U}$  serisinin gruplandırılması (Yaprak,1995).

## 2.6 Bina İçi Radyoaktivite ve Radyolojik Risk

Doğal radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır. Bunlardan ilki solunan havadaki radon ve vücuda alınan radyonüklidlerin sebep olduğu içsel maruz kalma, diğeri ise kozmik ışınlar, kozmejenik radyonüklidler ve karasal radyasyonun neden olduğu dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR, 1982; UNSCEAR, 1988).

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 ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) alınan doz oluşturur. Karasal radyasyona dışsal maruz kalma sonucu alınan etkin doz eşdeğeri 410  $\mu\text{Sv}$ 'dir (UNSCEAR, 1988). İçsel maruz kalmanın temel kaynağı ise radon gazının solunmasıdır (UNSCEAR, 2000).

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. Tipik bina materyalleri için ortalama aktivite konsantrasyon değeri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla 50 Bq/kg, 50 Bq/kg ve 500 Bq/kg olarak verilmektedir (UNSCEAR, 1993). 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 ve Kennedy 1992; Yaşar, 2006).

Bina içi ortamlarda dışsal maruz kalma ile oluşan radyolojik risk; alınan doz, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi ve iç /dış zarar indeksleri ile ifade edilmektedir.

Bina içi ortamlarda karasal kaynaklardan alınan doz değerleri Denklem 2.4 kullanılarak hesaplanır (UNSCEAR, 2000).

$$D \frac{n\text{Gy}}{h} = (0,462A_{Ra} + 0,604A_{Th} + 0,0417A_K)w_m \quad (2.4)$$

Bu denklemde D yerin 1 metre yukarıdaki doz hızı,  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'nin aktivite konsantrasyonlarını,  $w_m$  ise incelenen materyalin bina içi kullanım yüzdesini belirtmektedir. UNSCEAR 1993 raporunda havadaki karasal kaynaklardan alınan doz, bina dışında 57 nGy/h ve bina içinde 80 nGy/h olarak verilmiştir (UNSCEAR, 1993).

İnsanların zamanının %80'ini evlerinde geçirdiği düşünülerek, bina içi ortamlarda karasal gama radyasyonu sebebiyle maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 2.5 kullanılarak hesaplanır (UNSCEAR, 2000).

$$ED \mu Sv/y = D \text{ nGy/h} * 0.8 * 0.7 \text{ Sv/Gy} * 8760 \text{ h/y} * 10^{-6} \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte D karasal gama radyasyonundan kaynaklanan bina içi ortamlarda alınan doz (nGy/y), 0.7 Sv/Gy ise UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen doz dönüşüm faktörüdür.

Farklı bina materyallerindeki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları geniş bir aralıkta değerler aldığından Ra, Th ve K içeren bina malzemelerinin spesifik aktivitelerini karşılaştırabilmek için radyum eşdeğer aktivitesi adı verilen uluslar arası ortak bir indeks kullanılmaktadır ve aşağıdaki denklemde belirtilmektedir (UNSCEAR, 1988).

$$Ra_{eq} \text{ Bq/kg} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (2.6)$$

Radyolojik risk açısından, radyum eşdeğer aktivitesinin 370 Bq/kg'dan büyük olmaması istenmektedir (UNSCEAR, 1988; 1993; Beretka ve Matthew, 1985).

UNSCEAR 1982 raporunda, bina materyallerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinden salınan gamalara bağlı dışsal maruz kalma ve solunan radon gazı ve kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinden kaynaklanan içsel maruz kalma ile ilgili dış ve iç zarar indeksleri Denklem 2.7 ve 2.8 ile hesaplanmaktadır (Beretka ve Matthew, 1985).

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (2.7)$$

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (2.8)$$

Bu denklemlerde  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'nin aktivite konsantrasyonlarını belirtmektedir. Radyolojik risk açısından  $H_{ex}$  ve  $H_{in}$  indekslerinin  $\leq 1$  olması durumunda bina içi ortamda maruz kalınan radyasyon dozunun yılda 1 mSv'ı geçmeyeceği tahmin edilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Bina içi radon konsantrasyonuna dayalı olarak maruz kalınan içsel radyasyon dozu aşağıdaki dozimetrik ilişki ile verilmektedir (UNSCEAR, 1988; UNSCEAR, 1993).

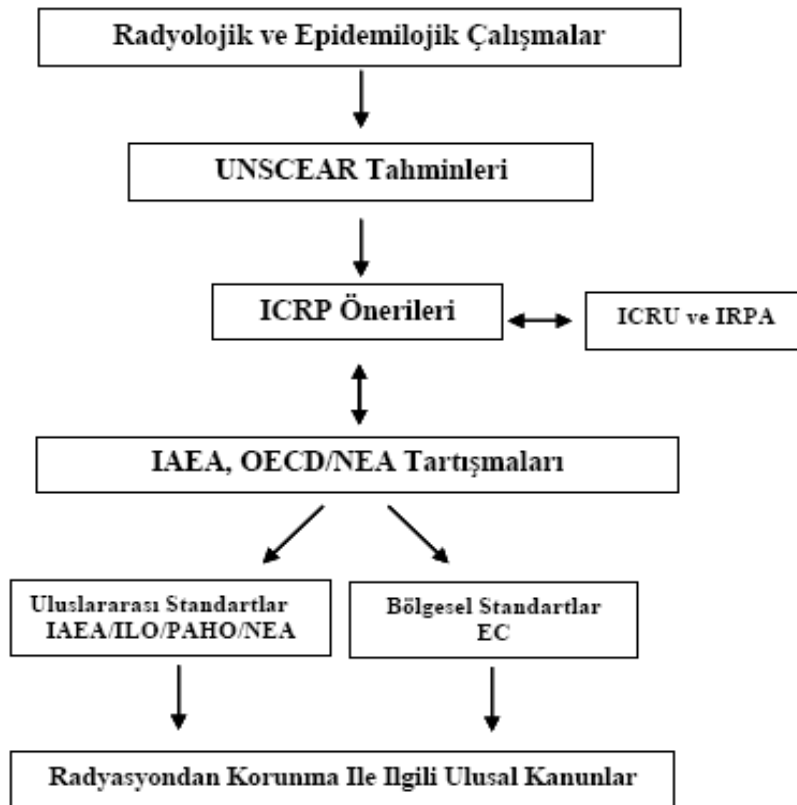
$$ED \text{ mSv/y} = C_{Rn} * 0.4 * 0.8 * 9.0 \text{ nSvh}^{-1}/\text{Bqm}^{-3} * 8760 \text{ h/y} * 10^{-6} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;  $C_{Rn}$ ,  $Bq/m^3$  olarak radon konsantrasyonunu, 0.4 radon ve ürünleri arasındaki denge faktörünü,  $9.0 \text{ nSv}h^{-1}/Bq\text{m}^{-3}$  doz dönüşüm katsayısını ve 0.8 bina içinde zaman geçirme faktörünü (insanların zamanlarının %80'ini bina içinde geçirdiği varsayılmıştır) göstermektedir (UNSCEAR 2000).

UNSCEAR 1993 Raporunda, bina içi radon konsantrasyonu dünya ortalaması  $40 Bq/m^3$  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 (Yaşar, 2006).

## 2.7 Radyasyondan Korunma ve Güvenliği Alanında Yetkili Uluslararası Organizasyonlar

Radyasyondan korunma ve güvenliği alanında yetkili Uluslararası Organizasyonların kısa tanımları ve radyasyondan korunma standartlarının oluşturulmasında izlenen yol Şekil 2.13'de verilmiştir (ICRP, 1991; Yaşar, 2006).



Şekil 2.13 : Radyasyondan korunma standartlarının oluşturulması (ICRP, 1991; Yaşar, 2006).

**UNSCEAR (*The United Nation Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation*):** BM teşkilatının bir Komitesi olarak 1955 yılında kurulmuştur. Radyasyonun sağlık etkileri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapan uluslararası resmi bir kuruluş olup, moleküler biyoloji, radyo epidemiyoloji 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 sunmaktadır (Url-6, 2010).

**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 birçok uluslararası ve büyük ulusal kuruluşla işbirliği içinde bilimsel çalışmalarını sürdürmektedir. Bugün tüm dünyada uygulanan radyasyon korunması kriterleri, ICRP tavsiyelerine dayanmaktadır (Url-6, 2010).

**IAEA (*International Atomic Energy Agency*):** Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren bağımsız, uluslararası 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 (Url-6, 2010).

**EURATOM (*European Atomic Energy Comminty*):** 1958 Roma Antlaşması ile Avrupa Topluluğu çerçevesinde nükleer güvenlik ve radyasyondan korunma ile ilgili yasal zemini oluşturmak üzere kurulmuştur. İş yerlerinde ve halkın radyasyondan korunması (Bölüm III), gelişen nükleer güç sektöründe nükleer fisil maddelerin temini (Bölüm VI), nükleer fisil maddelerin yetkilendirilmemiş askeri amaçlarla kullanımının engellenmesi için korunması (Bölüm VII), araştırma ve bilginin paylaşımı gibi genel unsurları içerir. EURATOM antlaşmasıyla kurulan AAET, radyasyondan korunma, nükleer fisil maddelerin temini ve nükleer korunma olmak üzere üç alanda bir uluslararası düzenleyici otorite niteliğindedir. Böylece, nükleer güç tesisi, radyoaktif atık işleme tesisi veya deposu gibi nükleer güç sektörünün dışında kalan hastaneler ve araştırma merkezleri gibi radyoaktif maddelerle çalışılan tüm alanlarda radyasyonla ışınlanmayı sınırlayıcı yaptırımlar getirmiştir. Avrupa Birliği genelinde bütün bu tesislerde radyasyona maruz kalmayı sınırlayıcı bu

kurallara uyulması zorunlu kılınmıştır. Bu doğrultuda yayınlanan kararlar, tüzükler, direktifler ve tavsiyeler üye ülkeler tarafından ayrıntılandırılır ve uygulanır (Url-6, 2010).

**TAEK (*Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*):** Ülkemizde radyo korunum ile ilgili düzenlemeleri yapmak üzere, TAEK'e bağlı Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi (RSGD) bulunmaktadır (Url-6, 2010).

### **3. GRANİTİK KAYAÇLARIN OLUŞUMU, SINIFLANDIRILMASI VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİ**

Gerek bulunuşları, gerek oluşum şekilleri, gerekse de birlikte buldukları maden yatakları bakımından granitik kayaçlar yerbilimcilerin her zaman ilgisini çeken, önemli bir magmatik kayaç topluluğudur. Magmatik kayaçlar, kendi kendine hareket yeteneğine sahip karmaşık bileşimli doğal ergiyikler olan magmalardan meydana gelirler. Yer kabuğunun derin zonlarında, yüksek sıcaklık ve basınç altında bulunan magmalar, yüksek sıcaklıkları (yaklaşık 750 °C – 2000 °C ) ve iç basınçları nedeniyle kendi kendine hareket yeteneğine sahip olan ve bünyelerinde elementler ve bileşenler (silikatlar, oksitler, sülfürler, uçucu elemanlar, H<sub>2</sub>O vb.) içeren doğal ergiyiklerdir. Magmalar, magma odalarındaki konveksiyon akımlar, depremler, çok derin zonlara kadar inen fay zonları gibi jeolojik olaylar neticesi basınç azalacak olursa yer kabuğunun üst seviyelerine doğru yükselirler. Magmaların yer kabuğu içinde ve yüzeyindeki faaliyetlerinin tümüne magmatizma denir (Çoğulu, 1972; Erler, 1986).

Bir kısım magmalar yeryüzüne kadar ulaşma imkânını bularak volkanları oluştururlar ve lavlar halinde akarlar. Fakat yeryüzüne kadar çıkamayan büyük magma kütleleri yer kabuğunun çeşitli seviyelerine yerleşerek, yavaş yavaş soğurlar - kristalleşirler ve derinlik, intrüsiyon, sokulum ya da plütonik kayaçlar olarak adlandırılan magmatik kayaçları oluştururlar.

Bu güne kadar yapılan arazi gözlemleri ve laboratuvar araştırmaları kökenlerine göre üç tür magmanın varlığını ortaya koymuştur. Bunlar:

1. Asidik magmalar
2. Ultrabazik - Bazik magmalar
3. Asidik ve bazik magmaların değişik oranlarda karışmasıyla oluşan Hibrid magmalar

Granitik kayaçların kaynağı olan asidik magmaların kimyasal bileşimi geniş bir aralıkta değişir. K, Na ve Al açısından bazik magmalara göre daha zengin, buna karşın Fe, Mn, Mg ve Ca bakımından fakirdirler. Asidik magmalar ayrıca W, Mo,

Sn, U, Th, Pb, Zn, As, Sb, F, REE (Nadir Toprak Elementler) açısından da bazik magmalara göre çok daha zenginleşmiştir. Asidik magmaların viskozitesi yüksektir, bu nedenle hareket yetenekleri bazik magmalara göre düşüktür; dolayısıyla, kıtasal kabuk bölgelerinin daha derin kısımlarında batolit veya stoklar halinde katılışlar. Bazik magmalar ise Silis tenörü ( $\text{SiO}_2$ ) genelde % 50 nin altında olan, buna karşın Fe, Mg, Ca Cr, Ni, Pt, Co, V ve Ti açısından zengin, viskozitesi düşük magmalardır. Asidik ve bazik magmaların birbiriyle karışması sonucu ve/ veya yerkabuğunun alt zonlarının ergimesi ya da kabuk içinde yükselen magmaların yantaşları özümlemesi nedeniyle melez-hibrid magmalar ortaya çıkar. Doğada yaygın olarak karşılaşılan melez magmalar dalma-batma zonlarında ve orojenik kuşaklarda bu şekilde oluşmuştur.

Granitik kayaçlar genelde asidik ve hibrid magmaların ürünüdür. Ancak nadiren de olsa bazik magmaların kendi içinde gerçekleşen aşırı diferansiyasyon olayları sonucunda oluşmuş granitik kayaçlar da tanımlanmıştır. Adidik magmalar, silis ( $\text{SiO}_2$ ) tenörü çoğunlukla % 60 dan fazla olan magmalar olarak tanımlanmaktadır. Yer kabuğunun derin zonlarındaki (>7 km) çeşitli kayaçların yüksek sıcaklık (>600°C - 900°C) ve basınç (>2 kb) altında kısmi ergimesinden oluşurlar. Kayaçların tekrar ergimesinde etken olan başlıca olaylar şunlardır (Çoğulu, 1972 ).

- Kıtasal levhaların hareketleri esnasında, karşılaşılan iki levhadan birinin, diğerinin altına dalması (Obdüksiyon).
- Kayaçların, yüksek sıcaklık ve basınçların hüküm sürdüğü derin zonlara çökmesi,
- Yüksek sıcaklıktaki ergiyik veya sıvıların yerkabuğunun dış zonlarına doğru hareketleri,
- Radyoaktivite nedeniyle oluşan ısı,
- Yer kabuğunun derin zonlarında ani basınç düşmeleri,
- Jeotermik gradyanı artıran veya kayaçların ergime sıcaklığını düşüren diğer bütün sebepler.

Bugün katılmış olarak yeryüzünde gördüğümüz geniş granitik kütleler, buldukları yere asitik ve/veya hibrid magmaların ya kuvvetli bir enjeksiyon sonucu yerleşmişler, veya yan formasyonları kısmen eriterek ve hazmederek yavaş yavaş kabuk içine yerleşmişlerdir. Bu yerleşme mekanizmasında magmalar üç şekilde yerleşebilirler:



1. Magmalar içine girdiği formasyonları parça parça içine alarak yükselir. Bu parçalardan bir kısmı (ksenolit veya anklav) halinde magmasal kütle içinde yüzer gibi kalır. Kolayca eriyen - eriyen parçalar ise magma tarafından hazmedilirler (özümleme - assimilasyon); bu olaylar, magmanın kimyasal ve mineralojik bileşiminin değişmesine neden olur, örneğin magma bu süreçte Ca, Mg, Ti vb. elementlerinin bir kısmını kaybederken, buna karşın Si, Na, K vb. bakımından zenginleşir.
2. İkinci yerleşme şeklinde, magmalar yerkabuğu içinde tuz domlarına (salt dom) benzer bir tarzda yükselirler ve yan formasyonları iterek kendilerine yer açarlar.
3. Üçüncü yerleşme şeklinde ise yantaşlar yerdeğiştirir ve magmanın yerleştiği hacim, bir yer altı çöküntüsüyle önceden meydana gelir. Her yeni çökme ile magmanın yerleşmesi tekrarlanır.

### 3.1 Granitik Kayaçların Sınıflandırılması

Asidik magmalardan türeyen granitik kayaçlar, sahip oldukları mineralojik ve kimyasal bileşimlere kendi içinde alt gruplara ayrılırlar. Debon ve Le Fort (1982) tarafından önerilmiş olan kimyasal adlandırma diyagramı X ekseninde  $P = K - (Na+Ca)$ ; Y ekseninde  $Q = Si/3 - (K+Na+2Ca/3)$  en yaygın kullanılan diyagramdır. Si, K, Na ve Ca elementleri granitik kayaçlar oluşturan kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklaz minerallerinin temel elementleridir. Bu diyagrama göre en yüksek Na, K ve Si içeriğinden en düşük içeriğe göre granitik kayaçlar şu şekilde sınıflandırılmaktadır: Granit, Adamellit, Granodiyorit, Tonalit, Kuvarslı siyenit, Siyenit, Kuvars monzonit, Kuvars monzodiyorit, Kuvars diyorit, Monzo diyorit, Diyorit.

Granitik kayaçlar mineralojik bileşimlerine göre de çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Bunlardan en yaygın kullanılanı Streckeisen (1974 ve 1993) sınıflamasıdır. Q (Kuvars) A (alkali feldispat) P (plajiyoklaz) üçgen diyagramında, kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklaz oranlarının en yüksekinden en düşüğüne göre granitik kayaçlar genel olarak şu şekilde sınıflanmıştır: Granit, Granodiyorit, Tonalit, Siyenit, Kuvars monzonit, Kuvars monzodiyorit, Kuvars diyorit, Diyorit.

### 3.2 Granitik Kayaçların Mineralojik Bileşimi

Yukarıda kimyasal ve mineralojik sınıflamalarından örnek verilen granitik kayaçların ana (birincil), tali (ikincil) ve opak kayaç yapıcı mineralleri ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

Ana mineraller: Feldispat grubu mineraller (alkali feldispatlar ve plajiyoklazlar) + Kuvars + Biotit + Amfibol grubu mineraller (hornblend, tremolit, diyopsit, vb.) ± Piroksen grubu mineraller (ojit, diyopsit vb.)

Tali mineraller: zirkon, sfen, apatit, turmalin, vb.

Opak mineraller: Manyetit, pirit, titan, ilmenit, vb.

Çalışma kapsamında incelenen ve granitik kayaç ana başlığı altında tanımlanan kayaç örnekleri çoğunlukla sınıflamalarda “Granit, Granodiyorit, Tonalit” olarak adlandırılan alt birimlere karşılık gelmektedir. Diyagramlarda kuvars ve alkali feldispat oranlarının azalıp plajiyoklaz oranının artmasıyla granit alanından önce granodiyorit alanına, sonrada tonalite alanına geçilir. Bunun yanı sıra hornblend oranı da artar ve özellikle tonalitlerde hornblend oranı biyotit oranını geçebilir. Kimyasal olarak da SiO<sub>2</sub> oranı granitten granodiyorit ve tonalite doğru geçtikçe hafifce azalır, buna karşına Ca, Fe ve Mg oranı hafifce artar.

Sınıflama diyagramlarında granit alanına düşen kayaçlar kimyasal olarak silis ve alkalilerce çok zengin, buna karşın kalsiyum, demir ve magnezyumca fakir kayaçlardır. Kimyasal bileşimlerindeki SiO<sub>2</sub> miktarı genellikle % 66 dan fazladır. Granit magmasında alkali feldispatlar, plajiyoklazlar, biyotit, hornblend gibi silikatlı minerallerin oluşumundan arta kalan Si, SiO<sub>2</sub> şeklinde serbest halde kristalleşerek kuvars mineralini oluşturur. Dolayısıyla granitin ana kayaç yapıcı mineralleri kuvars, alkali feldispatlar (ortoz veya mikroklin) asit plajiyoklaz (albit veya oligoklaz) ve biyotittir. Bazen hornblend. Kristal büyüklükleri yaklaşık 1mm'den birkaç cm'ye kadar değişir, özellikle alkali feldispatlarının boyutu 4 cm' yi aşabilir.

Granitik kayaçlarda Ana minerallerin yüzde oranları şöyledir (Çoğulu, 1972):

Kuvars	% 10-40
Alkali feldspat	% 30-60
Asit plajiyoklaz	% 0-35
Mafik mineraller (biyotit, hornblend vs)	% 10-35

Granitler içindeki kuvars en son kristalleşen minerallerden biridir. Bu sebeple çoğunlukla yarı-öz (hipidiomorf) ve/ veya şekilsiz (ksenomorf) kristaller halinde, kendinden önce kristalleşmiş minerallerin aralarındaki boşlukları doldurur. Renksiz, sütbeyaz veya duman rengindedir. Alkali feldispatlardan Ortoz çoğunlukla pembe renklidir. Bazan sarı, grimsi, mavimsi veya süt beyazı renginde olabilir. Özellikle karlsbad veya baveno tipindeki basit ikizleri karakteristiktir. Plajiyoklaz kristalleri süt beyazı renginde olup, mikroskop altında polisentetik ikizleriyle kolayca tanınırlar. Alkali feldispatlardan önce oluşurlar ve genelde öz şekilli (idiomorf) bazen de yarı- özşekilli kristaller halinde bulunurlar. Mafik minerallerden çoğunlukla Biotit'e rastlanır. Bazı granitlerde Hornblend ona eşlik eder. Nadir tiplerde piroksen grubundan mineraller' de tanımlanır.

***Tali mineraller ve opak mineraller:*** Çoğu hallerde gözle farkedilmeleri imkânsızdır. Ancak mikroskop altında tanınabilirler. Bu minerallerin bulunuş oranı genelde % 1-3 (4) arasında değişir.

***Sekonder-dönüşüm ürünü mineraller:*** Özellikle ana minerallerin kimyasal bozunuma uğramasıyla ikincil mineraller oluşur; bunların en yaygınları da Kil grubu mineraller, Klorit grubu mineraller ve Serisit ' dir.

### **3.3 Granitlerin Ayrışım Çeşitleri**

Granitlerin kayaç yapıcı mineraller arasında kimyasal ayrışmaya en elverişli olanları alkali feldispatlar ve plajiyoklazlardır. Bu yüzden çoğu zaman kenar, çatlak veya dilinim yüzeyleri boyunca kimyasal alterasyona maruz kalarak çoğunlukla Kil ve Klorit grubundan başka minerallere dönüşürler. Daha yüksek sıcaklık koşullarında kimyasal ayrışmanın olduğu hallerde Biotit ve Hornblend' inde sıklıkla kloritleştiği örnekler yaygındır. Dolayısıyla Granitlerde görülen başlıca ayrışım olayları şunlardır: Serisitleşme, kaolenleşme, albitleşme, silisleşme, turmalinleşme, sosüritleşme, kloritleşme, greizenleşme. Bu dönüşümler sonucunda da kaolen, klorit, serisit, ikincil albit, ikincil kuvarslar, turmalin kristalleri gibi mineraller oluşur.

### **3.4 Granitik Kayaçlar ve Doğal Radyasyon**

Karasal radyoaktivite esas olarak yerel jeolojik ve coğrafik koşullara, özellikle kayaç tiplerine, bağlıdır. Kayaç ve topraklarda bulunan U, Th, bu iki elementin bozunum

ürünleri ve  $^{40}\text{K}$  karasal radyasyonun temel kaynaklarıdır. Potasyum, kayalarda ve toprakta ağırlıkça, U ve Th'un 10000 katı kadardır. Doğadaki potasyumun ancak %0,0118'i  $^{40}\text{K}$ 'tir ve bununda sadece %11'i gama ışınları yayımlar.

U, Th ve K jeokimyasal döngüde en uyumsuz elementler arasında bulunurlar; bu nedenle de bu elementlerin miktarları genellikle magmatik işlemlerin son evresinde, diferansiyasyon, fraksiyonel kristallenme, kısmi ergime vb olaylar sırasında  $\text{SiO}_2$  ve alkali miktarıyla birlikte artar ve asitik bileşimli kayalarda zenginleşirler (Wilson, 1989; Rollinson, 1993). Ancak, genellikle hem  $\text{SiO}_2$  ve hem de alkalilerle birlikte kayaların U içeriğindeki artışı Th'un artışından çok daha belirgindir (Örgün ve diğ., 2005; Örgün ve diğ., 2007; Yılmaz Ş. Ve diğ., 2010). U ve Th'un bozunum serileri, ana kayaç yapıcı mineraller olan kuvars, olivin ve piroksenlerde uyumsuz davranırken, bazı iz ve aksesuar fazlarda daha uyumludur yani bu minerallerde zenginleşebilir; örneğin zirkon ve sfen gibi. Hatta bazı fazlarda tamamen uyumlu olabilirler, örneğin Th'un allanit (ortit) ve şevkinit minerallerinde davrandığı gibi (Blundy ve Wood, 1999). Bu yüzden U ve Th, allanit, monazit, zirkon, apatit, sfen, thorit vb. radyojenik aksesuar mineral fazlarında zenginleşir (Finch ve Murakami, 1999). Potasyum ise çoğunlukla alkali feldispatları, asitik plajiyoklazları ve mika grubu mineralleri tercih eder. Uranyum ve Toryumlu bütün bu minerallerde, bazik-ultrabazik kayalardan çok, silise doymuş asidik magmaların ürünü granitik kayalar (granit, granodiyorit, siyenit, vs ) ve bunların yüzey kayalarında (riyolit, riyodasit, trakit, vb.) zenginleşir (McDonough ve diğ., 1992; Plant ve Saunders, 1996; Valkovic, 2000; Örgün ve diğ., 2007).

Doğal radyoaktivite bakımından granitik bileşimli kayaların U ortalaması 5 ppm, Th ortalaması ise 15 ppm. Bu oranlar bazik ve ultrabazik kayalarda U için <1 ppm, Th için < 2ppm dir (Mason ve Moore, 1982; Van Schmus, 1995; Rudnick ve Goa, 2003). Uranyumun çözünmesine ve çökmesine neden olan ikincil hidrojeolojik işlemler ve hidrotermal alterasyon, yüzey bozunumu (weathering) ve faylanmalar gibi jeolojik olaylar granitik arazilerde lokal radyonüklid zenginleşmelerine neden olabilir (Tzortzis ve Tsertos, 2004; Örgün ve diğ., 2005; Örgün ve diğ., 2007). Bu yüzden daha yüksek radyasyon seviyeleri de bu kayalarla kaplı alanlarda ve bu kayalardan kaynaklanan sedimanter kayalarda, toprak ve plaj kumlarında ölçülür (Örgün ve diğ., 2008)

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada inşaat ve dekorasyon sektöründe yaygın olarak kullanılan yerli ve ithal granitlerin radyolojik yönden incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda öncelikle radyonüklid konsantrasyonları gama spektrometre yöntemiyle belirlendikten sonra radon salınım hızı “Sealed Can” yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Ölçüm sonuçlarından hareketle alınan doz değerleri ve zarar indeksleri belirlenerek radyolojik değerlendirmeler yapılabilmektedir. Çalışmamızda radyolojik incelemenin yanı sıra granit örneklerinin mineralojik analizleri de yapılarak radyonüklit içeriklerinin menşei irdelenmiştir.

##### 4.1 Örneklemeye

Deneyleerde radyolojik ve mineralojik analizleri yapılan granit örnekleri Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yerli ve ithal ürünler olup, İstanbul ilindeki üretici firmalardan sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de ticari isimleri ve Şekil 4.1’de toplu olarak fotoğrafı verilen granitik kayaç örnekleri yaklaşık 4 kg ağırlığında ve 30 x 30 cm<sup>2</sup>’lik bloklar halinde temin edilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Deneyleerde kullanılan granitik kayaç örnekleri**

Örnek No	Ticari Adı	Örnek No	Ticari Adı
1	Çanakkale Gri	16	Green Butterfly
2	Aksaray Yaylak	17	Çin Balmoral
3	Giresun Vizon	18	Baltic Brown
4	Hisar Yaylak	19	Rosy Pink
5	Bergama Gri	20	Giallo Ornamentale
6	Balaban Green	21	Rosa Porrino
7	Aksaray Pembe	22	Hindistan Siyahı
8	Kozak	23	Blue Pearl
9	İtalyan Porrino	24	Rosa Minho
10	Rosa Balmoral	25	Brown Porrino
11	Rosa Beta	26	Rosavel
12	Çin Sardo	27	Çin Porrino
13	Sanboa Red	28	Coral Maron
14	Verde Guatemala	29	Coral Mist
15	Star Galaxi	30	Brezilya Jaguar



**Şekil 4.1 :** Deneyde kullanılan granitik kayaç örnekleri

## **4.2 Örneklerin Hazırlanması**

Bu çalışmanın örnek hazırlama aşaması, gamma spektrometrik analiz, radon salınım hızı ölçümleri ve mineralojik inceleme için ayrı ayrı yapılmıştır.

### **4.2.1 Örneklerin gama spektrometrik analiz için hazırlanması**

Bu çalışmada kullanılan granitik kayaç örnekleri, radyolojik ölçüm için uygun boyutlara getirilmek üzere, İ.T.Ü Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi'nde bir dizi işleminden geçirilmiştir.

Granit örnekleri ilk olarak Şekil 4.2'de gösterildiği üzere balyozla küçük parçalar haline getirilmiştir.



**Şekil 4.2 :** Balyoz yardımıyla kırılan örnekler

Granit örnekleri, mineralojik inceleme için gerekli olan parçalar ayrıldıktan sonra, Şekil 4.3'de görülen Çeneli Kırıcı yardımıyla 25-30 mm boyutuna getirilmiştir.



**Şekil 4.3 :** İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi'nde bulunan Çeneli Kırıcı.

Kırılan parçalar ve mineralojik inceleme için ayrılan numune örnekleri, farklı poşetler içerisine konularak numaralandırılmıştır. Çeneli Kırıcıdan elde edilen örnekler Şekil 4.4'de görülen Merdaneli Kırıcı yardımıyla tane boyutu 2 mm'nin altında olacak şekilde öğütülmüştür.



**Şekil 4.4 :** İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Pilot Tesisi'nde bulunan Merdaneli Kırıcı.

Öğütülen granit numuneleri 105 °C sabit sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutularak nem dengesinin oluşması ve numunelerin sabit kütleyle ulaşmaları sağlanmıştır.



Kurutulan granit örnekleri gama spektrometrik analiz için 1 L'lik Marinelli kaplarına yerleştirilmeden önce kaplar bir dizi temizlik işlemine tabi tutulmuştur. Bu bağlamda kullanılacak olan Marinelli kapları ilk olarak deterjanla yıkanmış ve içerisine su doldurularak yaklaşık üç dakika bekletilmiştir. İkinci aşamada Marinelli kapları seyreltik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile çalkalanmış ve tekrar içerisine su doldurularak bekletilmiştir. Son olarak Marinelli kapları destile su yardımıyla çalkalanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Tamamen kuruyan ve darası alınmış olan Marinelli kaplarına öğütme ve kurutma işlemlerinden geçirilen granit numuneleri yerleştirilmiştir. Etiketlenen ve hava alması engellenecek şekilde kapatılan Marinelli kapları hassas terazide tartıldıktan sonra Radyum (<sup>226</sup>Ra) ve Radon (<sup>222</sup>Rn) arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 4 hafta beklemeye bırakılmıştır. Gamma spektrometrik analiz öncesinde, radyoaktif dengenin oluşması için Marinelli kaplarına alınan numuneler Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5 : Marinelli kaplarındaki örnekler

#### 4.2.2 Örneklerin mineralojik inceleme için hazırlanması

Petrografik ve mineralojik incelemeler için polarizan mikroskopta incelemek için hazırlanan kesitlere ince kesit veya preparat adı verilmektedir. İnce kesitler granit örneklerinin bir dizi işlemde geçirilmesiyle hazırlanır. Bunun için kayaç örnekleri önce taş kesme çarkında yaklaşık 10mm x 40mm x 20mm boyuta getirilir (Şekil 4.6); sonra bu örneklerin bir yüzleri özel cam lameller üzerine epoksi (kanada balzamu) ile yapıştırılır (cam lamelin boyutu boyutları yaklaşık 45 mm x 25mm.) ve ince kesit makinasında 1mm' nin altına inceltirilir (Şekil 4.7).





**Şekil 4.6 :** İTÜ Maden Fakültesi İnce Kesit Hazırlama Atölyesi'nde bulunan kesici çark



**Şekil 4.7 :** İTÜ Maden Fakültesi İnce Kesit Hazırlama Atölyesi'nde bulunan ince kesit makinesi

Daha sonra döner disk üzerinde belirli boyutta tozlar-keçeler kullanılarak yaklaşık 0.02 - 0.04 mm kalınlığa gelinceye kadar inceltir (Şekil 4.8). İnceltme boyutu optik mikroskop incelemesi için uygun hale gelince de (optik mikroskopta kontrol edilerek) mineral yüzeylerinin oksitlenmesi ve/veya kirlenmemesi için özel şeffaf lamel ile kapatılarak örneğin uzun süre korunması sağlanır. Bu işlemden sonra kayaç örnekleri optik mikroskopta mineralojik ve petrografik incelemeler için hazır hale getirilmiş olur.



**Şekil 4.8 :** Aşındırma tozları ile cam üzerindeki örneklerin inceltilmesi

Mineralojik analiz için hazırlanan granit numunelerine ilişkin ince kesit örnekleri Şekil 4.9’da bir arada görülmektedir.

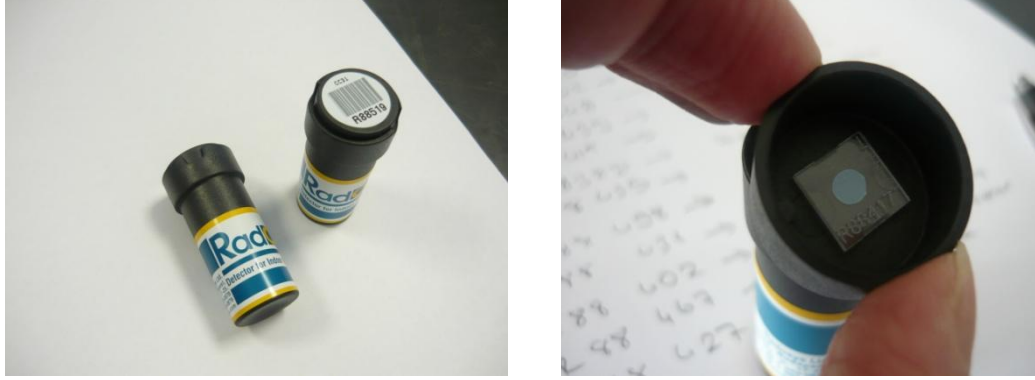


**Şekil 4.9 :** Mineralojik inceleme için hazırlanan ince kesit örnekleri

#### **4.2.3 Örneklerin radon salınım hızı ölçümleri için hazırlanması**

Örneklere ait Radon salınım hızlarının belirlenmesinde, Abu Jarad ve arkadaşları tarafından 1980 yılında geliştirilen ve günümüzde de bu tip çalışmalarda tercih edilen “Sealed Can” yöntemi kullanılmıştır (Abu Jarad ve diğ., 1980; Fazal-ur Rehman ve diğ., 2003; El- Amri ve diğ., 2003). Bu yöntemde amaç, bir kap altında oluşturulan hacim içerisindeki radon konsantrasyonunu belirlemektir.

Bu amaç doğrultusunda ÇNAEM'den Şekil 4.10'da görülen özel kaplar içerisinde bulunan 1 cm<sup>2</sup> büyüklüğündeki CR-39 katı hal nükleer iz detektörleri temin edilmiştir.



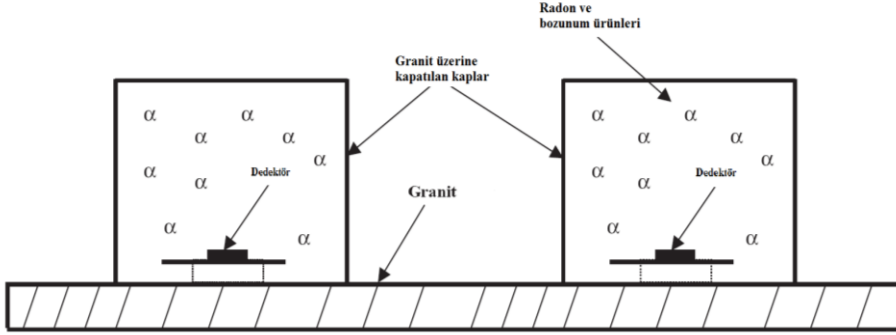
**Şekil 4.10 :** CR-39 katı hal iz detektörleri

Detektörler granit blokların orta ve köşe noktalarında konumlandırılmış olan diyafram malzemesi yardımıyla, granit yüzeyinden 3 mm yükseğe Şekil 4.11'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Böylelikle detektörün altında kalan yüzeyden çıkan radon salınımı da engellenmemiş olmakta ve detektör tabanında alfa kaynaklı zarar oluşmaması sağlanmaktadır. Diyafram malzemesi olarak, 3 mm kalınlığındaki ve 2 cm x 2 cm boyutundaki polysteren köpük kullanılmıştır.



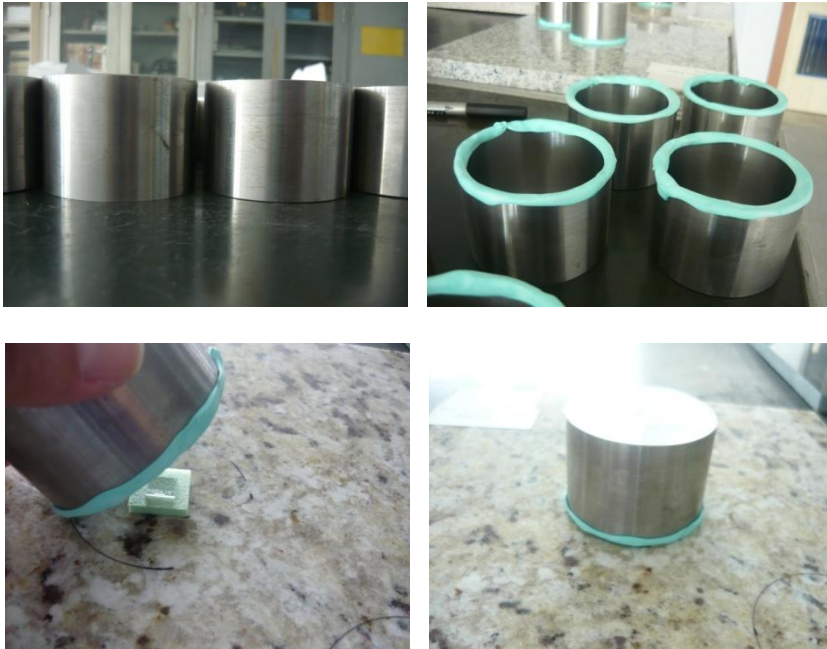
**Şekil 4.11 :** Diyafram malzeme ve üzerine yerleştirilen CR-39 detektörü.

“Sealed Can” yönteminde detektörlerin üzerine kapatılması gereken kaplar, radon ve bozunum ürünlerinin yayımladığı alfa parçacıklarının havadaki menzilleri dikkate alınarak 6,4 cm çap ve 4,5 cm yüksekliğindeki çelik malzemenen çalışmamız için özel olarak yaptırılmıştır. Şekil 4.12’de detektörlerin, diyafram malzemenin ve çelik kapların granit örnek üzerindeki yerleşimlerine ilişkin şematik bir gösterim verilmiştir.



**Şekil 4.12 :** Detektörlerin granit örnek üzerindeki yerleşimleri (Rehman ve diğ., 2003; El-Amri ve diğ., 2003).

Detektörlerin kapların dışındaki hava ile temasını engellemek ve radon ile bozunum ürünleri arasındaki radyoaktif dengeyi sağlamak için, çelik kaplar “Blue Tag” yapıştırıcı malzeme kullanılarak granit üzerine sabitlenmiştir. Şekil 4.13’de çelik kaplar ve kapların detektörlerle birlikte granit örneklerinin üzerine yerleştirilme aşamaları görülmektedir.



**Şekil 4.13 :** Detektör filmlerinin granit örneklerinin üzerine yerleştirilmesi



Granit örnekleri ile yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, detektör üzerinde yeterli alfa izlerinin oluşması için 1 ay bekletmenin uygun olduğu görülmüştür (Fazal-ur Rehman ve diğ., 2003; El- Amri ve diğ., 2003). Bu nedenle kapatılan detektörler, yeterli alfa izlerinin oluşabilmesi için bir ay süre ile beklemeye bırakılmıştır. Şekil 4.14’de beklemeye bırakılan granit örneklerinin toplu haldeki gösterimi verilmiştir.



**Şekil 4.14 :** Bekleme aşamasındaki granit örnekleri.

Bekleme süresinin sonunda, detektörler çıkartıldıkları özel kaplara tekrar yerleştirilerek, sayım işlemlerinin yapılabilmesi için ÇNAEM Sağlık Fiziki birimine ulaştırılmıştır.

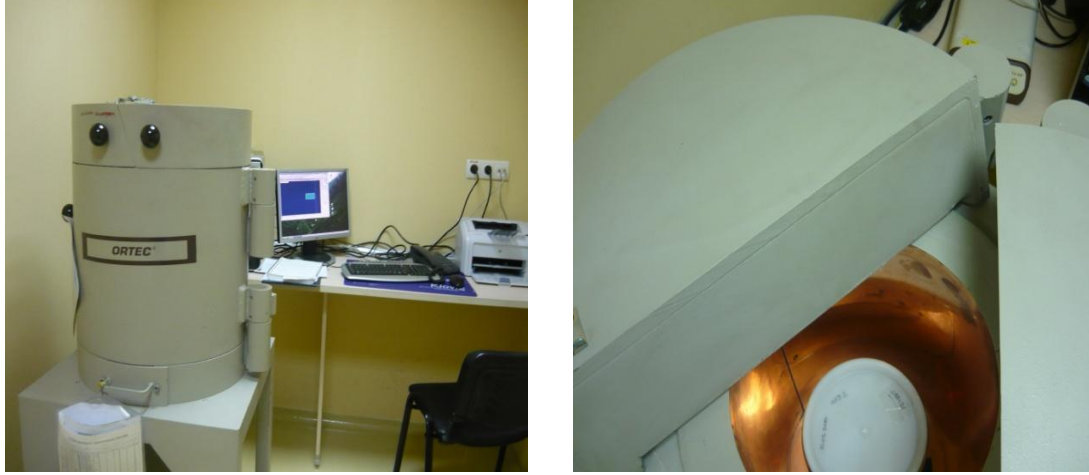
### **4.3 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması**

Çalışmamızda, granit örneklerinde radyonüklid konsantrasyonlarının ölçülmesi, radon salınım hızlarının belirlenmesi ve mineralojik analizler için kullanılan sistemler sırasıyla tanıtılacaktır.

#### **4.3.1 Gama spektrometre sistemi**

İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı’nda bulunan gamma spektrometrik ölçüm sistemi Şekil 4.15’de görülmektedir. ORTEC marka gama spektrometre sistemi n-tipi, dikey kriyostatlı, koaksiyel saf germanyum gama detektörü (GAMMA-X HPGe), dijital sinyal üreten entegre gama spektrometresi (DSPEC jr. 2.0), içi ince bakır tabakasıyla kaplı 10 cm

kalınlığında kurşun zırh ve detektörün yerleşim düzeneği, GAMMA VISION-32 spektrum analiz yazılımı ve bilgisayardan oluşmaktadır.



**Şekil 4.15 :** İTÜ Enerji Enstitüsü Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçüm Laboratuvarı ve Germanyum Detektörün Üstten Görünüşü

Çizelge 4.2’de detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri

Detektör Çapı (mm)	Boyutları		Soğurucu yüzeyler	
	Detektör Uzunluğu (mm)	Detektör- Çeper Uzaklığı (mm)	Karbon Fiber (mm)	İnaktif Germanyum ( $\mu$ m)
61,5	71,1	4	0,76	0,3

Detektörün performans özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3 :** Detektörün performans özellikleri

	Ölçülen	Darbe Şekillendirme Süresi ( $\mu$ s)
Çözünürlük (FWHM) 1,33 MeV $^{60}\text{Co}$	1,84 keV	6
Pik-Compton Oranı	66:1	6
Göreceli Verim 1,33 MeV $^{60}\text{Co}$	%45,7	6
Pik Şekli (FWTM/FWHM) $^{60}\text{Co}$	1,90	6
Pik Şekli (FWFM/FWHM) $^{60}\text{Co}$	2,58	6

Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümlerinde kullanılan sistemin algılama ve saptama sınırının bilinmesi önemlidir. Çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin ölçebileceği en düşük aktiviteler (MDA), Currie kriterlerine dayalı olarak, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (ORTEC, 2003).

$$MDA = \frac{\frac{100}{SENS} \times \sqrt{2 \times BKG + \frac{2500}{SENS^2} + \frac{50}{SENS}}}{LIVETIME} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte; SENS sistemin yüzdelik hassasiyeti, BKG ortamın doğal fon radyasyonu ve LIVETIME ölçüm süresidir.

Currie (1968) kriterlerine dayalı olarak, gama spektrometre sisteminin 20000s'de ve 40000s'de ölçebileceği minimum dedekte edilebilen aktiviteler (MDA) Çizelge 4.4'de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.4 :** Gama spektrometre sistemi için hesaplanan MDA değerleri

Ölçüm Süresi (s)	Minimum Dedekte Edilebilen Aktivite (MDA)		
	<sup>226</sup> Ra (Bq/kg)	<sup>232</sup> Th (Bq/kg)	<sup>40</sup> K (Bq/kg)
20000	0.6	0.2	0.4
40000	0.5	0.3	0.3

Sistemin enerji kalibrasyonu için 1,0 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda <sup>210</sup>Pb, <sup>210</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>57</sup>Co, <sup>139</sup>Ce, <sup>203</sup>Hg, <sup>113</sup>Sn, <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co ve <sup>88</sup>Y radyoizotoplarını içeren IPL( Isotope Product Laboratories) EG-ML standardı kullanılmıştır. Çizelge 4.5'de standarda ait özellikler verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** IPL standartına ait özellikler (DKD-K-36901, 2006).

Gama-Işını Enerjisi (keV)	Nüklidin Adı	Yarı-ömrü	Gama Işını Şiddeti (%)	Aktivitesi (kBq)
47	<sup>210</sup> Pb	22,3 yıl	4,18	11,5
60	<sup>210</sup> Am	432,17 yıl	36,0	1,01
88	<sup>109</sup> Cd	462,6 gün	3,63	16,6
122	<sup>57</sup> Co	271,79 gün	85,6	0,60
166	<sup>139</sup> Ce	137,640 gün	79,9	0,77
279	<sup>203</sup> Hg	46,595 gün	81,5	2,23
392	<sup>113</sup> Sn	115,09 gün	64,9	3,22
514	<sup>85</sup> Sr	64,849 gün	98,4	3,77
662	<sup>137</sup> Cs	30,17 yıl	85,1	2,63
898	<sup>88</sup> Y	106,630 gün	94,0	6,12
1173	<sup>60</sup> Co	5,272 yıl	99,86	3,08
1333	<sup>60</sup> Co	5,272 yıl	99,98	3,08
1836	<sup>88</sup> Y	106,630 gün	99,4	6,12

IPL standardının spektrumunda gözlenen piklerin kanal değerlerinden ve pik enerjilerinden aşağıdaki denklem kullanılarak enerji kalibrasyonu denklemi elde edilmiştir

$$E = a_1 + a_2C + a_3C^2 \quad (4.2)$$

Denklemdaki  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  sabitleri, enerjisi bilinen radyoaktif kaynakların spektrumlarının ölçülmesi ile belirlenir. Birçok kaynaktan gelen sayımlar kaydedilir, böylece geniş bir enerji aralığında gelen radyasyonun enerjisi ayırt edilebilir. Gelen pikin enerjisi ve o pikin algıladığı kanal numaraları kullanılarak, en küçük kareler yöntemi ile spektrum enerji kalibrasyon denklemi belirlenir (Hacıyakupoğlu, 2007).

Sistemin verim kalibrasyonu için, teknik detayları Şekil A.1’de verilen ve ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi’nden temin edilen IPL multinüklid standart kaynağı kullanılmıştır. Standart kaynağın gama spektrometresinden elde edilen radyonüklid enerjilerinin pik alanlarına karşılık gelen detektör verimleri Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen verim değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

$$\epsilon_E = \frac{P_E}{A.I.t_m} \quad (4.3)$$

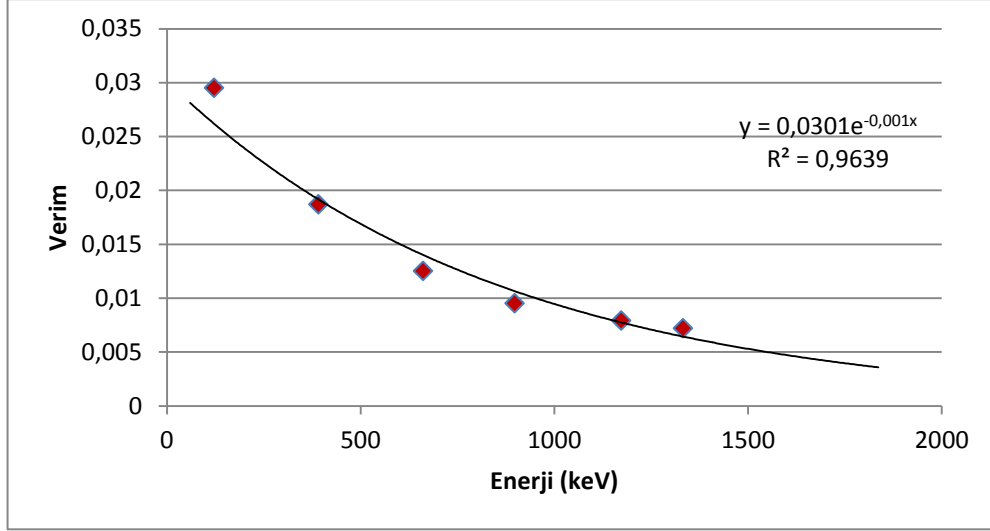
Bu denklemde, E enerjili pikin alanı  $P_E$ , E enerjili pikin sayım verimi  $\epsilon_E$ , ölçüm süresi  $t_m$ , I ise gamma ışını yayma olasılığıdır (Hacıyakupoğlu, 2007).

**Çizelge 4.6 :** Radyonüklit enerjileri için elde edilen verim değerleri.

Nüklid	Enerji (keV)	Verim ( $\epsilon$ )
Co-57	122.0614	0.0295
Sn-113	391.702	0.0187
Cs-137	661.66	0.0125
Y-88	898.042	0.0095
Co-60	1173.238	0.0079
Co-60	1332.502	0.0072

Çizelge 4.5’deki verim değerleri kullanılarak incelenen enerji aralığı için sisteme ait verim kalibrasyon eğrisi Şekil 4.16’deki gibi elde edilmiştir.





**Şekil 4.16 :** İncelenen enerji aralığı için elde edilen verim kalibrasyon eğrisi

Bu verim eğrisinden hareketle ilgilendiğimiz her bir radyonüklidin karakteristik gama enerji değerleri için verim ifadeleri hesaplanmış ve Denklem 5.1 kullanılarak aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

#### 4.3.2 Radon ölçüm sistemi

Çalışmamızda radon konsantrasyonunun belirlenmesi için ÇNAEM Sağlık Fiziği Birimi'nde bulunan Radosys marka radon ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, CR-39 katıhal iz detektörleri, iz kazıma ünitesi ve iz okuma cihazından oluşmaktadır.

##### 4.3.2.1 CR-39 katıhal iz detektörleri

CR-39 olarak bilinen radon detektörünün kimyasal adı polyallyl diglycol karbonat (PADC) ve kimyasal sembolü ise  $C_{12}H_{18}O_7$  dir. Radon ve bozunum ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri detektör kabının içinde yer alan  $1 \text{ cm}^2$  büyüklüğündeki CR-39 detektörü ile etkileşmekte ve detektör yüzeyinde gözle görülmeyecek büyüklükte izler oluşturmaktadır. Şekil 4.17'de CR-39 katıhal iz detektörü görülmektedir.



**Şekil 4.17** : CR-39 katıhal iz detektörü.

#### 4.3.2.2 Radobath iz kazıma ünitesi

Sayım işlemleri yapılmadan önce detektörler, üzerlerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi amacıyla kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur.

Bunun için önce iz kazıma işlemi yapılacak olan detektörler, ışınlama kutusundan çıkartılarak Şekil 4.18’de görülen ve 12 detektör çipini alabilen radoslide detektör tutucu üniteye yerleştirilmiştir. Detektörlerin yerleştirilmesi esnasında ID kodların üstte, alfanümerik (noktalı) kodların alt kenarda kalmasına dikkat edilmiştir.



**Şekil 4.18** : Radoslide detektör tutucu’ya yerleştirilmiş detektörler

Çiplerin yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra Radoslide detektör tutucuları kazıma diski üzerinde bulunan bölmelere Şekil 4.19’da görüldüğü gibi sıralanmıştır. Böylelikle detektörler iz kazıma işlemine hazır hale getirilmişlerdir.



**Şekil 4.19 :** Kazıma diskine yerleştirilen radoslide detektör tutucuları

Şekil 4.20’de görülen Radobath iz kazıma ünitesinin ısıtıcısı, suyun sıcaklığını aşamalı olarak yükselten bir çalışma sistemine sahiptir. NaOH çözeltisinin kullanıldığı kimyasal iz kazıma işleminde banyo ünitesinin ideal su sıcaklığı 60<sup>0</sup>C’dir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında ısıtıcı kapatılarak katı NaOH granülleri eklenmeye başlanmıştır.



**Şekil 4.20 :** Radobath iz kazıma ünitesi

NaOH granüllerini ekleme işlemi 25 gr’lık plastik bir kaşık ve huni kullanılarak yapılmıştır. 1 kg NaOH granüllerinin ilave edilmesi işlemi yaklaşık olarak 40 dakika sürmüştür. NaOH granülleri tamamen suda eriyince karıştırıcı aparatı çıkartılmış ve üzerinde detektörlerin bulunduğu kazıma diski banyo kabına yerleştirilerek kapak kapatılmıştır. Daha sonra ısıtıcı yeniden açılarak karıştırıcı motorun detektörleri dört saat boyunca döndürerek iz kazıma işlemini gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

İz kazıma işlemi tamamlandıktan sonra detektörler üzerinde kalan bazik çözeltinin nötrleştirilmesi gerekmektedir. Nötralizasyon işlemi için 4 L'lik suya % 15-20'lik 200 mL seyreltik sirkeli solüsyon hazırlanarak, boşaltılan banyo kabına alınmıştır. Bir iki dakika karıştırıldıktan sonra nötralize solüsyon boşaltılarak, son yıkama işlemi için banyo kabına 4 L'lik saf su konulmuş ve detektörler 1-2 dakika burada bekletilmiştir.

Çıkarılan kazıma diskleri kurumalarını sağlamak için kurutma kağıtları üzerine konulmuştur. Böylece bir saatlik kuruma işleminden sonra detektörler Radometre iz okuma ünitesinde değerlendirilebilecek hale getirilmiştir.

#### **4.3.2.3 Radon iz okuma cihazı**

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de görülen iz okuma cihazı, bilgisayara bağlı 500 büyütmeli bir mikroskop (Radometre mikroskobu) ve yazılımdan oluşmaktadır. İz kazıma işleminden sonra kurutulan detektörler sırayla optik okuyucu sistemine yerleştirilmiştir.

Detektörlerin üzerindeki izlerin sayımı için, Radometre mikroskobu ile her bir film 144 eşit parçaya bölündükten sonra bilgisayar programı ile veriler değerlendirilmiştir. Detektörlerin araştırma boyunca granit örnekleri üzerindeki bekletilme süreleri sisteme girilerek, iz sayısından hareketle, radon aktivite konsantrasyonları (RAC) elde edilmiştir.



**Şekil 4.21 : Radosys değerlendirme ünitesi**



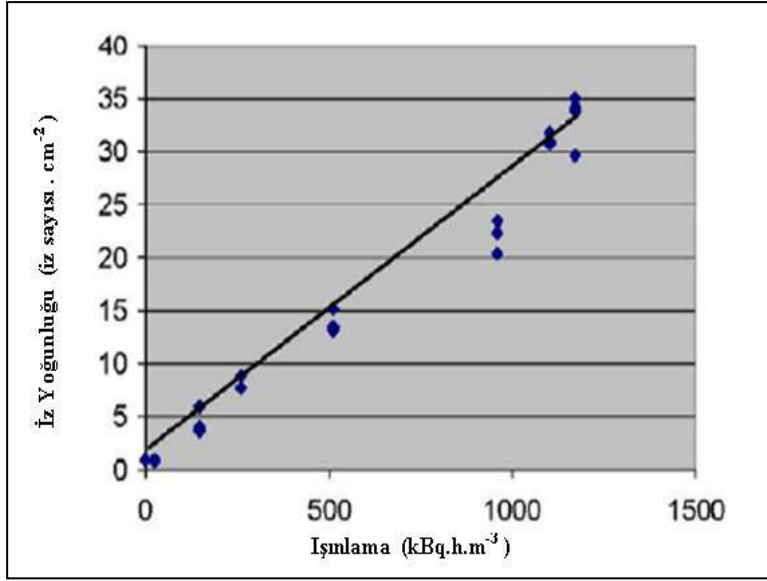
**Şekil 4.22 :** Detektörler üzerinde meydana gelen alfa izlerinin sayım işlemi

Detektörlerin fon değerinin (background) tespit edilmesi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Fon radyasyon belirlemesi için kullanılmamış detektörler diğer detektörlerle aynı işlemlerden geçirilmiş ve kullanılmayan detektörlerin iz yoğunlukları kullanılanlardan çıkarılarak net iz yoğunlukları hesaplanmıştır.

Radon aktivite konsantrasyonları, Şekil 4.23’de görülen kalibrasyon doğrusu yardımıyla sistem tarafından belirlenmektedir (Radosys, 2000). Kullanılan Radosys sistemi için kalibrasyon faktörü  $2,58 \text{ iz sayısı} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^3$  olmaktadır. Buna göre ortamdaki radon aktivite konsantrasyonları Denklem 4.4 kullanılarak sistem tarafından hesaplanmaktadır.

$$RAC = \frac{D - D_f}{S \cdot T} \quad (4.4)$$

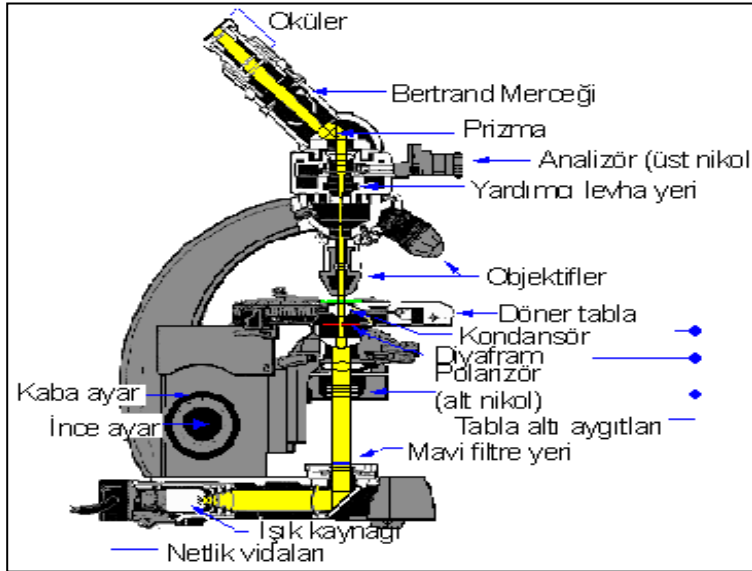
Bu denklemde RAC radon aktivite konsantrasyonunu, D ve  $D_f$  kullanılmış ve kullanılmamış detektörlerin iz yoğunluğunu ( $\text{iz sayısı} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), S kalibrasyon faktörünü ( $\text{iz sayısı} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Bq} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^3$ ), T ise detektörlerin granitler üzerinde bekletilme süresini (saat) ifade etmektedir.



Şekil 4.23 : Okuyucu sistemin kalibrasyon doğrusu (Radosys, 2000).

#### 4.3.3 Optik polarizasyon mikroskobu

Polarize mikroskop, ışığın polarizasyonu yani kutuplanmasından yararlanarak yapılan mikroskoptur. Bu mikroskobun olağan mikroskoplardan farkı polarizör ve analizör adı verilen iki nikol prizmasından oluşmasıdır. Bu nedenle bu mikroskoba polarizan mikroskop adı verilmiştir. Standart bir polarizan mikroskop Şekil 4.24 de gösterilmiştir.



Şekil 4.24 : Standart bir polarizan mikroskop (Optik Mineraloji Ders Notları, 2008).

Polarizan mikroskopta, polarize ışığın elde edilebilmesi için birbirine dik konumda, özel olarak hazırlanmış prizmatik nikoller kullanılır. Bunlara kısaca nikol adı verilir. Polarizör, mikroskoptaki iki nikol prizmasından altta olanıdır. Kalsit kristalinden ya da polaroid plakasından yapılmıştır. Polarizörün polarizasyon düzlemi mikroskop simetri düzlemi ile çakışık olarak monte edilmiştir. Bu nedenle ayarı bozulmadıkça devreden çıkarılamaz. Polarizör ışığın Kuzey-Güney yönünde titreşimini sağlar.

Diyafram; polarizan mikroskobun, döner tablasının altında, polarizör ile kondansör arasında bulunur. Gelen ışığın miktarını ayarlamaya yarar. Bir kol vasıtası ile ayarlanır.

Kondansör; mikroskobun döner tablası altında, bir mandalla devreye girip çıkan, ışığı toplama ve kuvvetlendirme görevi yapan bir mercektir. Genellikle iki mercekten oluşan kondansatörler, bir düğme ile aşağı yukarı inerçıkır ve ışığın istenilen yere odaklanmasını sağlar. Özellikle büyük objektifle yapılan incelemelerde minerallerin optik işaret ve açılarının tayininde kullanılır.

Döner tabla; mikroskobun gövde kısmına alttan bilyelerle oturtulmuş, daire şeklinde, sert plastikten veya metalden yapılmış bir diskidir. Döner tablanın orta kısmında ince kesitin konması ve alttan ışığın geçmesi için bir boşluk bulunur. Tablanın kenarı 360°'ye ayrılmıştır. Açısal ölçmeler bu sayede yapılır. İnce kesiti sabitleştirmek için üzerinde bir maşa bulunur.

Netlik düğmesi; Döner tabla seviyesinin, dolayısıyla ince kesit ile objektif arasındaki mesafenin kaba ve ince ayarı, yani netlik ayarı bu düğme ile yapılır. Bazı mikroskoplarda döner tabla yerine oküler tüpü aşağı-yukarı hareket ettirilerek netlik sağlanır.

Objektifler, mikroskop tablasının üzerinde bulunan cismin büyütülmüş bir görüntüsünü veren mercek sistemleridir. Görüntü büyüklüğünün cismin büyüklüğüne oranı objektifin başlangıç büyütmesini verir. Büyütme tüp uzunluğunun artması ve odak uzaklığının azalması ile oranlı olarak artar. Her objektifin büyütmesi üzerine yazılmış olarak bulunur. Büyütme rakamının önüne genellikle bir "x" işareti konulur.

Analizör; üst nikol prizmasıdır. Titreşim düzlemi (kesit düzlemi) Doğu-Batı doğrultusundadır, yani polarize diktir. Polarizör ve analizör titreşim yönleri birbirlerine dik olarak mikroskopta bulunurlar. Analizör istenildiğinde devreye girer. Analizör devreden çıkarıldığında polarizörden gelen ışık titreşimleri tek düzlem



içinde gelirler. Bu durumda elde edilen ışığa "tabii ışık" analizörün devrede olması halinde elde edilen ışığa ise "polarize ışık" denir.

Oküler, mikroskop tüpünün göze bakan tarafına yerleştirilmiş olan mercek sistemidir. Mikroskop gövdesine üstten vida ile tutturulmuş ve incelemelerde gözle bakılan, yapı olarak eğik veya dik konumda bulunan bir tüpten ibarettir. Objektifin büyütme vermiş olduğu görüntüyü tekrar büyütme, görüntü alanını artırmaya ve objektif tarafından meydana getirilen kusurları düzeltmeye yarar.



## 5. DENEY SONUÇLARI

Bölüm 4’de örnekleme aşaması ve analizlere uygun hale getirmek için yapılan hazırlama işlemleri ayrıntılı olarak anlatılan granitik kayaç örnekleri, radyolojik ve mineralojik yönden incelenmişlerdir. Granitik kayaç örneklerinin öncelikle dışsal ve içsel radyolojik risk yönünden değerlendirilebilmesi için radyonüklid konsantrasyonları ve radon salınım hızları belirlenmiştir. Granitik kayaçlar ayrıca mineralojik olarak da incelenmiş ve böylece radyolojik incelemenin temelini oluşturan radyonüklitlerin kaynağı araştırılmıştır.

### 5.1 Radyonüklid Aktivite Konsantrasyonları

Granitik kayaç örneklerinin doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için Bölüm 4.3.1’de tanıtılan Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Ana Bilim Dalı, Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı’nda bulunan ORTEC marka gama spektrometre sisteminden yararlanılmıştır. Granitik kayaç örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde yararlanılan bozunum ürünü radyonüklitler ile ilgili bilgi Çizelge 5.1’de verilmektedir. Ürün aktiviteleri kullanılarak yapılan bu kantitatif analizde bulunan  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonları eşdeğer uranyum (eU) ve eşdeğer toryum (eTh) olarak ifade edilebilmektedir.  $^{40}\text{K}$  ölçümlerinde ise kendi karakteristik gamma ışını (1460 KeV) kullanıldığından bulunan %K konsantrasyonu doğrudan potasyum içeriğini vermektedir (Yaprak ve Yener, 1988).

**Çizelge 5.1 :** Ra ve Th tayininde kullanılan radyonüklidlere ilişkin gamma enerjileri ve intensiteleri.

Bozunum Serisi	Radyonüklid	Gama Enerjisi (keV)	Gama İntensitesi (%)
$^{238}\text{U}$	Bi-214	609.3	44.6
	Pb-214	351.9	35.1
	Pb-214	295.2	18.1
$^{232}\text{Th}$	Tl-208	583	28.7
	Ac-228	911.1	27.7

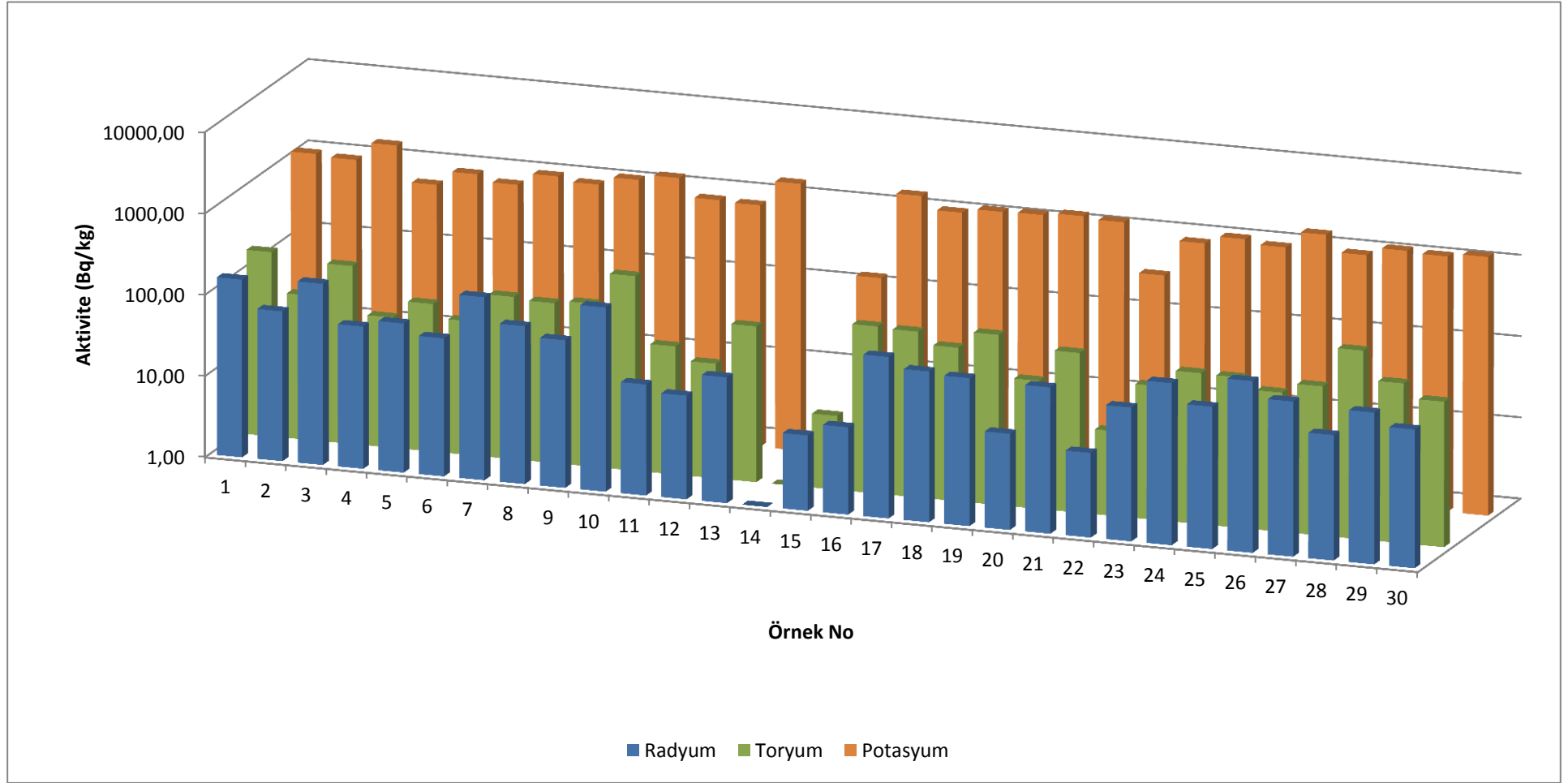
Her bir örnek için yapılan gama spektrometrik analizler sonucunda elde edilen sayım değerleri ve Denklem 5.1 kullanılarak hesaplanan aktivite konsantrasyonları ticari isimleri ile birlikte toplu olarak Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1’de verilmektedir.

$$A_s = \frac{C_s}{\varepsilon \cdot P_r \cdot M_s} \quad (5.1)$$

Bu denklemde  $A_s$  söz konusu radyonüklidin aktivite konsantrasyonunu (Bq/kg),  $C_s$  gamma ışınlarının sayım hızını ( sayım/ saniye),  $\varepsilon$  gamma enerjileri için belirlenen detektör verimini,  $P_r$  ilgili radyonüklidin bulunduğu serideki gama yayınlama olasılığını ve  $M_s$  örneğin kütlesini (kg) belirtmektedir.

**Çizelge 5.2 :** Gamma spektrometrik analiz sonucunda elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları.

Örnek No	Ticari Adı	$^{226}\text{Ra}$ (eU) (Bq/Kg)	$^{232}\text{Th}$ (eTh) (Bq/Kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/Kg)
1	Çanakkale Gri	154.29 ± 0.83	185.02 ±1.01	1228.61 ±6.27
2	Aksaray Yaylak	69.96 ± 0.75	60.19 ±1.06	1153.96 ±7.50
3	Giresun Vizon	170.26 ± 1.03	155.21 ±1.54	1934.83 ± 10.45
4	Hisar Yaylak	56.51 ± 0.40	40.21 ±0.58	706.45 ±3.89
5	Bergama Gri	68.67 ± 0.47	65.81 ±0.80	1064.11 ±5.00
6	Balaban Green	50.27 ± 0.38	44.60 ±0.61	877.36 ±4.74
7	Aksaray Pembe	179.23 ±0.69	99.84 ±0.71	1243.07 ±5.97
8	Kozak	88.05 ±0.70	93.21 ±1.11	1097.08 ±7.35
9	İtalyan Porrino	65.87 ± 0.77	101.81 ±1.52	1395.97 ±7.82
10	Rosa Balmoral	185.55 ±1.31	248.54 ±1.74	1640.14 ±8.86
11	Rosa Beta	23.33 ±0.46	37.81 ±0.86	976.17 ±6.83
12	Çin Sardo	18.92 ±0.27	25.85 ±0.64	940.93 ±6.77
13	Sanboa Red	35.40 ±0.61	82.76 ±1.01	1923.04 ±9.42
14	Verde Guatemala	0.74 ±0.05	0.52 ±0.10	<MDA
15	Star Galaxi	8.48 ±0.23	8.14 ±0.33	165.66 ±2.62
16	Green Butterfly	11.92 ±0.49	114.51 ±1.27	1884.84 ±8.86
17	Çin Balmoral	97.21 ±0.76	109.87 ±1.38	1308.69 ±7.46
18	Baltic Brown	71.86 ±0.65	77.70 ±1.16	1490.79 ±8.20
19	Rosy Pink	66.34 ±0.82	124.68 ±1.43	1519.21 ±8.51
20	Giallo Ornamentale	15.26 ±0.43	37.76 ±0.99	1641.84 ±8.05
21	Rosa Porrino	63.32 ±0.70	92.59 ±1.04	1535.05 ±8.44
22	Hindistan Siyahı	11.01 ±0.24	11.09 ±0.41	379.96 ±3.95
23	Blue Pearl	44.50 ±0.54	44.72 ±0.78	1049.12 ±6.71
24	Rosa Minho	98.89 ±0.67	72.37 ±1.10	1319.61 ±7.92
25	Brown Porrino	56.52 ±0.61	71.01 ±1.04	1163.65 ±7.33
26	Rosavel	129.91 ±0.89	51.67 ±1.03	1852.55 ±9.26
27	Çin Porrino	81.26 ±0.53	68.84 ±0.72	1158.8 ±5.33
28	Coral Maron	34.96 ±0.65	211.41 ±1.54	1461.41 ±8.18
29	Coral Mist	73.77 ±0.68	92.93 ±1.10	1389.12 ±8.20
30	Brezilya Jaguar	50.90 ±0.60	61.72 ±1.12	1522.55 ±8.37



Şekil 5.1 : Granit örneklerinde saptanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1 incelendiğinde,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  için elde edilen en yüksek aktivite konsantrasyon değerlerinin 10 numaralı Finlandiya kökenli *Rosa Balmoral* adlı granit örneğinde sırasıyla  $185.55 \pm 1.31$  ve  $248.54 \pm 1.74$  Bq/Kg olarak bulunduğu görülmektedir.  $^{40}\text{K}$  için elde edilen en yüksek aktivite konsantrasyon değeri 3 numaralı yerel *Giresun Vizon* granitinde elde edilmiştir. Ölçülen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının en düşük değeri ise 14 numaralı Hindistan kökenli *Verde Guatemala* granitinde sırasıyla  $0.74 \pm 0.05$ ,  $0.52 \pm 0.10$  Bq/kg ve <MDA olarak elde edilmiştir.

İncelenen tüm granit örneklerinde belirlenen potasyum aktivite konsantrasyonları, uranyum ve toryuma göre nispeten daha büyük değerlerdedir. Granitin ana kayaç yapıcı minerallerinden olan alkali feldspatlar, asidik plajiyoklazlar ve mikaların potasyum aktivite konsantrasyonunun özünü oluşturması ile karşılaşılan bu durum açıklanabilir.

Elde edilen bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, çalışılan granit örneklerinin birçoğunun UNSCEAR 1993 raporunda tipik bina materyallerindeki ortalama doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için, sırasıyla 50 Bq/kg, 50 Bq/kg ve 500 Bq/kg) üstünde olduğu görülmektedir (UNSCEAR, 1993).

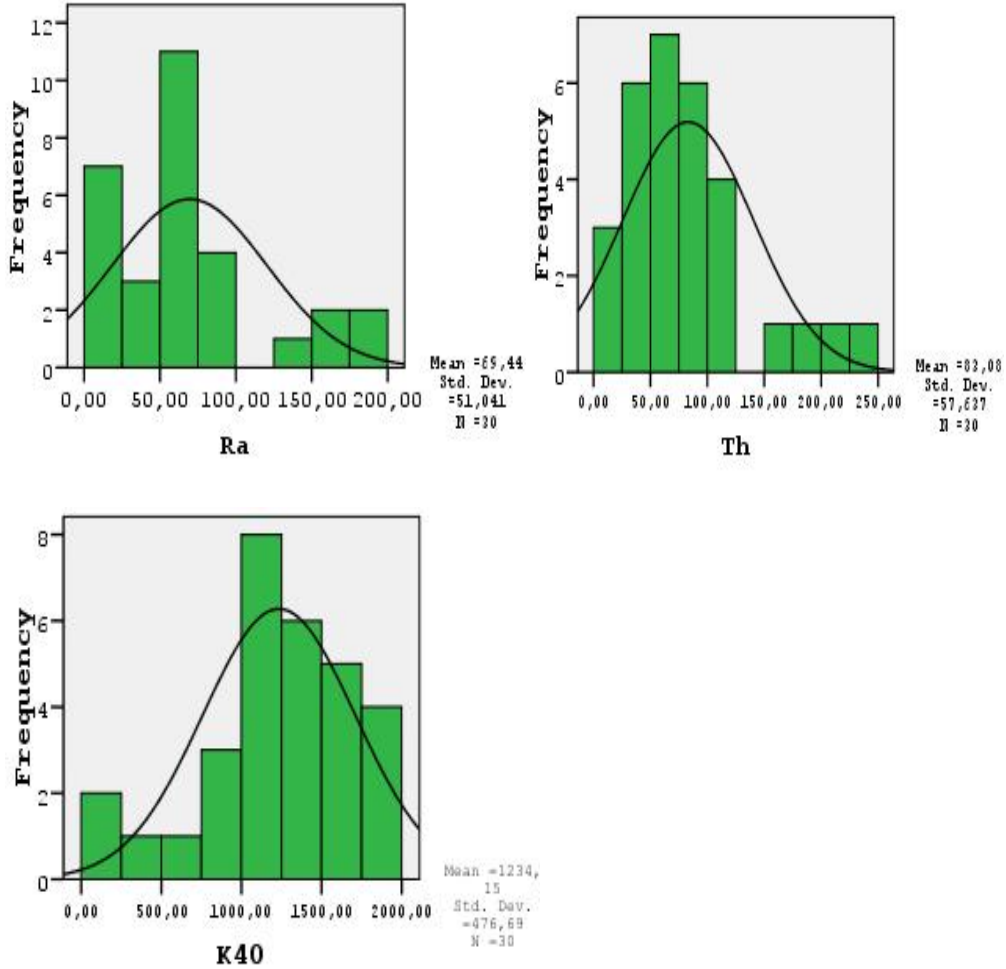
Çizelge 5.2 incelendiğinde, Radyum aktivite konsantrasyonu için *Çanakkale Gri*, *Giresun Vizon*, *Aksaray Pembe* ve *Rosavel* örneklerinde elde edilen değerlerin, Toryum aktivite konsantrasyonları için ise *Çanakkale Gri*, *Giresun Vizon*, *Green Butterfly*, *Çin Balmoral*, *Rosy Pink* ve *Coral Maron* örneklerinde elde edilen değerlerin UNSCEAR tarafından belirtilen Radyum ve Toryum aktivite konsantrasyonlarının ortalama değeri olan 50 Bq/kg'ın iki katından fazla oldukları görülmektedir. Potasyum aktivite konsantrasyonları için ise *Rosa Balmoral*, *Sanboa Red*, *Green Butterfly*, *Rosy Pink*, *Giallo Ornamentale*, *Rosa Porrino*, *Rosavel* ve *Brezilya Jaguar* örnekleri için UNSCEAR tarafından belirlenen ortalama değer'in (500Bq/kg) üç katından fazla değerler elde edildiği görülmektedir.

Granit örneklerinin doğal radyonüklid aktivite içeriklerine ilişkin istatistik hesaplar SPSS 15.0 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır (Eymen, 2007). Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması, medyanı, geometrik ortalaması, minimum ve maksimum değerleri ve standart sapmaları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3 :** Granitlerde gözlenen doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonunun istatistik analizi

Radyonüklid	Radyonüklid Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)					
	Örnek Sayısı	Min- Maks	Aritmetik Ortalama	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Medyan
$^{226}\text{Ra}$ (eU)	30	0,74-185,55	69,438	46,916	51,041	64,59
$^{232}\text{Th}$ (eTh)	30	0,52-248,54	83,079	57,916	57,636	71,69
$^{40}\text{K}$	30	0,004-1934,8	1234,15	768,989	476,689	1275,8

Granit örneklerinde saptanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına ait Şekil 5.2’de görülen frekans dağılımları elde edilmiş ve bu histogramların, normal ve log-normal dağılım fonksiyonları ile uygunlukları incelenmiştir. Bu frekans dağılımlarının karşılaştırılmasında Kolmogorov-Smirnov normalite testi kullanılmıştır.



**Şekil 5.2 :** Granit örneklerinde saptanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımları.

Bu dağılımlara göre, granit örneklerinde saptanan doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması;  $^{226}\text{Ra}$  için 69,4389 Bq/kg (5,65 ppm U),  $^{232}\text{Th}$  için 83,0798 Bq/kg (20,77 ppm Th) ve  $^{40}\text{K}$  için 1234,15 Bq/kg (%3,98 K)'dur (1 ppm U  $\cong$  12.3Bq/kg  $^{226}\text{Ra}$ , 1 ppm Th  $\cong$  4.0 Bq/kg  $^{232}\text{Th}$ , 1 % K  $\cong$  310 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ ) (Durrani ve Illic, 1997).

Normal dağılım fonksiyonunda, aritmetik ortalama ile medyan benzer iken, log-normal dağılım fonksiyonunda geometrik ortalama ile medyan benzer olmaktadır (Blagoeva ve Zikovssky, 1995; Yaşar, 2006). Bu bilgiden yararlanarak ve granit örneklerinde saptanan doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları dağılımına uygulanan ve Çizelge 5.4'de verilmiş olan Kolmogorov-Smirnov normalite testi sonuçları doğrultusunda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  dağılımlarının normal dağılıma uyduğu söylenebilir.

**Çizelge 5.4 :** Kolmogorov-Smirnov Testi sonuçları.

		$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Örnek Sayısı		30	30	30
Normal Parametreler	Ortalama	69,4389	83,0798	1234,1518
	Standart sapma	51,04126	57,63699	476,68970
En Büyük Farklar	Mutlak	0,166	0,139	0,116
	Pozitif	0,166	0,139	0,071
	Negatif	-0,89	-0,082	-0,116
Kolmogorov-Smirnov Z		0,910	0,763	0,633
Asymp. Sig.		0,379	0,606	0,817

Çizelge 5.4'de Asymp.Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0,05'den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir.

## 5.2 Radon Salınım Hızları

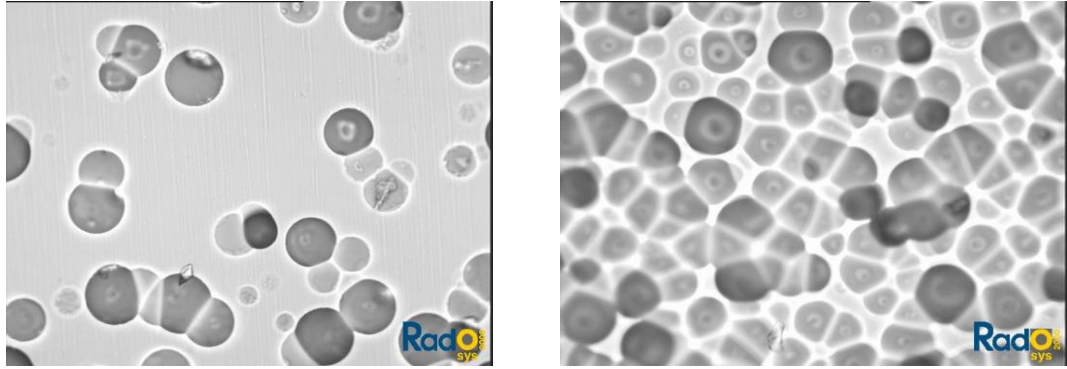
Özellikle bina içi dekorasyonunda yaygın olarak kullanılan granitlerin radyolojik risk yönünden değerlendirilmesinde içsel ışınlamanın etkisini anlamak amacıyla radon salınım hızının belirlenmesi önemli bir husustur. Bu amaçla Bölüm 4.2.3'de anlatıldığı şekilde granit örneklerinin üzerine orta ve köşe olmak üzere iki farklı konuma yerleştirilen CR-39 katıhal iz detektörlerinin üzerinde meydana gelen iz yoğunlukları ölçülmüş ve radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Katıhal nükleer iz detektörleri kullanılarak belirlenen radon konsantrasyonları yardımıyla radon salınım

hızları Denklem 5.2 ifadesi ile hesaplanmıştır (Abu Jarad ve Al-Jarallah, 1986; Pereira ve diğ., 2008; Abu Jarad, 1982; Abu Jarad ve diğ., 1980).

$$E = \frac{CV\lambda/A}{T+(1-\lambda)(e^{\lambda T}-1)} \quad (5.2)$$

Bu denklemde E radon salınım hızı (Bq/m<sup>2</sup>h), C belirlenen radon konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>), V kullanılan kabın hacmi (m<sup>3</sup>), A kap tarafından kapatılan yüzeyin alanı (m<sup>2</sup>), λ radonun bozunum sabiti ve T ışınlanma süresidir (h).

Hasar gören veya üzerinde çok fazla iz olduğu için okumanın gerçekleştirilemediği detektörler değerlendirmeye alınmamıştır. Şekil 5.3'de izlerin rahat okunabildiği ve izlerin üst üste binmesinden dolayı okuma işleminin yapılamadığı iki detektör örneği görülmektedir. Şekil 5.3a'da izlerin rahat okunabildiği bir detektör örneği olarak, *Baltic Brown* adlı granit örneğinin 1/144'üne ilişkin elde edilen görüntü verilmektedir. Şekil 5.3b'de ise izlerin çakışması nedeniyle okumanın gerçekleştirilemediği bir detektör örneği olan *Çin Balmoral* granit örneği için elde edilen görüntü yer almaktadır.



(a)

(b)

**Şekil 5.3 :** Radosys iz okuma cihazından elde edilen (a) *Baltic Brown* ve (b) *Çin Balmoral* granit örneklerine ait detektörlerde meydana gelen izlerin mikroskopik görüntüsü.

Ölçülen <sup>222</sup>Rn aktivite konsantrasyonları, hesaplanan radon salınım hızları Çizelge 5.5'de bir arada verilmektedir. Hata değerleri, C radon konsantrasyonunu belirtmek üzere Denklem 5.3'den yararlanılarak hesaplanmıştır (Durrani ve Illiç, 1997).

$$\% \text{ hata} = \frac{\bar{c}}{c} * 100 \quad (5.3)$$

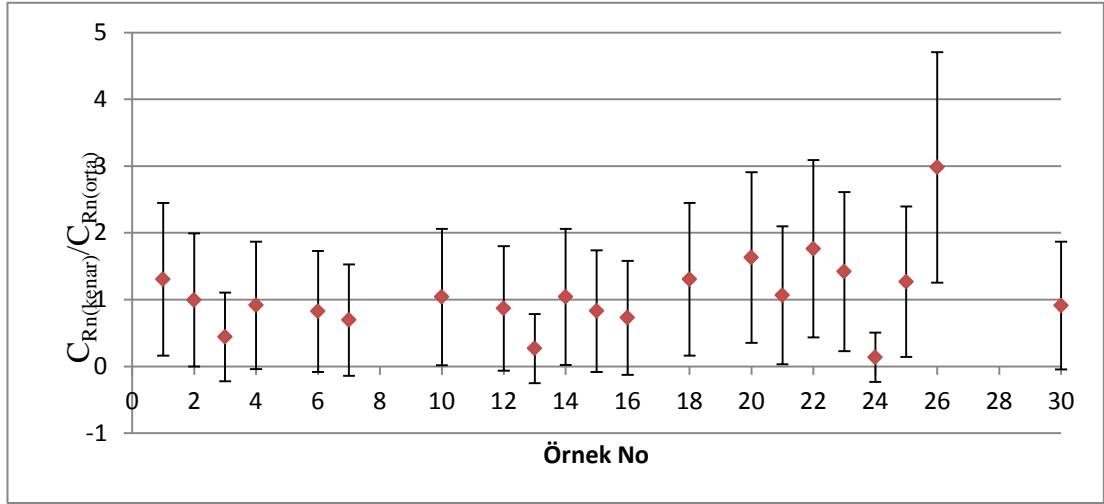
**Çizelge 5.5 :** Granit örneklerinde saptanan radon konsantrasyonları, salınım hızları ve içsel yıllık etkin doz eşdeğeri.

Örnek No	Ticari Adları	$C_{Rn}$ Orta (Bq/m <sup>3</sup> )	$C_{Rn}$ Kenar (Bq/m <sup>3</sup> )	$C_{Rn}$ Ortalama (Bq/m <sup>3</sup> )	E (Bq/m <sup>2</sup> h)	ED (mSv/y)
1	Çanakkale Gri	2396 ±49	3126 ±56	2761 ±53	0.414	0.021
2	Aksaray Yaylak	936 ±31	931 ±31	933 ±31	0.140	0.007
3	Giresun Vizon	2015 ±45	890 ±30	1453 ±38	0.218	0.011
4	Hisar Yaylak	820 ±29	749 ±27	784 ±28	0.118	0.006
6	Balaban Green	976 ±31	802 ±28	889 ±30	0.133	0.007
7	Aksaray Pembe	4628±68	3210 ±57	3919 ±63	0.588	0.030
10	Rosa Balmoral	5555 ±75	5768 ±76	5661 ±75	0.849	0.043
12	Çin Sardo	1509 ±39	1310 ±36	1409 ±38	0.211	0.011
13	Sanboa Red	1687 ±41	450 ±21	1069 ±33	0.160	0.008
14	Verde Guatemala	130 ±11	135 ±12	132 ±11	0.020	0.001
15	Star Galaksi	273 ±17	227 ±15	250 ±16	0.037	0.002
16	Green Butterfly	219 ±15	159 ±13	189 ±14	0.028	0.001
18	Baltic Brown	2643 ±51	3448 ±59	3046 ±55	0.457	0.023
20	Giallo Ornamentale	347 ±19	566 ±24	457 ±21	0.068	0.003
21	Rosa Porrino	2484 ±50	2643 ±51	2564 ±51	0.384	0.019
22	Hindistan Siyahı	422 ±21	743±27	582 ±24	0.087	0.004
23	Blue Pearl	213 ±15	302 ±17	257 ±16	0.039	0.002
24	Rosa Minho	7159 ±85	970 ±31	4064 ±64	0.610	0.031
25	Brown Porrino	1034 ±32	1310 ±36	1172 ±34	0.176	0.009
26	Rosavell	1363 ±37	4061 ±64	2712 ±52	0.407	0.021
30	Brezilya Jaguar	414 ±20	377 ±19	396 ±20	0.059	0.003



Her bir granit örneği için radon salınım hızı kenar ve ortaya yerleştirilen detektörlerden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen radon salınım hızlarının 0,020 Bq/m<sup>2</sup>h ile 0,849 Bq/m<sup>2</sup>h arasında değiştiği Çizelge 5.5'den görülmektedir. Bilindiği gibi radon gazı radyumun bozunumu sonucunda meydana gelmektedir. Radyum aktivite konsantrasyonunun en düşük değer aldığı Verde Guatemala örneğinde en düşük radon salınım hızı değeri elde edilirken, en yüksek radyum aktivite konsantrasyonunun saptandığı Rosa Balmoral granit örneğinde radon salınım hızının en yüksek değeri gözlemlenmiştir.

Granit blokların yüzeyinden radon salınım hızının uniform olup olmadığını kontrol etmek için, orta ve kenar bölgelere yerleştirilen detektörlerden elde edilen radon konsantrasyonlarının oranı belirlenmiş ve bu oran  $\pm$  hata değerleri ile birlikte Şekil 5.4'de verilmiştir.

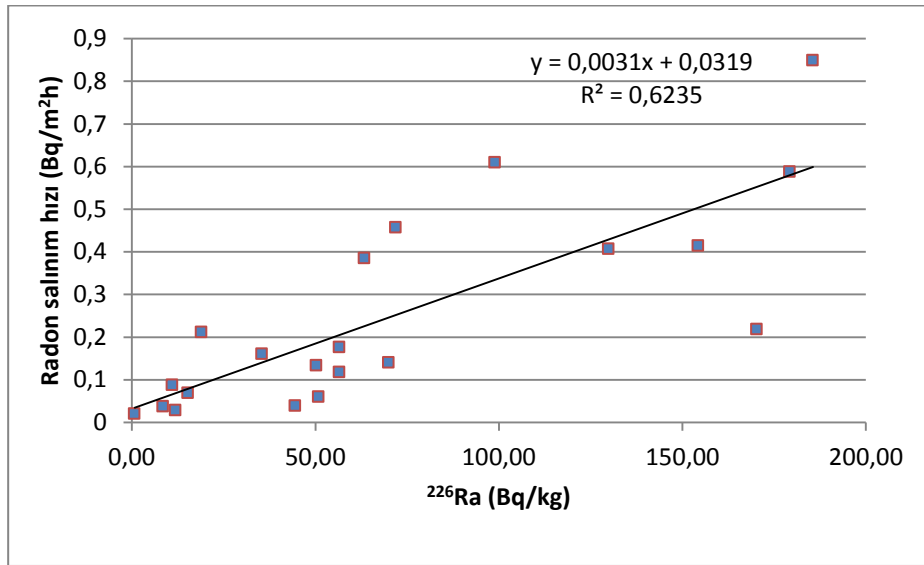


**Şekil 5.4 :** Granit örnekleri için belirlenen radon konsantrasyonlarının oranı.

Çizelge 5.5 ve Şekil 5.4'den görüldüğü üzere granit örneklerinin üzerinde iki farklı konuma yerleştirilen detektörlerden ölçülen konsantrasyon değerleri, örneklerin bir kısmında uniform bir dağılım sergilememektedir. Bu sonuç yapılan benzer çalışmalarla uyum içinde olup, aktivite konsantrasyonlarına sebep olan minerallerin doğada homojen dağılım göstermemeleri ile ilişkilidir. Granit örneğine yerleştirilen detektörler, sadece granitin üzerine kapatılan kabın yüzey alanı kadar bir bölgeden çıkan radon miktarını belirleyebilmektedir (Al Jarallah, 2005; Al Jarallah, 2001; El Amri ve diğ., 2003).

Radona bağılı içsel radyolojik risk yönünden değerlendirme yapabilmek amacıyla, granit örneklerinden elde edilen radon salınım hızları kullanılarak ve UNSCEAR raporlarında verilen standart oda ( $V=3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ ,  $S=54 \text{ m}^2$ ,  $S/V=2 \text{ m}^{-1}$ ) dikkate alınarak Denklem 2.9 yardımıyla dozimetrik hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamada odanın tamamının aynı materyalden yapıldığı varsayılmış ve elde edilen bina içi içsel maruz kalma etkin doz eşdeğerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. En yüksek radon salınım hızı olan  $0,849 \text{ Bq/m}^2\text{h}$  değeri için bina içi içsel maruz kalma etkin doz eşdeğeri  $0,04 \text{ mSv/y}$  olarak bulunmuştur. İncelenen granit örnekleri için bina içi maruz kalmaya katkınının hayli az ve radyolojik risk oluşturmayacak düzeyde olduğu görülmektedir. Ancak radon konsantrasyonunu artıran tek faktörün yapı malzemeleri olmadığını, binanın bulunduğu tabanın radon geçirgenliği, musluk suyu ve havalandırma gibi koşulların da bina içindeki radon konsantrasyonunu etkilediğini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Doğal taşların radon salınım hızlarının ölçüldüğü çalışmalarda; yüksek radyoaktivite içeren granitlerin bina içi radon konsantrasyonuna önemli miktarlarda katkı yaptığı saptanmıştır (Al- Jarallah ve diğ., 2005; Al- Jarallah, 2001; El- Dine ve diğ., 2001; Righi ve Bruzzi, 2006). Radyumun bozunumu sonucu meydana gelen radon gazının ortama salınım hızı ile radyum aktivitesi arasında bir korelasyon olması beklenir. Bu bağlamda hesaplanan radon salınım hızları ve radyum aktivite konsantrasyonu arasındaki korelasyon Şekil 5.5’de görüldüğü gibi saptanmıştır.



Şekil 5.5 : Granit örneklerindeki  $^{222}\text{Rn}$  salınım hızı ve Radyum aktivite konsantrasyonları arasındaki ilişki

Granitik kayaç örneklerinin Radon salınım hızları ile Radyum aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon katsayısı 0,62 olarak belirlenmiştir. Bu değer bize istatistiksel olarak bu iki büyüklük arasında anlamlı bir ilişkiyi işaret etmekte birlikte, radon salınım hızı üzerine, aktivite konsantrasyonlarının yanı sıra gözeneklilik, yoğunluk ve nem gibi diğer fiziksel faktörlerin de etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Yaşar, 2006).

### **5.3 Granit Örneklerinin Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi**

Bina yapım ve dekorasyonunda kullanılan malzemelerdeki radyonüklid içeriği nedeniyle, bina içinde radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır. Bunlardan birincisi, bina içi ortamda solunan radon gazının neden olduğu içsel maruz kalma, ikincisi ise bina materyallerinden yayınlanan gama ışınlarının neden olduğu dışsal maruz kalmadır (UNSCEAR, 1982; UNSCEAR, 1988). Radona bağlı olarak maruz kalınan içsel yıllık etkin doz eşdeğeri Bölüm 5.2’de yer alan Çizelge 5.5’de verilmektedir.

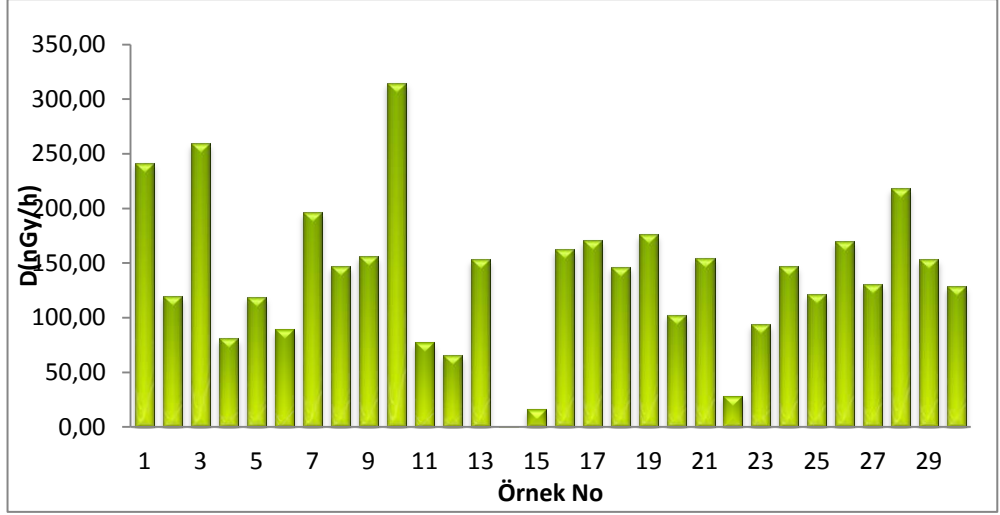
Bina yapım ve dekorasyonunda yaygın olarak kullanılan granit örnekleri için, radyolojik risk değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan  $Ra_{eq}$  aktivitesi, karasal kaynaklı yapı malzemelerinden bina içi ortamda maruz kalınan D gama doz hızı, ED yıllık etkin doz eşdeğeri,  $H_{ex}$  ve  $H_{in}$  zarar indeksleri, hesaplanmıştır.

Bina içi ortamda granitik kayaçların kullanımından kaynaklanan radyolojik riskin değerlendirilmesine olanak tanıyan bu radyolojik özellikler, incelenen doğal taşlarda belirlenen radyonüklid konsantrasyonları kullanılarak, Bölüm 2.3’de verilen denklemler yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan Radyum eşdeğer aktiviteleri, iç ve dış zarar indeksleri, karasal kaynaklı yapı malzemelerinden dolayı bina içi ortamda maruz kalınan gama doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri Çizelge 5.6’da ve Şekil 5.6 - Şekil 5.9 arasındaki grafiklerde görülmektedir.

**Çizelge 5.6** : Granit örneklerinin dışsal maruz kalmaya bağlı radyolojik özellikleri.

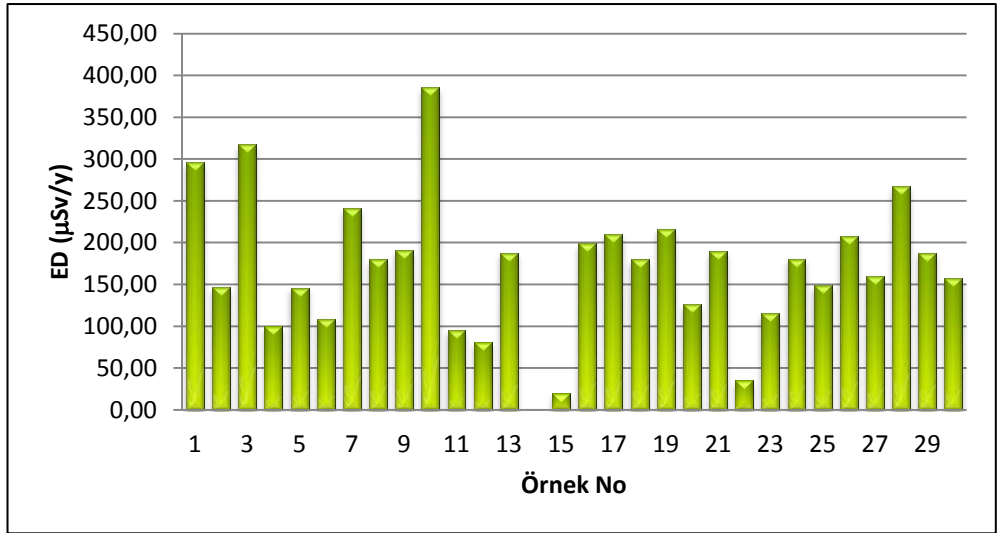
Örnek No	Ra <sub>eq</sub> (Bq/Kg)	D (nGy/h)		ED (µSv/y)		H <sub>ex</sub>	H <sub>in</sub>
		w <sub>m</sub> *=1	w <sub>m</sub> *=0.25	w <sub>m</sub> *=1	w <sub>m</sub> *=0.25		
1	513.47	241.44	60.36	1184,41	296,10	1.39	1.84
2	244.89	119.57	29.89	586,57	146,64	0.66	0.89
3	541.20	259.04	64.76	1270,73	317,68	1.46	1.98
4	168.40	81.26	20.32	398,65	99,66	0.45	0.63
5	244.71	118.86	29.71	583,07	145,77	0.66	0.88
6	181.61	88.89	22.22	436,08	109,02	0.49	0.65
7	417.72	196.33	49.08	963,10	240,77	1.13	1.65
8	305.81	146.69	36.67	719,62	179,91	0.83	1.10
9	318.95	155.83	38.96	764,44	191,11	0.86	1.08
10	667.25	314.62	78.65	1543,38	385,85	1.80	2.36
11	152.57	77.17	19.29	378,55	94,64	0.41	0.51
12	128.34	65.84	16.46	323,00	80,75	0.35	0.43
13	301.82	152.98	38.24	750,45	187,61	0.82	0.97
14	1.48	0.66	0.16	3,23	0,81	0.004	0.01
15	32.87	16.16	4.04	79,29	19,82	0.09	0.12
16	320.80	162.32	40.58	796,27	199,07	0.87	0.96
17	355.09	170.78	42.69	837,76	209,44	0.96	1.26
18	297.77	146.53	36.63	718,80	179,70	0.80	1.05
19	361.61	176.49	44.12	865,80	216,45	0.98	1.20
20	195.67	102.44	25.61	502,52	125,63	0.53	0.62
21	313.92	154.65	38.66	758,63	189,66	0.85	1.07
22	56.13	28.46	7.11	139,61	34,90	0.15	0.19
23	189.24	93.93	23.48	460,79	115,20	0.51	0.66
24	304.00	147.15	36.79	721,84	180,46	0.82	1.13
25	247.66	121.41	30.35	595,58	148,90	0.67	0.86
26	346.44	169.71	42.43	832,51	208,13	0.94	1.35
27	268.93	130.33	32.58	639,35	159,84	0.73	0.98
28	449.81	218.02	54.50	1069,51	267,38	1.21	1.36
29	313.62	153.03	38.26	750,70	187,68	0.85	1.09
30	256.40	128.37	32.09	629,72	157,43	0.69	0.88

Hesaplanan bina içi ortamdaki karasal doz hızı değerleri Çizelge 5.6 ve Şekil 5.6’da verilmiştir. Granit örnekleri için elde edilen doz hızları bina içi kullanım yüzdesi (w<sub>m</sub>=0,25) dikkate alındığında, 0.16 nGy/h ile 78.65 nGy/h arasındaki değerlerde belirlenmiştir. En düşük değer 14 numaralı *Verde Guatemala* örneğinde gözlemlenirken en yüksek değer 10 numaralı *Rosa Balmoral* örneğinde belirlenmiştir. Bütün granit örnekleri için elde edilen doz hızı değerleri, limit değer olan 80 nGy/h’in altındadır (UNSCEAR, 1993).



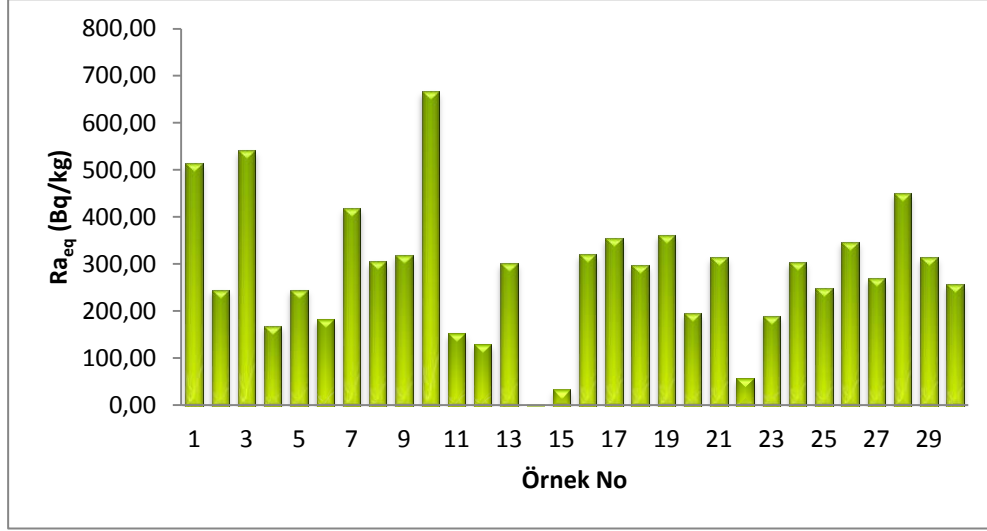
Şekil 5.6 : Granit örnekleri için belirlenen Doz hızı değerleri.

Elde edilen doz hızlarından yola çıkılarak hesaplanan etkin doz eşdeğeri Çizelge 5.6 ve Şekil 5.7’de görülmektedir. Benzer şekilde en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri 14 numaralı *Verde Guatemala* örneğinde, en düşük değer ise 10 numaralı *Rosa Balmoral* örneğinde belirlenmiştir. Bina içi kullanım yüzdeleri dikkate alındığında incelenen örnekler için elde edilen eviçi karasal gama radyasyonundan kaynaklanan etkin doz eşdeğerlerinin 1 mSv/y’ı aşmadığı belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000).



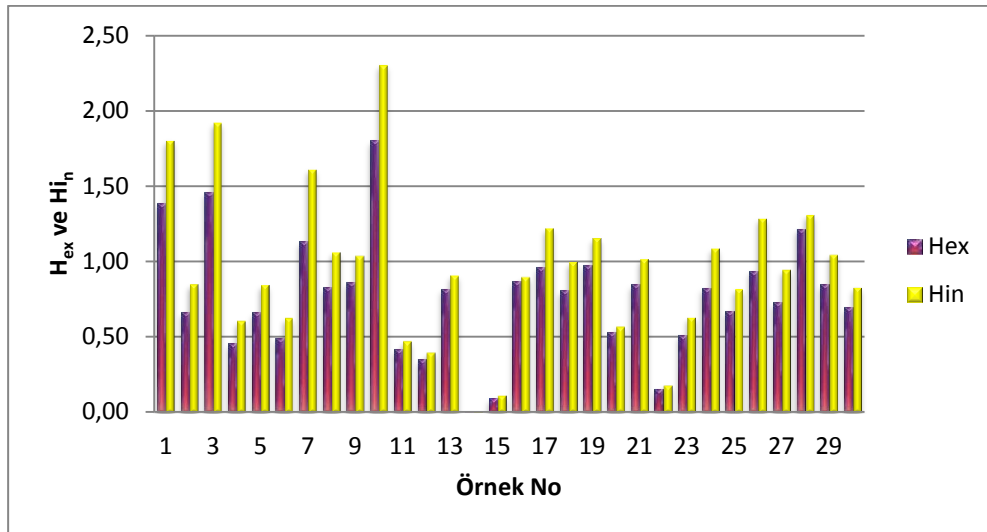
Şekil 5.7 : Granit örnekleri için belirlenen etkin doz eşdeğerleri.

Kayaçların içerdiği  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitelerine dayalı olarak hesaplan  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  aktivitesi, radyolojik risk kriterleri için gösterge olmakta ve sınır değerleri belirlemektedir. Bu doğrultuda, Çizelge 5.6 ve Şekil 5.8 incelendiğinde, radyolojik risk kriterlerinin düşük değerlerinin 14 numaralı *Verde Guatemala*, yüksek değerlerinin ise 10 numaralı *Rosa Balmoral* örneğine ait olduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.8 : Granit örnekleri için belirlenen radyum eşdeğer aktiviteleri.

Hesaplanan  $H_{\text{in}}$  ve  $H_{\text{ex}}$  zarar indisi değerleri Çizelge 5.6 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.  $H_{\text{in}}$  zarar indisinin 0,01 ile 2,36 arasında ve  $H_{\text{ex}}$  zarar indisinin ise 0,004 ile 1,8 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. En düşük  $H_{\text{in}}$  ve  $H_{\text{ex}}$  zarar indisi değerleri 14 numaralı *Verde Guatemala* örneğinde belirlenirken en yüksek  $H_{\text{in}}$  ve  $H_{\text{ex}}$  zarar indisi değerleri 10 numaralı *Rosa Balmoral* örneğinde saptanmıştır.



Şekil 5.9 : Granit örnekleri için belirlenen  $H_{\text{in}}$  ve  $H_{\text{ex}}$  zarar indisleri

## 5.4 Mineralojik inceleme sonuçları

Kayaç örneklerinden mineralojik inceleme için hazırlanmış ince kesitler, optik mikroskopta, içinden geçen ışının kazandığı özelliklerin saptanmasıyla tanımlanmıştır. Burada kayaçı oluşturan minerallerin cinsleri, kristal boyutları, mineraller arasındaki dokusal ilişkiler, gözeneklilik, bozuşma ürünleri ve dağılımları saptanmaya çalışılmıştır.

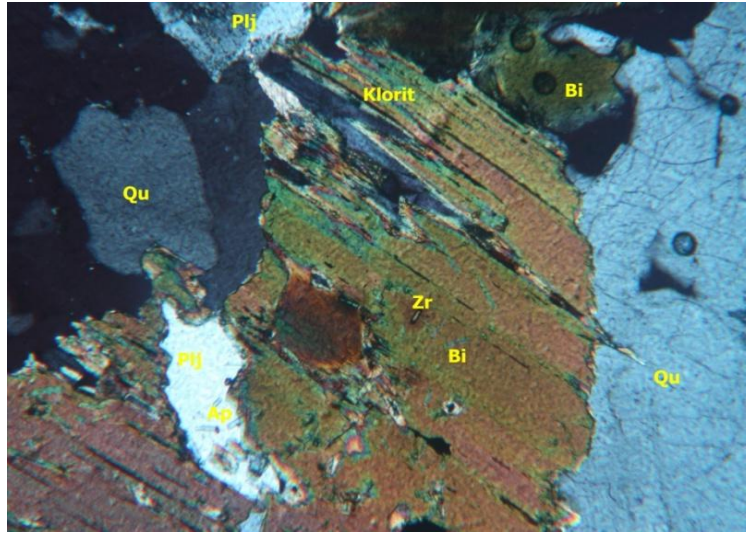
### 5.4.1 Aksaray yaylak

Üst Kretase-Paleosen yaşlı “Aksaray Yaylak” sokulumu, litolojik olarak holokristalen, granitoyid türü derinlik kayaçları şeklinde tanımlanır. Granitik sokulum, yörede Paleozoyik yaşlı temel kayaçları ile ofiyolitik kayaçları keserler. Sokulum, kendi içinde granit, alkali feldspat granit, granodiyorit, siyenit, diyorit, monzonit gibi farklı kaya türleri ile karakteristik olan bir birleşimsel değişim sergiler. Çalışma kapsamında incelenen örneğimiz granodiyorit türündedir (İMMİB, 2001). İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.10’da verilmiştir.

İncelenen aksaray yaylak granitinde holokristalin hipidiyomorfik taneler doku gözlemlenmektedir. Ana mineral bileşenleri genellikle mezo-makro kristallerdir (boyutları birkaç mm’ye ulaşır). İncelenen örneğin genel mineralojik bileşeninin; kuvars, plajiyoklaz, amfibol, ortoz, biyotit, opak mineraller ve aksesuar minerallerden oluştuğu belirlenmiştir. Biyotitler kahverengi ve yeşil renklerde tanımlanmıştır.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonuna sebep olan tali minerallere yok denecek kadar az miktarlarda rastlanmıştır. Sfen ve biyotitlerin içerisinde nispeten küçük oranlarda zirkon ve apatit tali minerallerine rastlanmıştır. Ortöz mineralinde yer yer killeşme gözlenmiştir. Zayıf perititik dokuları ve karlzbad ikizleri ise tipiktir. Plajiyoklaz mineralleri zonlu doku ve polisentetik ikilenme gibi özelliklere sahip olup, kısmen de killeşme ve şerisitleşme göstermektedir. Biyotitlerde ayrıca kloritleşme gözlemlenmiştir. Örneğin polarizan mikroskopta çift nikelde çekilmiş görüntüsü Şekil 5.11’de verilmiştir.



**Şekil 5.10 :** Aksaray yaylak granitinin çıplak gözle görünümü.



**Şekil 5.11 :** Aksaray yaylak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit, Zr: zirkon)

#### **5.4.2 Aksaray pembe graniti**

Ticari adı Aksaray pembe graniti olarak bilinen granitik sokulum, Üst Kretase-Paleosen yaşlıdır. Sokulum litolojik olarak holokristalen, granitoid türü derinlik kayaçları şeklinde tanımlanır. Aksaray yaylak granodiyoritinde olduğu gibi bu sokulumda paleozoyik yaşlı temel kayaçları ile ofiyolitik kayaçları keserler. Sokulum, kendi içinde granit, alkali feldspat granit, granodiyorit, siyenit, diyorit monzonit gibi farklı kaya türleri ile karakteristik olan bir bileşimsel değişim sergiler. Siyenit alkali feldspat, granit ve granit türündeki kayaçlar gri-pembemsi renklere

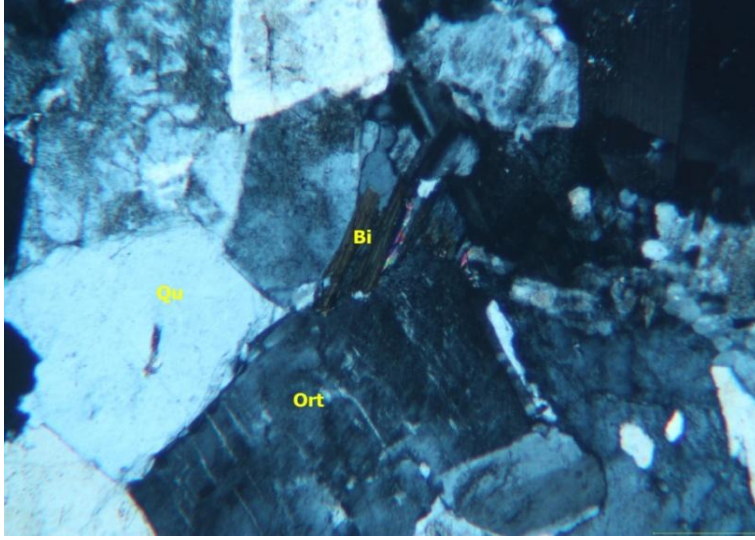


sahip olup, iri ortoz fenokristalli, porfirik dokulu ve genellikle kaba taneli kayaçlardır. Çalışma kapsamında incelenen örnek granit türündedir (İMMİB, 2001). İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.12’de verilmiştir.

İncelenen Aksaray pembe granit ince kesit örneğinin genel mineralojik bileşiminde Plajiyoklaz, kuvars, klorit, amfibol, biyotit ve opak mineraller yaygın gözlenen minerallerdir. Holokristalin (iri kristal boyut) doku gösteren örnek kuvars, alkali feldspat (ortoklaz), plajiyoklaz ve az miktarda ince taneli biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca, feldspat minerallerinde çok az killeşme ve serisitleşme izlenmiştir. İncelenen ince kesit mikroskop görüntüsünde, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonuna sebep olan tali ve aksesuar minerallere nispeten az oranlarda rastlanmıştır. Örneğin polarizan mikroskopta çift nikolde çekilmiş görüntüsü Şekil 5.13’de verilmiştir.



**Şekil 5.12 :** Aksaray pembe’nin çıplak gözle genel görünümü

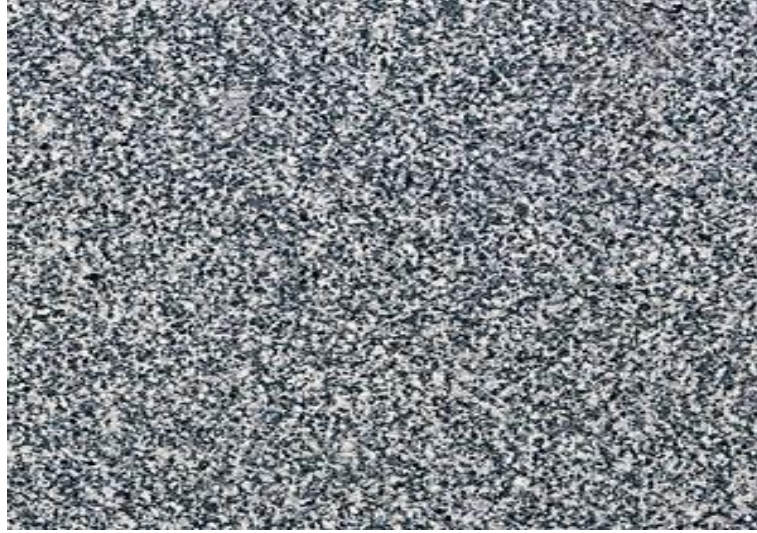


**Şekil 5.13 :** Aksaray pembe granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü pembe granitinin genel görünümü(Qu: kuvars, Ort: ortoklaz, Bi:biyotit)

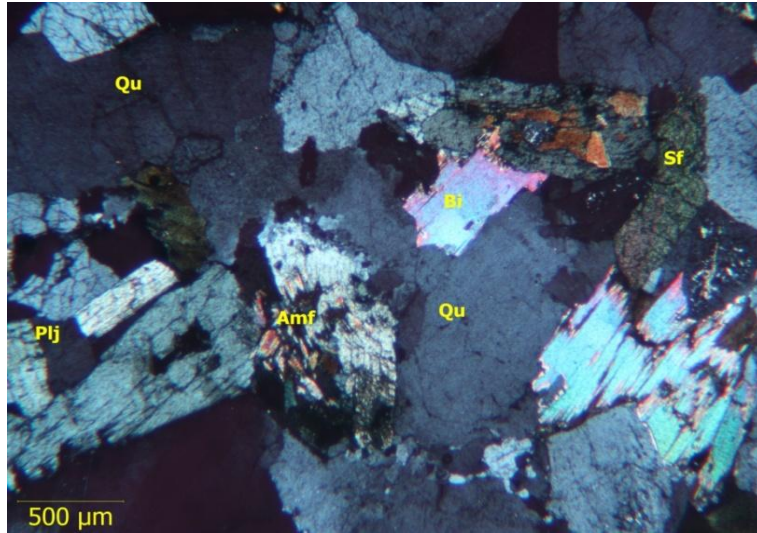
#### **5.4.3 Bergama gri graniti**

Ticari adı Bergama gri olan Üst Kretase-Paleosen yaşlı sokulum litolojik olarak holokristalen, granitoid türü derinlik kayaçları şeklinde tanımlanır. Bu kaya türleri yörede Kozak Granodiyorit olarak bilinmektedir. Açık gri renkli, orta-kaba taneli olan bu kristalen kayaçlar, granodiyorit, monzo-granite, monzo-granodiyorit türü kayaçlar ile karakteristik olan mineralojik farklılaşma sergilerler. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.14’de verilmiştir. Tüm kaya türleri esasen kuvars, ortoz, plajiyoklaz, biyotit ve hornblend mineralleri ile bunlara eşlik eden aksesuar apatit, zirkon, sfen, epidot ve rutil minerallerinden oluşmaktadır (İMMİB, 2001). İncelenen örnek monzo granit türündedir.

Holokristalen hipidiyomorfik taneli doku gözlenmektedir. İncelenen örnek ana mineral bileşeni olarak çokluk sırasına göre kuvars, ortoz, plajiyoklaz, biyotit ve hornblend içermektedir. Bu minerallere ek olarak uranyum ve toryum aktivitesine sebep olan, az miktarda sfen ve apatit tanımlanmıştır. Çok az miktarda (<%1) opak mineral (pirit, manyetit gibi) yukarıdaki mineralojik bileşime eşlik etmektedir. Ortoz ve plajiyoklazlarda yer yer merkez ve kenar zonlarında alterasyon (killeşme ve serişistleşme) tanımlanmıştır. Plajiyoklaz minerallerinde zonlu doku ve polisentetik ikizlenme yaygın gözlenirken, ortoz minerallerinde zayıf pertitik doku gözlenir. Örneğin polarizan mikroskopta çift nikolde çekilmiş görüntüsü Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.14 : Bergama gri'nin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.15 : Bergama gri granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Amf: amfibol, Plj: plajiyoklaz, Sf: sfen)

#### 5.4.4 Balaban green

Ticari adı Balaban green olan Üst Kretase yaşlı sokulum, litolojik olarak holokristalen, granitoyid türü derinlik kayacı şeklinde tanımlanmıştır. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.16'da verilmiştir. Demirköy Plütunu olarak bilinen bu kayaç, gri-koyu gri renkli bir kaya birimi olup, genellikle taneseli dokuya sahiptir. Kendi içinde granit, granodiyorit, monzonit ve diyorit alt mineralojik bileşimlere ayrılan bu pluton, tektonik etki nedeniyle yersel olarak milonitik doku ve şistozite gösterir (İMMİB, 2001). Sokulum genelinde kayaç yapıcı



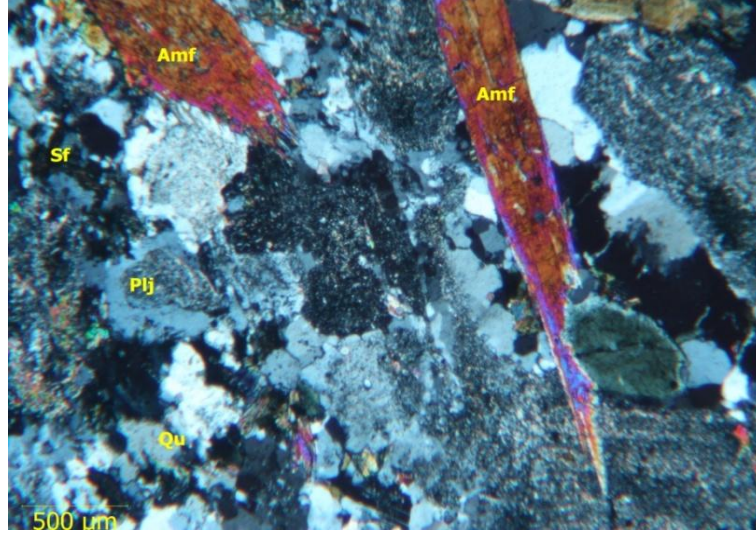
ana mineral türlerinin kuvars, ortoz, plajiyoklaz, amfibol, yeşil biyotit ve aksesuar olarak sfen, epidot mineralleri olduğu ve feldispat grubu minerallerde killeşme, serizitleşme, biyotitlerde ise kloritleşmenin gözlemlendiği ifade edilmiştir (İMMİB, 2001).

İncelenen örnekte ana kayaç yapıcı mineraller olarak kuvars, ortoz, plajiyoklaz, biyotit ve amfibol tanımlanmıştır. Bunlara uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonuna neden olan sfen, apatit ve epidot aksesuar (tali) mineralleri olarak eşlik eder. İncelenen örnek genelinde potasyum konsantrasyonuna neden olan ortoz ve plajiyoklazlarda yer yer ileri derecede olmak üzere killeşme ve serisitleşme tanımlanmıştır. Ayrıca kesit genelinde iri kristallerin aralarında daha ince boyutlu kuvars kristallerinin tanımlanmış olması, alterasyonun yanı sıra fiziksel ufalanmalardan ve mikro çatlakların da kayaçta mevcut olduğunu göstermiştir.

Örneğin polarizan mikroskopta çift nikolde çekilmiş görüntüsü Şekil 5.17’de verilmiştir.



**Şekil 5.16 :** Balaban green granitinin çıplak gözle genel bir görünümü



**Şekil 5.17 :** Balaban green granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen)

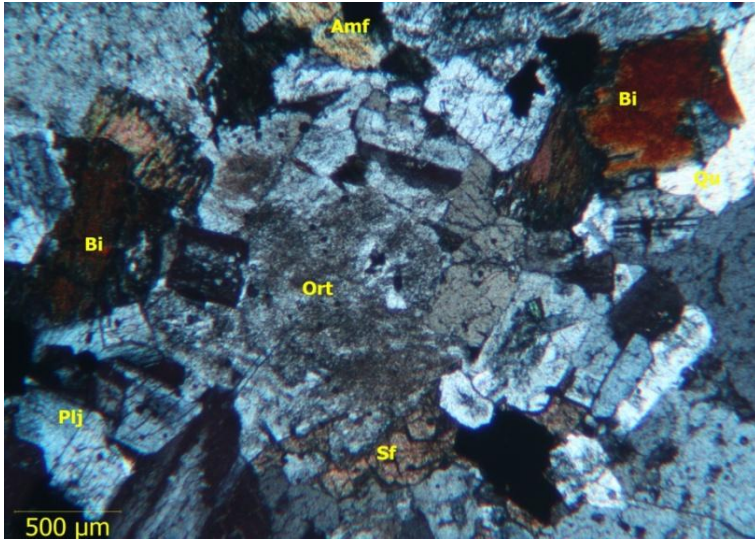
#### 5.4.5 Giresun vizon granit

Ticari adı Giresun vizon olarak bilinen Üst Kretase-Alt Paleosan yaşlı sokulum, litolojik olarak holokristalen, granitoyid türü derinlik kayacı şeklinde tanımlanmıştır. Bu derinlik kayası İkisü Granitoyidi olarak adlandırılmaktadır. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.18’de verilmiştir. Grimsi, pembemsi renklere sahip olan ve genellikle kaba taneli olan bu kaya birimi, bileşimsel ve dokusal değişimler sunar ve yaygın ksenolit içerir. Ortoz, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, amfibol, sfen, turmalin ve apatit yaygın gözlenen minerallerdir. Kayaç kendi içinde taneseli, porfirik ve yer yer de milonitik dokusal özellik göstermektedir. Tüm kaya kütlesi eklem sistemleri boyunca hidrotermal çözeltilerden etkilenmiştir (İMMİB, 2001).

Holokristalen hipidiyomorfik taneseli doku gözlenmektedir. İncelenen örnek ana bileşen olarak potasyum aktivite konsantrasyonuna neden olan iri-orta kristal boyutlu ortoz ve plajiyoklaz minerallerinden oluşmakta, bunlara daha az oranda biyotit ve hornblend eşlik etmektedir. Uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonuna neden olan sfen, apatit ve opak mineralleri tali mineraller olarak tanımlanmıştır. Killeşme, serizitleşme, karbonatlaşma, yer yer kloritleşme ve epidotlaşma plajiyoklaz nadiren de biyotit minerallerinde gözlenen kimyasal ayrışma ürünleridir. Örneğin ana mineralojik bileşimine ait optik mikroskopta çift nikolde çekilen görüntüsü Şekil 5.19’da verilmiştir.



**Şekil 5.18 :** Giresun vizon granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



**Şekil 5.19 :** Giresun vizon granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Ort: ortoklaz, Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen)

#### **5.4.6 Çanakkale gri graniti**

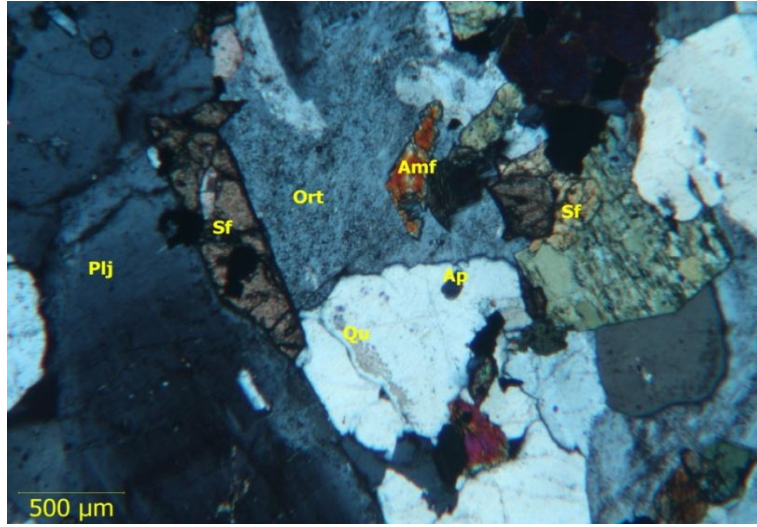
Ticari adı Çanakkale gri graniti olan Kuvars monzonit olarak tanımlanan bu sokulumda hâkim mineraller ortoz ve plajiyoklazdır. Mineralojik bileşiminde kuvars, potasyum kmonsantrasyonuna neden olan ortoz, karspad ikizli plajiyoklaz, amfibol, biyotit ve opak mineraller bulunmaktadır. Ayrıca uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonuna neden olan apatit, zirkon, turmalin ve sfen minerallerini de içermektedir.



Şekil 5.20’de Çanakkale gri granitinin çıplak gözle genel bir görünümü verilmektedir. Ayrıca Şekil 5.21’de Çanakkale gri granitinin optik mikroskopta incelenen ince kesit görüntüsü de görülmektedir.



Şekil 5.20 : Çanakkale gri granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.21 : Çanakkale gri granitinin ince kesit görünümü (Plj: plajiyoklaz, Qu: kuvars, Ort: Ortoklaz, Amf: amfibol, Sf: sfen, Ap: apatit).

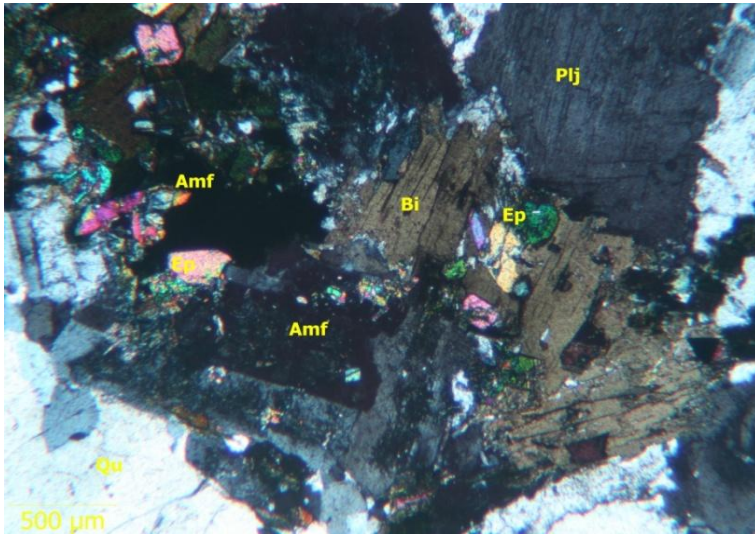
#### 5.4.7 Hisar yaylak graniti

Ticari adı Hisar yaylak graniti olan sokulum makro olarak gri, yer yer koyu gri renk tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.22’de verilmiştir. Holokristalin taneli dokuya sahip olan bu kayaçta ana mineralojik bileşim; kuvars, potasyum aktivitesine neden olan ortoz, biyotit ve amfibolden meydana gelmektedir. Bu minerallere uranyum ve toryum konsantrasyonuna neden

olan zirkon, epidot ve sfen gibi aksesuar mineraller ve opak mineralleri (pirit ve manyetit) eşlik etmektedir. Feldspatlarda alterasyona yaygın olarak rastlanmaktadır. Hisar yaylak granitik kayacının optik polarizan mikroskop altında çift nikolde elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.23’de verilmektedir.



**Şekil 5.22 :** Hisar yaylak granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.

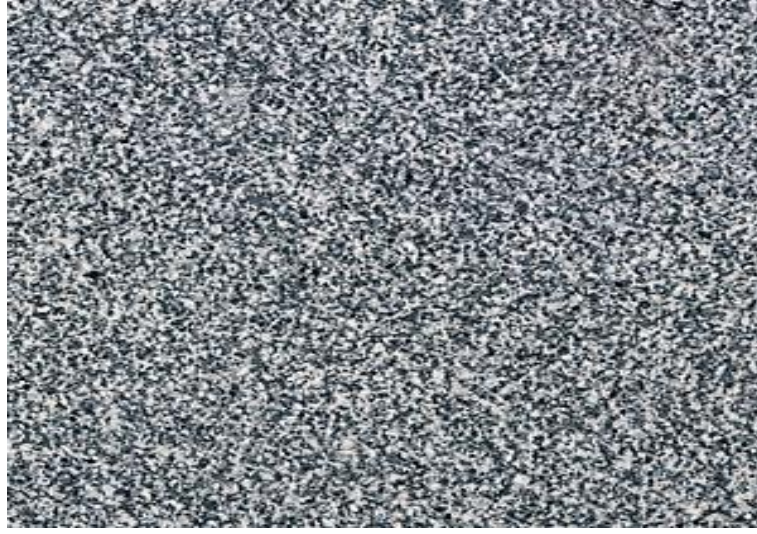


**Şekil 5.23 :** Hisar yaylak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Ep: epidot)

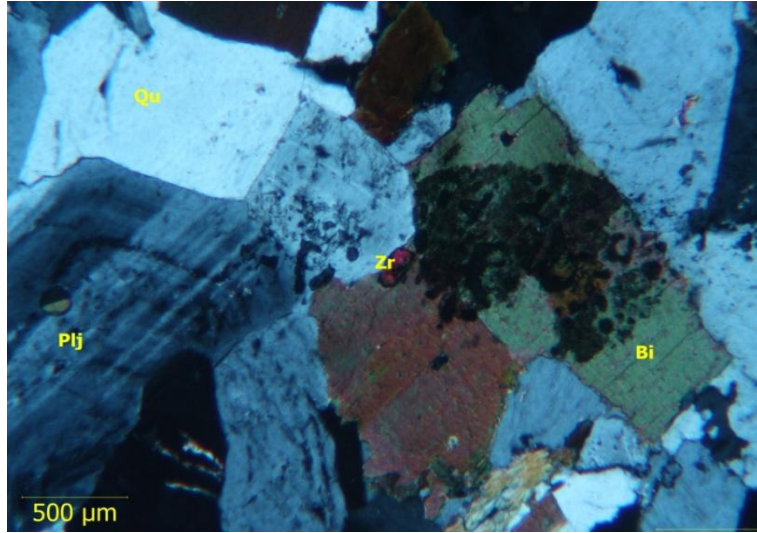


#### 5.4.8 Kozak graniti

Ticari adı Kozak graniti olan sokulum, makro olarak gri, yer yer koyu gri tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.24'de verilmiştir. Tanesel dokulu holokristalin yapı gösteren bu kayaçta mevcut olan mineraller; kuvars, potasyum aktivitesine neden olan plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, amfibol ve uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonuna sebep olan zirkondur. Tali minerallere genel yapı olarak çok az rastlanmaktadır. Kozak granitinin optik polarizan mikroskop altında elde edilen görüntüsü Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.24 : Kozak granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



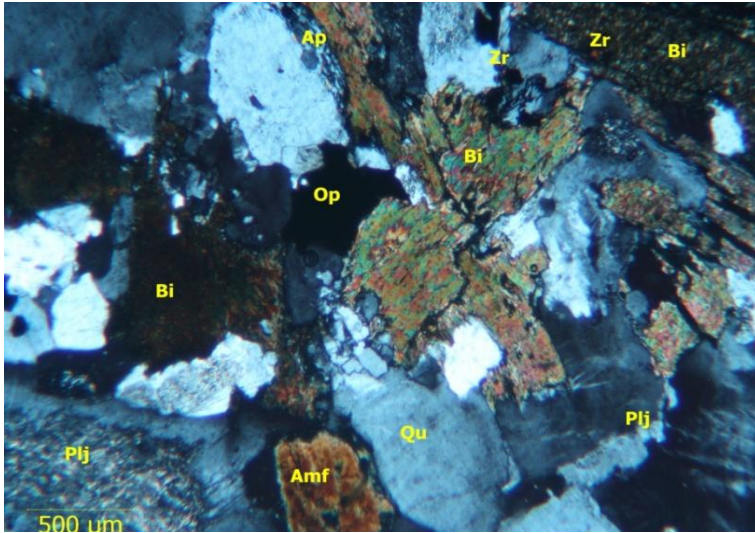
Şekil 5.25 : Kozak granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Zr: zirkon)

#### 5.4.9 Çin brown porrino graniti

Ticari adı Çin Brown Porrino olan bu sokulum makro olarak kahverengi, yer yer pembe tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.26'da izlenmektedir. Mineralojik bileşeni kuvars, potasyum aktivite konsantrasyonuna neden olan ortoklaz, biyotit, amfibol ve opak minerallerden oluşmaktadır. Ayrıca aksesuar mineral olarak zirkon ve amfibol içeren bu kayacın optik polarizan mikroskop altında çekilen bir görüntüsü Şekil 5.27'de verilmektedir.



Şekil 5.26 : Çin brown porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.27 : Çin brown porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon)

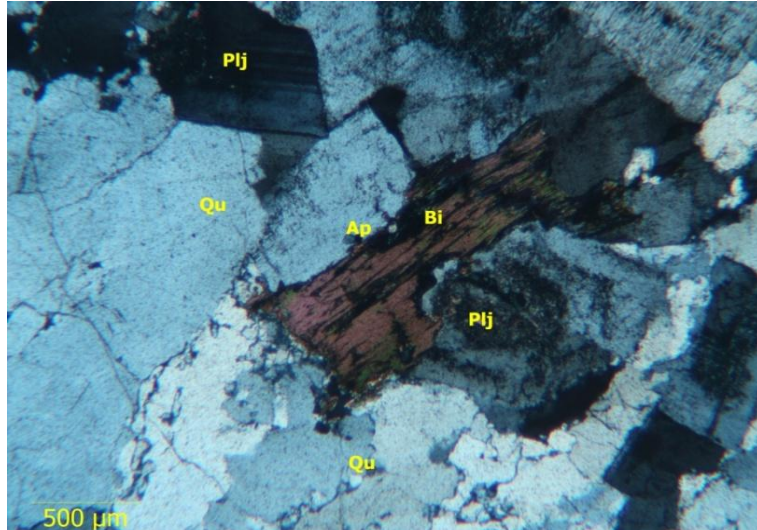


#### 5.4.10 Çin porrino graniti

Ticari adı Çin Porrino olan bu sokulum, makro olarak pembe yer yer açık pembe tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.28’de verilmiştir. Tanesel dokuya sahip olan bu kayacın hâkim mineralleri; kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, biyotit, mafik mineraller ve opak minerallerdir. En belirgin mineralleri potasyum konsantrasyonuna neden olan ortoklaz ve plajiyoklazlardır. Plajiyoklazlarında yer yer serişistleşme görülen Çin Porrino granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.29’da görülmektedir.



Şekil 5.28 : Çin porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



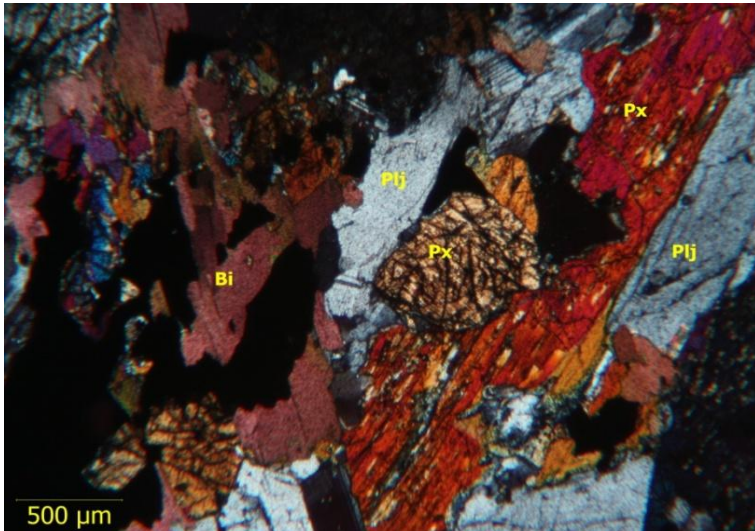
Şekil 5.29 : Çin porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit)

#### 5.4.11 Hindistan star galaksi graniti

Ticari adı Star Galaksi olan bu sokulum makro olarak ışıltılı siyah olarak izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.30'da verilmiştir. Monzo gabro türü bir kayaç olan star galaksi granitinin mineralojik bileşenini plajiyoklaz, ortoklaz, piroksen, amfibol, biyotit ve opak mineraller oluşturmaktadır. Gabroik bir kayaç olan bu örneğin yapısında kuvars yok denecek kadar az miktarda bulunmaktadır. Hindistan Star Galaksi örneğinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5. 31' de gösterilmiştir.



Şekil 5.30 : Hindistan star galaksi çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.31 : Star galaksi granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Px: piroksen)

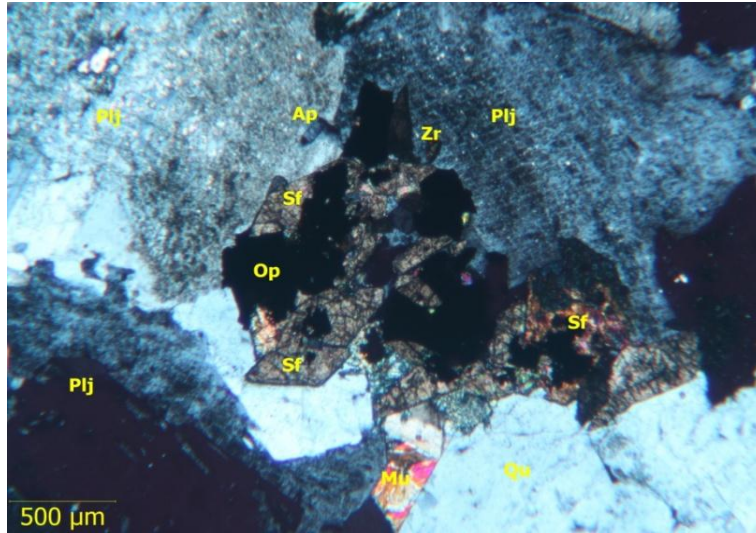


#### 5.4.12 Hindistan coral mist graniti

Ticari adı Coral Mist olan bu sokulum, makro olarak kırmızı-kahverengi tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.32’de verilmiştir. Altere olmuş bir granitik kayaç olan Coral Mist granitinin genel mineralojik bileşimi; ortoklaz, kuvars, amfibol, opak mineraller ve muskovitten meydana gelmiştir. Plajiyoklaz, K-feldspatlar, biyotit ve amfibollerde alterasyon görülmektedir. Coral mist granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.33’de görülmektedir.



Şekil 5.32 : Hindistan coral mist granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



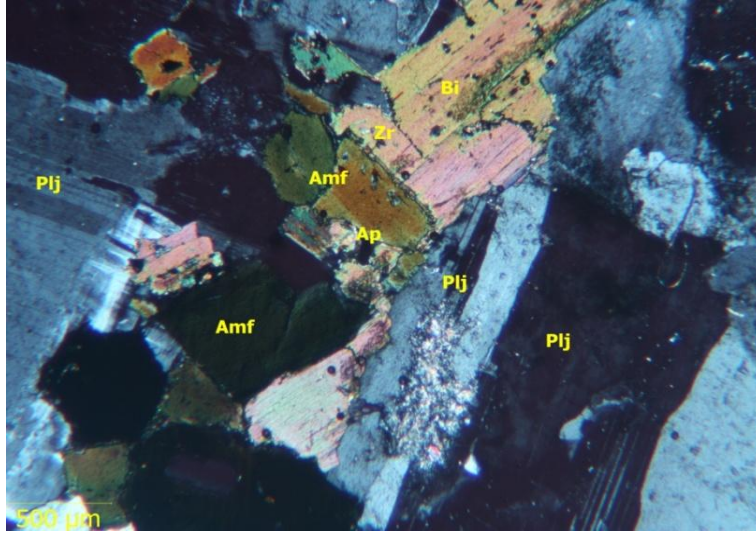
Şekil 5.33 : Coral mist granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon, Sf:sfen, Mu: muskovit)

#### 5.4.13 İtalya rosa beta graniti

Ticari adı Rosa beta olan sokulum makro olarak gri, yer yer koyu gri ve pembe tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.34’de verilmiştir. Hâkim mineral kuvarştır. Hamur maddesi iri kristaller halinde gözükmemektedir. Kayaç içerisinde demir ayrışımı gözükmemektedir. Kayaç, mineral özelliklerine göre granit olarak adlandırılmıştır. Örneğin optik polarizan mikroskop altında elde edilen görüntüsü Şekil 5.35’de verilmiştir.



Şekil 5.34 : İtalya rosa beta granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.35 : İtalya rosa beta granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Ap: apatit, Zr: zirkon).

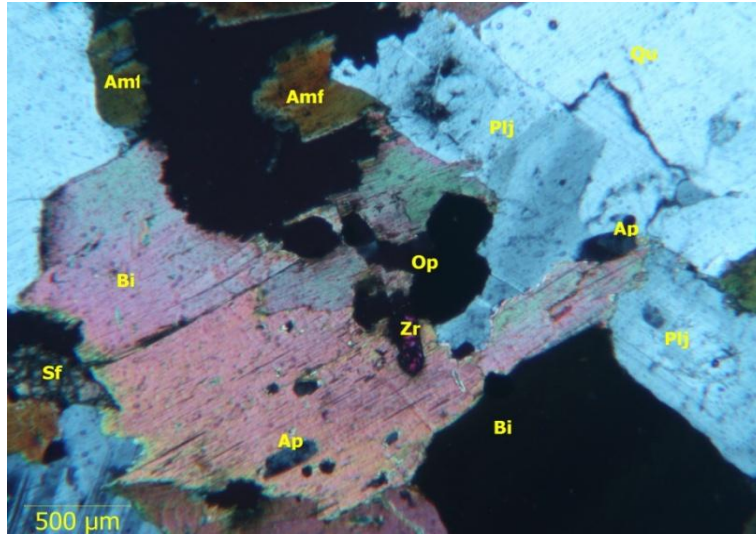


#### 5.4.14 Çin sardo graniti

Ticari adı Çin Sardo olan sokulum, makro olarak gri- açık gri tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.36'da verilmiştir. Bu kayadaki hâkim mineraller; plajiyoklaz, kuvars, amfibol, biyotit ve apatit, zirkon ve sfen olmak üzere aksesuar minerallerdir. Çin Sardo granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.36 : Çin sardo granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



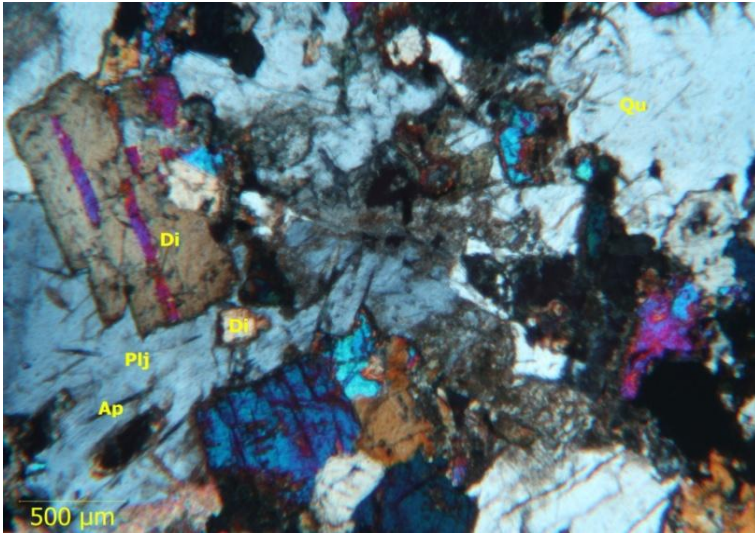
Şekil 5.37 : Çin sardo granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ap: apatit, Zr: zirkon, Sf: sfen).

#### 5.4.15 Hindistan siyah graniti

Ticari adı Hindistan siyahı olan bu sokulum, makro olarak siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.38’de verilmiştir. Diyopsit felst olarak adlandırabileceğimiz bu kayaç granitten daha çok endoskarn özelliği göstermektedir. Mineralojik bileşiminde diyopsit, olivin, plajiyoklaz, kuvars, kalsit, apatit ve klorit mineralleri bulunmaktadır. Hindistan siyah granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.39’da verilmiştir.



Şekil 5.38 : Hindistan siyah granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.39 : Hindistan siyah granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Di: diyopsit, Ap: apatit)

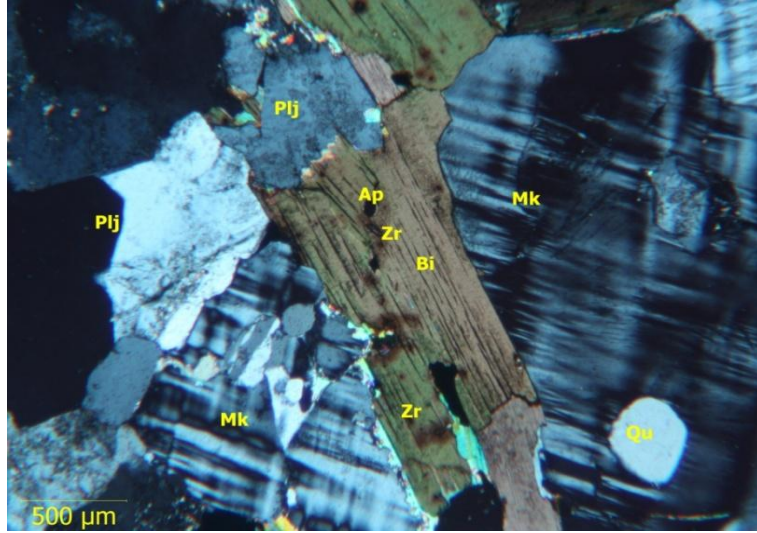


#### 5.4.16 Hindistan coral maron graniti

Ticari adı Coral Maron olan bu sokulum makro olarak kahverengi- kırmızı tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.40'da verilmiştir. Grafit doku gösteren Coral Maron granitinin genel mineralojik bileşimi biyotit, plajiyoklaz, K feldspat, kuvars, amfibol ve opak minerallerden oluşmuştur. Hâkim mineralleri K feldspat ve plajiyoklazdır. Hindistan Coral Maron granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5. 41'de verilmektedir.



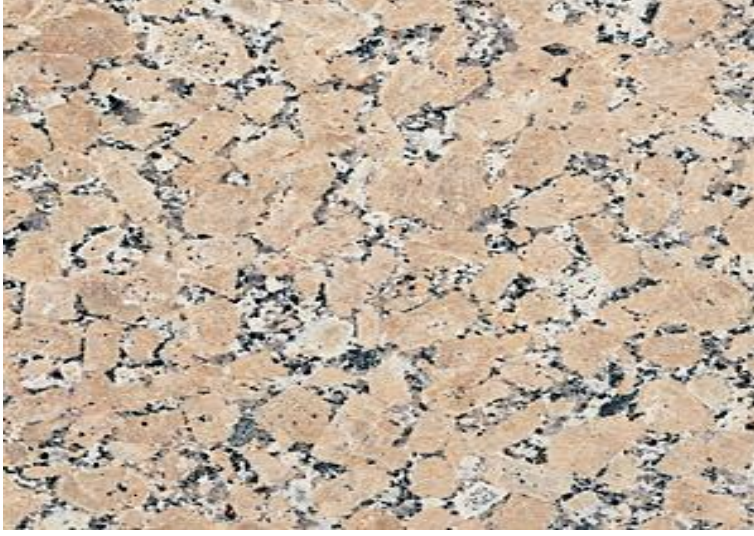
Şekil 5.40 : Coral maron granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



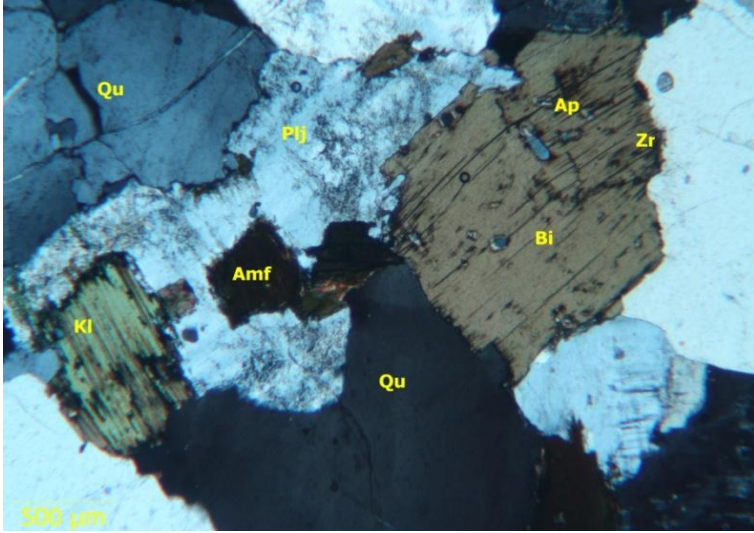
Şekil 5.41 : Hindistan coral maron granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Mk: mikroclin, Ap: apatit, Zr: zirkon)

#### 5.4.17 İspanya rosavel graniti

Ticari adı İspanya rosavel graniti olan sokulum makro olarak açık pembe ve beyaz, yer yer siyah olarak izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.42’de verilmiştir. Genel mineralojik bileşeni kuvars, K feldspat, biyotit, amfibol, opak ve aksesuar minerallerden oluşmaktadır. Hâkim mineralleri feldspat grubu mineraller ile kuvars mineralidir. İspanya rosavel granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.43’de verilmiştir.



Şekil 5.42 : İspanya rosavel granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.43 : İspanya rosavel granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Kl: klorit, Ap: apatit, Zr: zirkon)

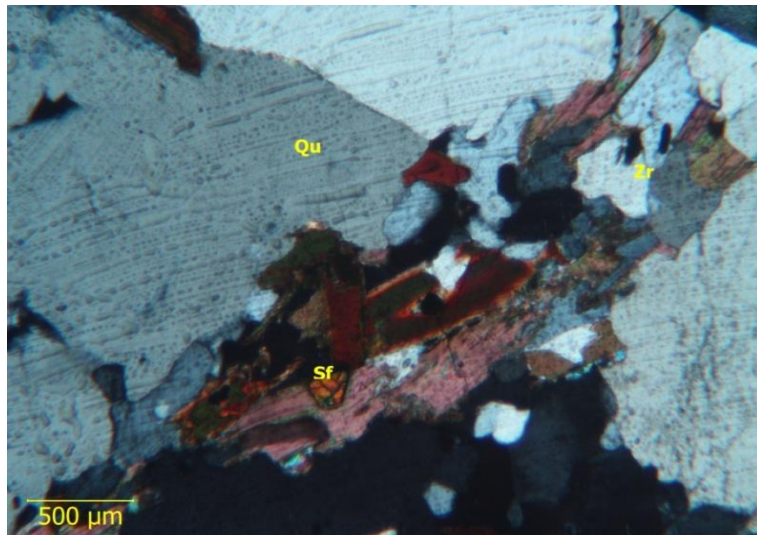


#### 5.4.18 Brezilya giallo ornamentale graniti

Ticari adı Giallo ornamentale olan sokulum, makro olarak beyaz, kahverengi yer yer gri olarak izlenmektedir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.44'de verilmiştir. Monzolitik doku gösteren Brezilya giallo ornamentale granitinin genel mineralojik bileşimi; kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit ve aksesuar minerallerden oluşmuştur. Brezilya giallo ornamentale granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.45'de verilmiştir.



Şekil 5.44 : Brezilya giallo ornamentale granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



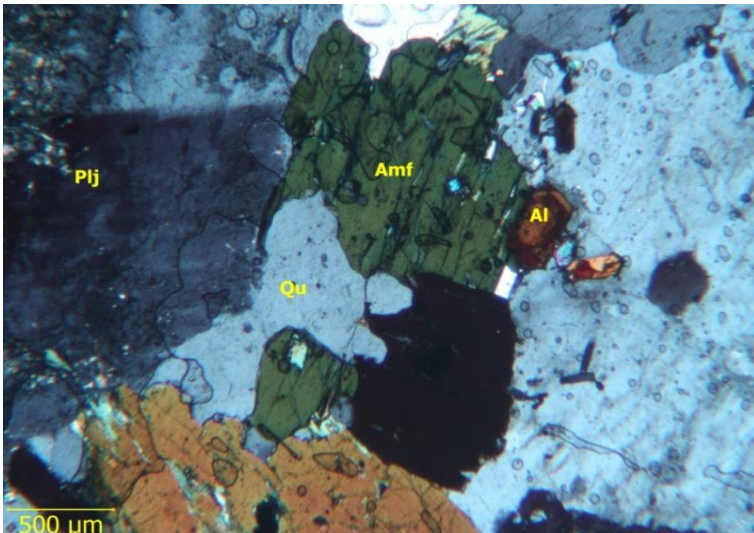
Şekil 5.45 : Brezilya giallo ornamentale granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Sf: sfen, Zr: zirkon)

#### 5.4.19 Çin sanboa red graniti

Ticari adı Sanboa Red olan sokulum, makro olarak kahverengi, gri ve yer yer siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.46'da verilmiştir. Kuvars monzonit olarak isimlendirilen bu kayacın mineralojik bileşimi; potasyum aktivite konsantrasyonuna neden olan amfibol, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, hornblend ve uranyum, toryum aktivite konsantrasyonuna neden olan zirkon ve allanit minerallerinden oluşmaktadır. Çin Sanboa Red granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.47'de verilmiştir.



Şekil 5.46 : Sanboa red granitinin çıplak gözle genel bir görünümü



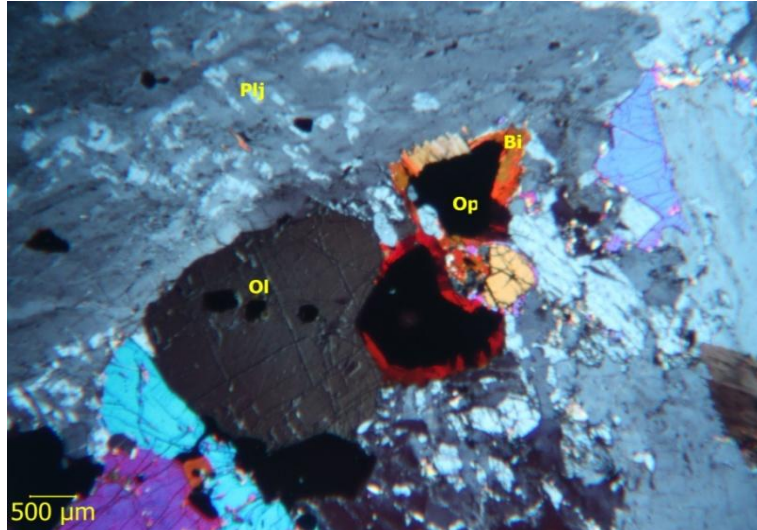
Şekil 5.47 : Sanboa red granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Amf: amfibol, Al: allanit)

#### 5.4.20 Norveç blue pearl graniti

Ticari adı Norveç Blue Pearl olan bu sokulum makro olarak gri tonlarında sedefli tonlarda izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.48'de verilmiştir. Monzonit olarak isimlendirilen bu kayacın mineralojik bileşimi; plajiyoklaz, biyotit, olivin, opak mineraller ve apatit minerallerinden oluşmaktadır. Gözlemlenen biyotitlerin aşırı kızıl rengi bu kayacın granitten çok monzonit yapı gösterdiğinin kanıtıdır. Norveç Blue Pearl granitinin optik polarizan mikroskopta elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.49'da verilmiştir.



Şekil 5.48 : Norveç blue pearl granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.49 : Norveç blue pearl granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Op: opak mineraller, Ol: olivin)

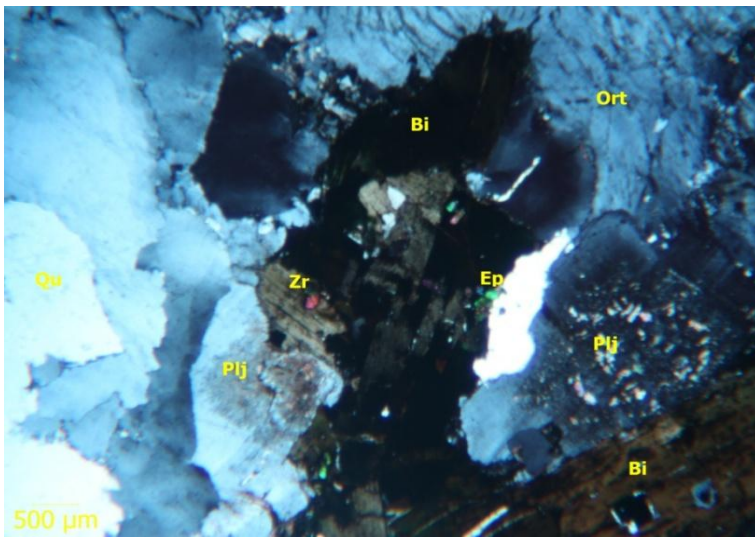


#### 5.4.21 Çin balmoral graniti

Ticari adı Çin Balmoral olan bu sokulum makro olarak hafif siyahlı kırmızı olarak izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.50’de izlenmektedir. Biyotit granitik kayaç olarak adlandırılabilen örneğin hâkim mineralleri biyotit, plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars ve epidottur. Biyotitlerde epidotlaşma görülmektedir ve pertitleşme mevcuttur. Hafiften metamorfizma geçirdiği gözlemlenen örneğin fay zonu yakınlarından alındığı tahmin edilmektedir. Örneğin optik polarizan mikroskop altında elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.51’de verilmektedir.



Şekil 5.50 : Çin balmoral granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



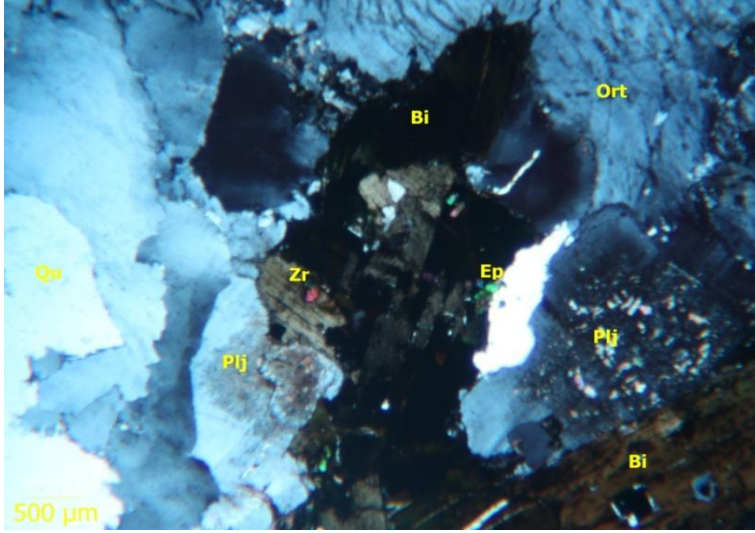
Şekil 5.51 : Çin balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Bi: biyotit, Ep: epidot, Zr: zirkon)

#### 5.4.22 İspanya rosa minho graniti

Ticari adı İspanya Rosa Minho olan bu sokulum makro olarak beyazlı gri, açık pembe ve yer yer siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.52’de verilmektedir. Mineralojik bileşimi kuvars ve potasyum konsantrasyonuna neden olan feldspat ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Bu nedenle potasyum aktivite konsantrasyonu uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonundan yüksek değerler elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Kayaçta taneli strüktür doku gözlenmiş olup, kayacın tamamına yakını iri boyutlu kristaller içermektedir. K-Feldspatlar peritik özelliktedir. Biyotitlerde oldukça fazla demir ayrışımı gözlenmiştir. Biyotitlerin bazıları tamamen bozulmuş veya öz şeklini kaybetmiştir. Granit olarak adlandırılabilen bu kayacın optik polarizan mikroskop altında elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.53’de verilmiştir.



Şekil 5.52 : İspanya rosa minho granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



**Şekil 5.53 :** İspanya rosa minho granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Ep: epidot, Zr: zirkon)

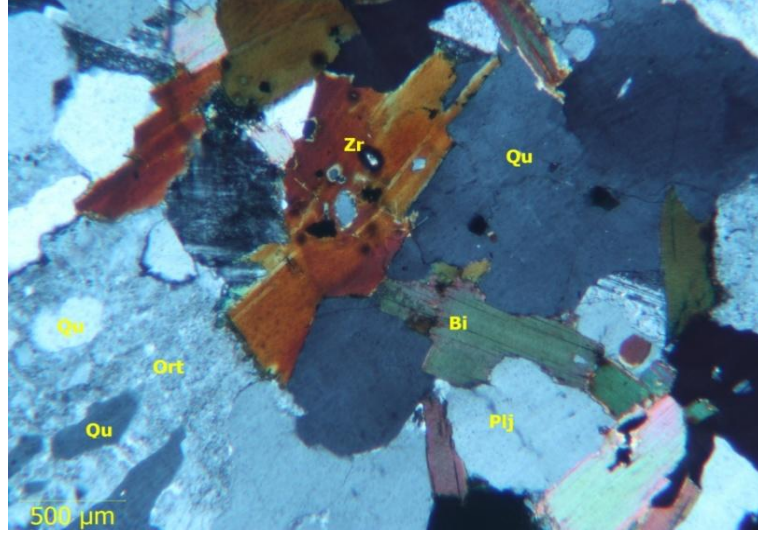
#### **5.4.23 Hindistan rosy pink graniti**

Ticari adı Rosy Pink olan bu sokulum makro olarak siyah, kahverengi ve pembe renklerde gözlemlenmektedir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.54’de izlenmektedir. Mineralojik bileşimi kuvars ve potasyum aktivite konsantrasyonuna neden olan biyotit, mikroklin, ortoklaz ve plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Grafit dokunun yaygın olarak gözlemlendiği, granofir ve ya granit porfir olarak tanımlanırabileceğimiz örneğin optik polarizan mikroskop altında çekilen bir fotoğrafı Şekil 5.55’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.54 :** Rosy pink granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.





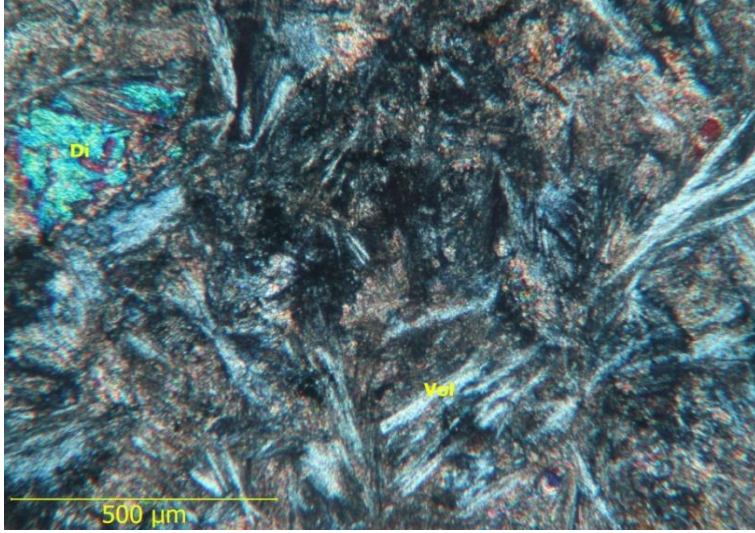
**Şekil 5.55 :** Hindistan rosy pink granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Zr: zirkon)

#### **5.4.24 Hindistan verde guatemala**

Ticari adı Hindistan Verde Guatemala olan bu sokulum makro olarak siyah hatlarla kesilen yeşil renklerde gözlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.56'de gözlemlenmektedir. Mineralojik bileşimi kalsit, diyopsit, klorit, kloriyotit, lavsonit ve skarn minerallerinden oluşmaktadır. Uranyum, toryum ve potasyum aktivitesine sebep olan minerallerin gözlenmediği örnekte en düşük aktivite konsantrasyonlarının elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Kayaç vollastonit-diyopsit skarn olarak isimlendirilebilen kayacın optik polarizan mikroskop altında elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.57'de verilmiştir.



**Şekil 5.56 :** Verde Guatemala granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



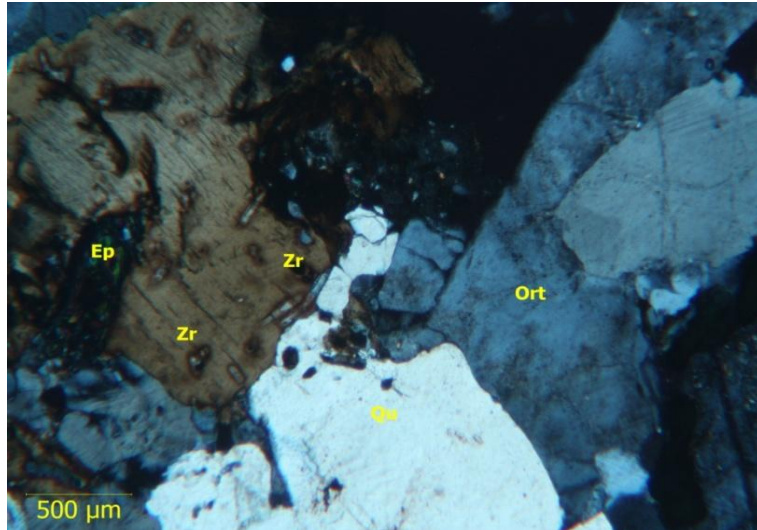
**Şekil 5.57 :** Verde Guatemala ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Di: diyopsit, Vol: vollastonit).

#### **5.4.25 İtalya baltic brown graniti**

Ticari adı İtalya Baltic Brown olan bu sokulum makro olarak kahverengi, siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.58’de verilmiştir. Mineralojik bileşimi plajiyoklaz, K-feldspat, kuvars ve yer yer bozunmuş amfibollerden oluşmaktadır. Feldspatlar çok iri kristaller halinde ve kuvarsa nazaran da bol miktardadır ve potasyum aktivitesinin bu örnekte yüksek olarak elde edilmesine neden olmaktadır. Taneler arasında boşluksuz bir yapı vardır. Ferromagnezyen minerallerde alterasyon ürünü olarak demir açığa çıkmıştır. K-Feldspatlarda olduğu gibi plajiyoklazlarda da polisentetik ikizlenme gözlenmektedir. Granit olarak tanımlanan kayacın optik polarizan mikroskop altında elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.59’da verilmiştir.



Şekil 5.58 : Baltic brown granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.59 : Baltic brown granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Ort: ortoklaz, Ep: epidot, Zr: zirkon)

#### 5.4.26 İspanya rosa porrino graniti

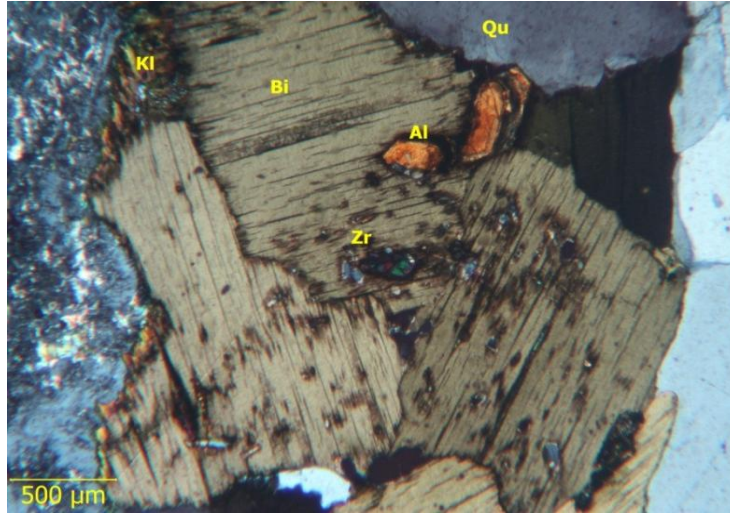
Ticari adı İspanya Rosa Porrino olan sokulum makro olarak açık pembe, beyaz ve yer yer siyah tonlarında gözlenmektedir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.60'da verilmiştir. Mineralojik bileşiminde hakim mineraller kuvars ve potasyum konsantrasyonuna sebep olan K-feldspat, biyotit ve ortoklaz mineralleridir. Uranyum ve toryum aktivitesine neden olan zirkon ve apatit tanımlanan aksesuar minerallerdir. Granit ailesinden olan bu kayaç, asidik kökenli bir derinlik kayacıdır. Ortoklazlarda pertitleşme ana dokusal özelliğidir. Ferromagnezyen minerallerden olan biyotitlerde demir ayrışımı oldukça fazla gözlemlenmiştir. Kesitte



kristaller oldukça iridir. Genellikle yarı öz şekilli veya öz şekilsizdir. Mineral özelliklerinden dolayı Kalka-alkali granit (siyenit) olarak adlandırılan örneğin optik polarizan mikroskop altında elde edilen bir görüntüsü Şekil 5.61’de verilmektedir.



**Şekil 5.60 :** Rosa porriño granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.

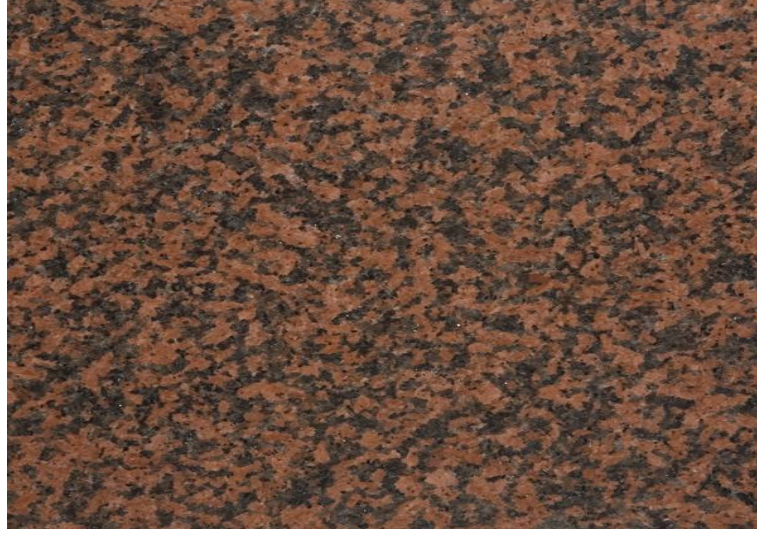


**Şekil 5.61 :** Rosa porriño granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Kl: klorit, Al: allanit, Zr: zirkon)

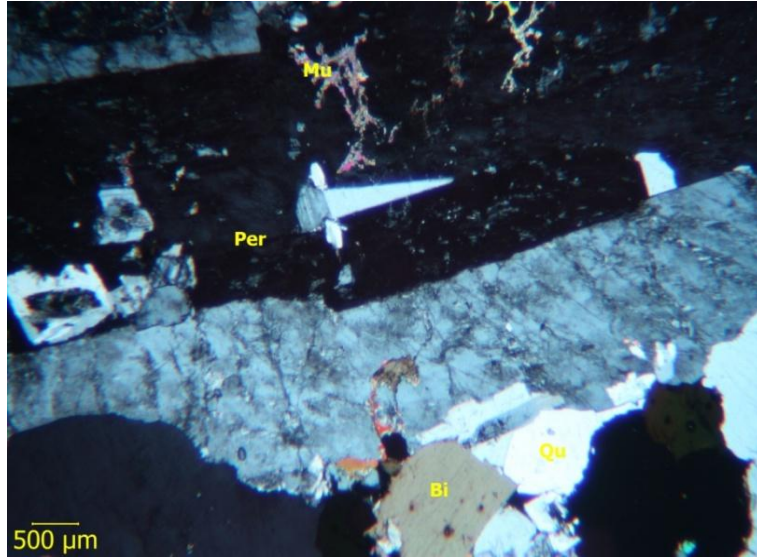
#### **5.4.27 Finlandiya rosa balmoral graniti**

Ticari adı Finlandiya Rosa Balmoral olan sokulum makro olarak kırmızı, yer yer siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.62’de verilmektedir. Tipik bir granit olan Finlandiya Rosa Balmoral granitik kayacının genel mineralojik bileşeni; kuvars, ortoklaz, biyotit, muskovit, zirkon ve

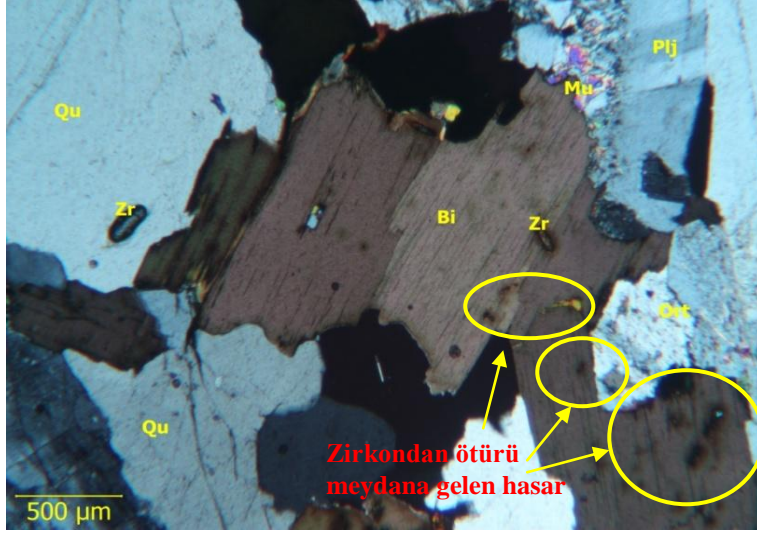
opak minerallerinden oluşmaktadır. Muskovitler gelişmiş durumdadır. Uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değeri aldığı bu örnek zirkon minerali bakımından zengindir. Zirkon mineralleri biyotitlerin içerisindedir ve radyoaktifliklerinden ötürü bu yapıya hasar vermiş durumdadır. Rosa Balmoral granitinin optik polarizan mikroskop altında elde edilen görüntüleri Şekil 5.63 ve Şekil 5.64’de verilmiştir.



**Şekil 5.62 :** Finlandiya rosa balmoral granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



**Şekil 5.63 :** Finlandiya rosa balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Per: pertit, Mu: muskovit)



**Şekil 5.64 :** Finlandiya rosa balmoral granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz, Mu: muskovit, Zr: zirkon)

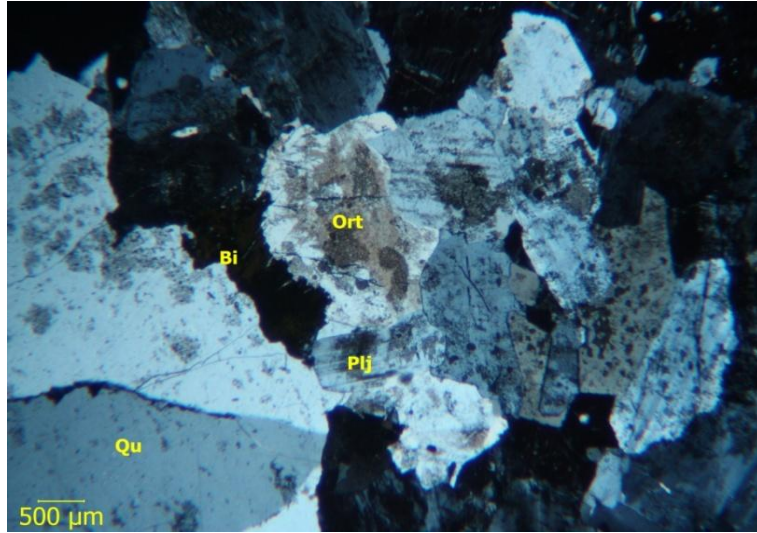
#### 5.4.28 İtalya porrino graniti

Ticari adı İtalya Porrino olan sokulum makro olarak açık pembe, beyaz ve yer yer siyah tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.65’de verilmiştir. Holokristalin taneler doku gösteren İtalyan porrino graniti özel doku olarak pertitik doku özellikleri göstermektedir. Mineralojik bileşiminde kuvars ve potasyum aktivite konsantrasyonuna neden olan ortoklaz ve mikroklin pertit mineralleri mevcuttur. Uranyum ve toryum yoğunluğuna sebebiyet veren aksesuar mineral olarak da sfen, apatit ve zirkon minerallerini içerir. Kloritleşmiş biyotitler içeren bu granit bünyesinde bulunan feldispatlarda da killeşme görülmektedir. Örneğin polarizan optik mikroskop altında elde edilen görüntüleri Şekil 5.66 ve Şekil 5.67’de verilmiştir.

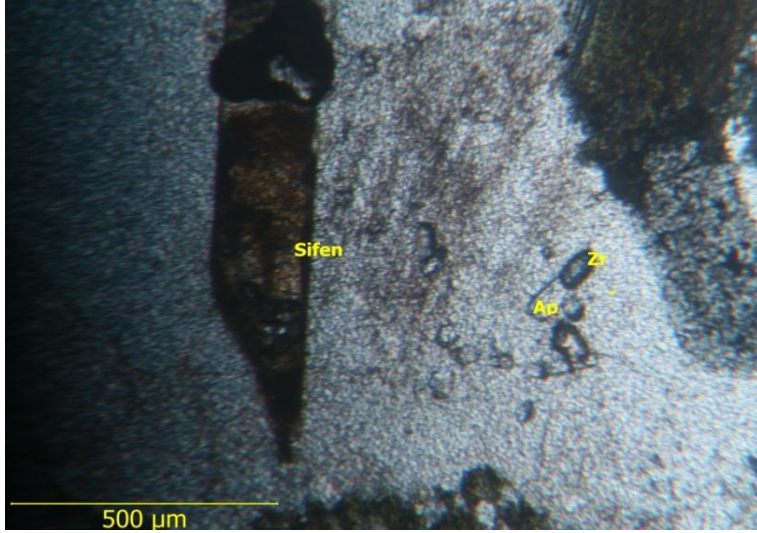




Şekil 5.65 : İtalyan porrino granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.66 : İtalya porrino granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Plj: plajiyoklaz, Ort: ortoklaz)



**Şekil 5.67 :** İtalya porrino granit ince kesit örneğinin tek nikolde elde edilen optik mikroskop görüntüsü (Sf: sfen, Ap: apatit, Zr: zirkon)

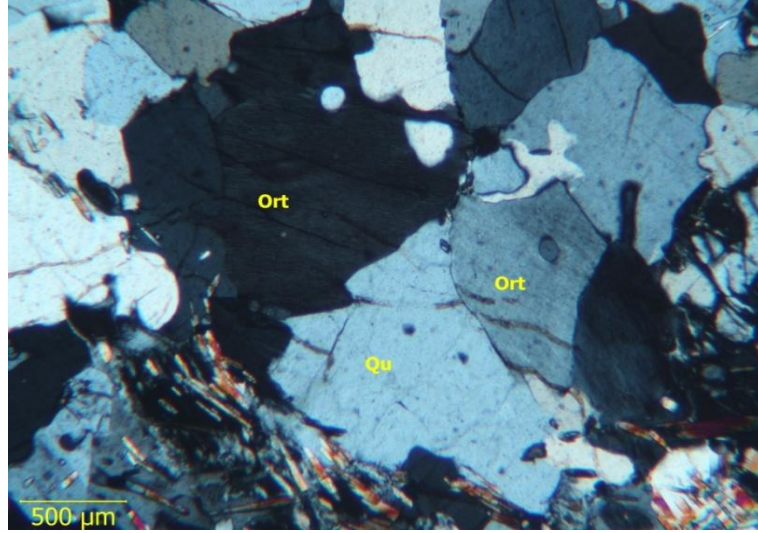
#### **5.4.29 Brezilya jaguar graniti**

Ticari adı Brezilya Jaguar olan sokulum makro olarak sarı, beyaz, gri ve yer yer kahverengi tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.68’de gösterilmiştir. Mineralojik bileşiminde kuvars, potasyum zenginliğine yol açan ortoklaz ve plajiyoklaz mineralleri mevcuttur. Uranyum ve toryum konsantrasyonuna neden olan aksesuar mineral olarak da apatit ve zirkon minerallerini içermektedir. Holokristalin taneseli doku gösteren Brezilya jaguar granitinin optik polarizan mikroskop altında elde edilen görüntüleri Şekil 5.69 ve Şekil 5.70’de verilmiştir.

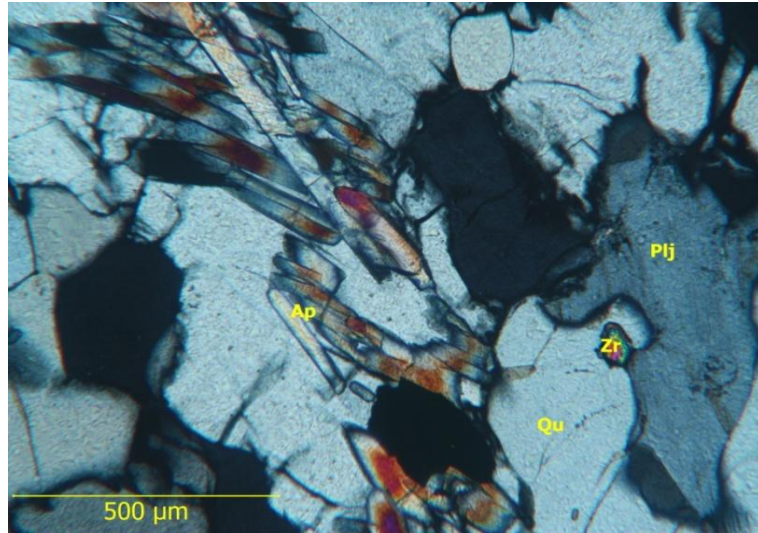


**Şekil 5.68 :** Brezilya jaguar granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.





**Şekil 5.69** : Brezilya jaguar granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Ort: ortoklaz)



**Şekil 5.70** : Brezilya jaguar granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Plj: plajiyoklaz, Ap: apatit, Zr: zirkon)

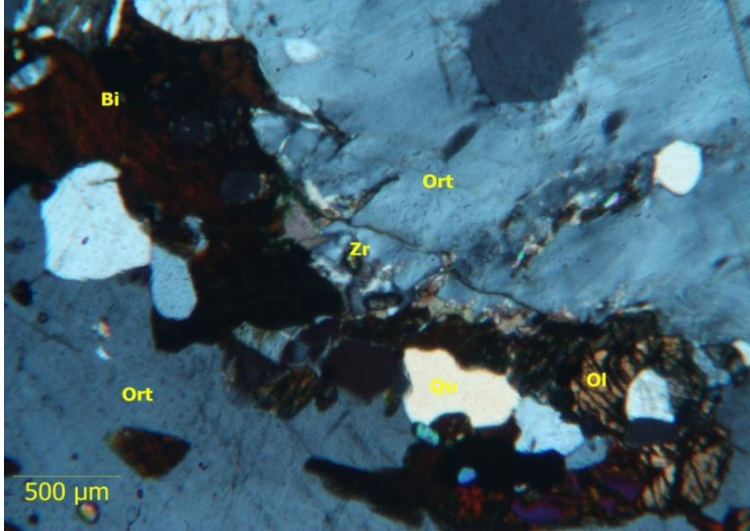
#### 5.4.30 İspanya green butterfly graniti

Ticari ismi İspanya Green Butterfly olan sokulum makro olarak yeşil, siyah ve çok az olmakla birlikte yer yer beyaz tonlarında izlenir. İncelenen örneğin çıplak gözle genel bir görünümü Şekil 5.71’de verilmektedir. Green Butterfly graniti incelendiğinde daha çok metamorfizma geçirmiş bir granit olduğu belirlenmiştir. Olivin ve kuvars bir arada mevcuttur. Potasyumca zengin biyotitler içeren bu kayaç örneğinde granat görülmüştür. Böyle bir yapının bulunması elimizdeki kayaç örneğinin başka kayaçlarla kontak noktalarından alınmış olduğu veya granitin dış zonundan alındığı bilgisine ulaşmamızı sağlar. Potasyum aktivite konsantrasyonunun

yüksek değer aldığı bu örnekte ortoklaz, plajiyoklaz ve biyotit yüksek oranlarda gözlenmiştir. Mineralojik bileşiminde ortoklaz, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, olivin, kenar zonlarında granat ve uranyum ve toryum konsantrasyonuna sebep olan zirkon bulunmaktadır. Granitin dış kısmına yakın, metamorfik etkinin görüldüğü bölgeden alındığı için metamorfik bir granittir ve monzo gablo olarak adlandırılır. Nemato granoblastik dokuya sahip olan örneğin optik polarizan mikroskop altında elde edilen görüntüsü Şekil 5.72’de verilmiştir.



Şekil 5.71 : Green butterfly granitinin çıplak gözle genel bir görünümü.



Şekil 5.72 : Green butterfly granit ince kesit örneğinin optik mikroskop görüntüsü (Qu: kuvars, Bi: biyotit, Ort: ortoklaz, Zr: zirkon)

## 5.5 Mineralojik Sonuçlar ve Radyonüklid İçeriklerinin Birlikte Değerlendirilmesi

Uranyum ve toryum magmatik kayalarda allanit, monazit, zirkon, apatit, sfen, thorit vb. radyojenik aksesuar mineral fazlarında bulunur. Bu minerallerin arasında en yaygın bulunanı zirkondur. Zirkon mineralleri granit gibi birçok magmatik kayacın oluşumu sırasında kristalleşmiştir. Kayaç içerisindeki zirkonun yüzde miktarında bağlı olarak, bu mineralden kaynaklanan uranyum ve toryum konsantrasyonu değişiklik göstermektedir. Potasyum ise çoğunlukla alkali feldspatların (Ortoklaz, Mikroklin), asidik plajiyoklazların ve mikaların (muskovit, fengit) bünyesinde bulunur.

Gama spektrometrik analiz sonucunda elde edilen maksimum  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına sahip olan örneklerin mineralojik bileşimleri incelendiğinde elde edilen sonuçların beklenenden farklı olmadığı görülmüştür.

Maksimum  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olan 10 numaralı Finlandiya'dan gelen *Rosa Balmoral* granitinin ince kesit mikroskop görüntüleri incelendiğinde yapısında kuvars, biyotit, plajiyoklaz, ortoklaz, muskovit, zirkon ve pertit minerallerinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Zirkon bakımından oldukça zengin olduğu belirlenen örneğin içerisinde bulunan biyotit minerallerinde zirkonun radyoaktif özelliğinden ötürürü meydana gelen hasar polarizan mikroskop görüntüsünden de izlenmiştir.

Maksimum  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olan 3 numaralı *Giresun Vizon* granitinin mineralojik yapısı incelendiğinde ise ortoz, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, amfibol, sfen, turmalin ve apatit mineralleri gözlemlenmiştir. Ortoklaz, kuvars ve plajiyoklaz mineralleri bakımından zengin bir granit olan örnekte biyotit ve diğer mineraller az miktarda gözlemlenmiştir. Alkali feldspatların ve plajiyoklazların yaygın olarak bulunduğu sokulumda potasyum aktivite konsantrasyonunun yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

Radyum ve Toryum aktivite konsantrasyonları UNSCEAR tarafından belirtilen 50 Bq/kg dünya ortalama değerinin iki katından fazla olan granit örneklerinin mineralojik yapısı incelendiğinde ise genel olarak granitin karakteristik minerallerini bulundurmakla birlikte tali ve aksesuar minerallerin varlığı dikkat çekmektedir. Potasyum aktivite konsantrasyonlarının UNSCEAR tarafından belirlenen 500 Bq/kg

değerinin üç katından fazla çıkan örneklerin mineralojik bileşimi incelendiğinde ise yüksek potasyum aktivitesine neden olan alkali feldspatlar ve plajiyoklazların yanı sıra muskovit gibi minerallere de rastlanmıştır.

Minimum  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına sahip olan 14 numaralı Hindistan kökenli *Verde Guatemala* örneğinin mineralojik bileşimi incelendiğinde ise kalsit, diyopsit, klorit, kloriyotit, lapsonit, diyapsonit ve skarn mineralleri gözlemlenmiştir. *Verde Guatemala* örneği uranyum, toryum ve potasyum aktivitelere neden olan mineralleri içermediği için elde edilen sonuç şaşırtıcı olmamıştır.

Genel olarak tüm örnekler incelendiğinde yüksek  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olan granit örneklerinin radyoaktiviteye sebep olan aksesuar ve tali mineralleri içerdikleri, yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonuna sahip olan örneklerin ise alkali feldspatlar, mika ve plajiyoklazlar açısından zengin olduğu belirlenmiştir. Düşük  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına sahip olan örneklerin ise radyoaktiviteye sebep olan mineraller bakımından fakir olduğu belirlenmiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de bina içi ve dışında yaygın olarak kullanılan, 8’i yerli toplam 30 adet granit örneği radyolojik ve mineralojik yönden incelenmiştir. Radyolojik değerlendirmeler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Radyasyona dışsal maruz kalma ile ilgili olarak radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi gama spektrometrik analiz yöntemiyle yapılmıştır. Radyasyona içsel maruz kalma ile ilgili değerlendirmeler için CR-39 katıhal iz detektörleri kullanılarak Radon salınım hızlarının belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Granit numunelerindeki radyonüklid konsantrasyonlarının kaynağını belirleme kapsamında yapılan mineralojik inceleme işleminde ise örneklerden alınan ince kesit numunelerinin optik polarizan mikroskop yardımıyla mineral içerikleri belirlenmiştir.

Granit örnekleri için gama spektrometrik analiz yöntemi ile elde edilen doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları Çizelge 5.2’de ve Şekil 5.1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla  $0.74 \pm 0.05$  Bq/kg ile  $185.55 \pm 1.31$  Bq/kg,  $0.52 \pm 0.10$  Bq/kg ile  $248.54 \pm 1.74$  Bq/kg ve <MDA ile  $1934.83 \pm 10.45$  Bq/Kg arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi 10 numaralı *Rosa Balmoral* örneğinde, en düşük değerler ise 14 numaralı *Verde Guatemala* örneğinde elde edilmiştir.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun en yüksek değeri 3 numaralı yerli *Giresun Vizon* granitine, en düşük olduğu değer ise 14 numaralı *Verde Guatemala* örneğine aittir. Çalışmamızda incelenen granit örneklerinden elde edilen aktivite konsantrasyonlarının, ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan benzer çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Tzortzis ve Tsertos, 2004; Pavlidiou, 2006; Yaşar, 2006; Papaefthymiou, 2008).

Aktivite konsantrasyon sonuçları mineralojik bileşimler ile birlikte değerlendirildiğinde, yüksek konsantrasyona sahip olan sokulumların ortoklaz ve radyojenik aksesuar mineral bakımından zengin oldukları, düşük konsantrasyona sahip olanların ise bu mineraller bakımından fakir oldukları saptanmıştır. Mineralojik yapısında aksesuar ve tali minerallere rastlanan granit örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının nispeten yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüksek  $^{40}\text{K}$

aktivite konsantrasyonuna sahip olan örneklerin ise alkali feldspatlar, mika ve plajiyoklazlar açısından zengin olduğu belirlenmiştir. Düşük  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarına sahip olan örneklerin ise radyoaktiviteye sebep olan mineraller bakımından fakir olduğu belirlenmiştir. Potasyum kaynağı kayaç yapıcı minerallerde meydana gelen alterasyonun gözlemlendiği örneklerde ise potasyum aktivite konsantrasyonlarının diğer örneklere göre nispeten daha yüksek değerlerde olduğu saptanmıştır.

Radon salınım hızlarının belirlenmesi için “Sealed Can” yöntemi kullanılarak radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Radon salınım hızları için elde edilen değerlerin  $0.020 \text{ Bq/m}^2\text{h}$  ile  $0.849 \text{ Bq/m}^2\text{h}$  arasında değiştiği Çizelge 5.5’den görülmektedir. Radon salınım hızlarının minimum değeri,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının en düşük değer aldığı *Verde Guatemala* örneğinde gözlemlenirken maksimum değeri  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değer aldığı *Rosa Balmoral* örneğinde gözlemlenmiştir. Granit örneklerinde elde edilen radon salınım hızları ile radyum aktivitesi arasındaki korelasyon katsayısı 0.62 olarak belirlenmiştir. Bu değer, radon salınım hızının aktivite konsantrasyonlarının yanı sıra gözeneklilik, yoğunluk ve nem gibi fiziksel faktörlerden de etkilendiğini göstermektedir. Bu çalışmada CR-39 detektörleri granit bloklarının kenar ve orta noktalarına yerleştirilmek suretiyle, radon salınım hızının uniform olup olmadığı da kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar granit numunelerinin bazılarının radon salınım hızı bakımından uniform bir dağılıma sahip olmadığını göstermiştir.

Çalışmamızda, bina yapım ve dekorasyonu amacıyla Türkiye’de yaygın olarak kullanılan granit örneklerinde, radyoaktivite içeriği ve radon salınım hızlarına bağlı olarak bina içi ortamda içsel ve dışsal maruz kalma, radyolojik risk açısından da incelenmiştir. Granit örneklerinde saptanan en yüksek radon salınım hızı  $0.849 \text{ Bq/m}^2\text{h}$  olarak ölçülmüş ve UNSCEAR raporlarında verilen standart oda ( $V=3\times 3\times 3 \text{ m}^3$ ,  $S=54 \text{ m}^2$ ,  $S/V=2 \text{ m}^{-1}$ ) için yapılan dozimetrik hesaplamadan bina içi içsel maruz kalma etkin doz eşdeğeri  $0.04 \text{ mSv/y}$  olarak bulunmuştur. İncelenen granit örneklerinin bina içi ortamlarda içsel maruz kalmaya katkısının hayli az olduğu ve bu katkının radyolojik risk oluşturmayacak düzeyde olduğu görülmektedir.

Granit malzemelerden salınan gama ışınları bina içi ortamlarda dışsal radyasyona maruz kalmayı önemli ölçüde artırmaktadır (UNSCEAR, 1988). Bu doğrultuda,

incelenen granit örneklerinde ortalama doğal radyonüklit aktivite içeriği ve buna bağlı olarak hesaplanan  $R_a$  eşdeğer aktivitesi,  $H_{ex}$  ve  $H_{in}$  zarar indeksleri, absorbe edilen karasal gama doz hızı ve etkin doz eşdeğerini kapsayan radyolojik özellikler belirlenmiştir.

Granit örnekleri için hesaplanan  $R_{a_{eq}}$  aktivitelerinin 1.48 -667.25 Bq/kg,  $H_{ex}$  zarar indekslerinin 0.004-1.8 ve  $H_{in}$  zarar indekslerinin 0.01-2.36 arasında değiştiği gözlenmiştir. Bina içi kullanım oranları dikkate alındığında; doz hızları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri sırasıyla; 0.16 ile 78.65 nGy/h arasında ve 0.81 ile 385.85  $\mu$ Sv/y arasında değiştiği belirlenmiştir. İncelenen granit örnekleri için hesaplanan doz hızı değerlerinin, UNSCEAR tarafından belirlenen radyolojik risk kriterleri olan 80 nGy/h'i ve hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ise 1 mSv/y değerini aşmadığı saptanmıştır (UNSCEAR, 2000).

Sonuç olarak, granitik malzemelerin iç mekanlarda kullanımında mutlaka mineralojik ve radyolojik analizler yapılmalı ve uluslararası standartlar bağlamında risk faktörleri de dikkate alınarak elde edilen sonuçlara göre hareket edilmelidir.





## KAYNAKLAR

- Abu Jarad, F., Fremlin, J. H., Bull, R.,** 1980. A study of radon emitted from construction materials using plastic alpha-track detectors. *Phys. Med. Biol.* 25, 483–694.
- Abu Jarad F., M. I. Al- Jarallah** 1986. Radon in Saudi Houses, *Radiation Protection Dosimetry* Vol. 14 No 3 pp 243-249.
- Abu Jarad, F.,** 1988. Application of nuclear track detectors for radon related measurements. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 15,525–534.
- Akkurt, A.,** 2006. “Afyon ve Çevresinde Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Al Jarallah, M. I.,** 2001. Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia, *Journal of Environmental Radioactivity* 5391±98
- Al Jarallah, M.I., F. Abu-Jarad, Fazal-ur-Rehman,** 2001. Determination of radon exhalation rates from tiles using active and passive techniques *Radiation Measurements* 34 491–495
- 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
- Atakan Y.,** 2007. Bol Radonlu İçmeler ve Halk Sağlığı. <<http://www.ekolojistler.org/bol-radonlu-icmeler-ve-halk-sagligi-dr.yuksel-atakan.html>>
- Bard, D., Tirmarche, D.,** 1996. Radon, WHO, Regional Office for Europe, March, 1996.
- Beretka, J., Mathew, P.J.,** 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.* 48, 87–95.
- Blagoeva, R., Zikovsky, L.,** 1995. Geographic and vertical distribution of Cs-137 in soils in Canada, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 27(3), pp. 269-274.
- Blundy, J. and Wood, B.,** 1999. Mineral-melt partitioning of uranium, thorium and their daughters. In: Uranium-Series Geochemistry. Eds., Bourdon, B., Henderson, G. M., Lundstrom, C. C., Turner, S.P., *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, Vol. 52.
- Botkin, D., Keller, E.,** 1988. Environmental Science, John Wiley Sons, 1988.
- Chen, C. J., Lin, Y.M.,** 1996. Assessment of building materials for compliance with regulations of ROC. *Environment International* 22, 221-226.

- Çelebi, N., Tasdelen, M., Özçınar, B., Kopuz, G.,** 2003. YTÜ Sevket Sabancı Kütüphanesi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. 8. Ulusal Nükleer Bilimler Ve Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı. Kayseri.
- Çelebi, N.,** 1995. “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi” Doktora Tezi.
- Çogulu H. E.,** 1972. *Petrografi ve Petroloji, Magmatizma*. Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları: 111, İstanbul.
- Debon, F. ve Le Fort, F.,** 1982. A chemical-mineralogical classification of common plutoinc rocks and associations: Transaction of the Royal Soc, of Edinburg Earth Sei., 73, 135-149,
- Dış Ticaret Müsteşarlığı (DTM),** Bilgi İşlem Merkezi Verileri (<http://www.dtm.gov.tr>)
- DKD-K-36301,** 2006. Calibration Certificate. Isotope Product Laboratory, Valencia, CA.
- DPT,** 2006. Mermer ve Granit. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri, Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz, Çalışma Grubu Raporu, *Dokuzuncu Bes Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu*, Devlet Planlama Teskilatı, Ankara.
- Durrani, S.A., Ilic, R.,** 1997. Radon Measurements by Etch Track Detectors. *World Scientific Publishing*, Singapore.
- Eisenbud, M.,** 1987. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources, third ed. Academic Press, New York.
- El-Amri E.A., Al-Jarallah M.I., Abu-Jarad F., Fazal-ur-Rehman,** 2003. Uniformity in radon exhalation from construction materials using can technique *Radiation Measurements* 36 453 – 456
- 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.
- EPA,** 1986. Radon Reduction Methods, a Home Owners Guide. US Environmental Protection Agency Report OPA-86-005. Wasington DC. *Environmental Protection Agency*.
- EPA,** 1987. United States Environmental Protection Agency, Radon Reference, Manual.
- Erler, A. (Edt.),** 1986. Jeokimya, ortamlar. Türkiye jeoloji Kurumu Yerbilimleri Eğitim Dizisi, Ertem Matbaacılık, Ankara.
- Eymen, E. U.,** 2007. SPSS Kullanım Kılavuzu, İstatistik Merkezi Yayınları, Yayın No: 1, Ekim 2007.
- Fazal-ur-Rehman, Al-Jarallah M.I., Musazay M.S., Abu-Jarad F.,** 2003. Application of the can technique and radon gas analyzer for radon exhalation measurements *Applied Radiation and Isotopes* 59 (2003) 353–358.

- Finch, R. and Murakami, T.**, 1999. Systematics and paragenesis of uranium minerals. In: Uranium: Mineralogy, geochemistry and the environment, Eds., Burns, P.C and Finch, R., Reviews in Mineralogy, Vol. 38, pp.91-179.
- Glass, R. C., Highes, A. R.**, 1962. Encyclopoedic Dictionary of Physics, Meetham Pergomon Press, Oxford, London.
- Gollnick**, 1988. Basic Radiation Technology Pacific Radiation, 1988.
- Göksel, S.**,1973. Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z.**, 1997. Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44, 9-11.
- Hacıyakupoğlu, S.**, 2007. Nuclear analytical Techniques in Environmental Analyses Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Harley, N. H. and Harley, J. H.**, 1990. Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exporsure. Ca, A Cancer Journal for Clinician. 40. 5, 265-275. Sept/Oct.
- IAEA**, 1980. Research Reactor Core Conversion from the use of high enriched uranium to the use of low enriched uranium fuels Guidebook. IAEA-TECDOC-233.
- ICRP**, 1980. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10 (2-3).
- ICRP**,1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection., Publication 60. Ann. Pergamon Press, Oxford International Commission on Radiation Protection.
- ICRP**, 1994. *Protection Against Radon at Home and at Work. ICRP Publication 65.* International Commission on Radiation Protection, Oxford, England: Pergamon Press.
- İMMİB**, 2001. Yıllık Çalışma Raporları, İMMİB İstanbul.
- Kapdan, E.**, 2009. “Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaman, E. S.**, 2003. “Farklı türkiye mermer türlerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin tayini”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Keskin, H.**, 2004. Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Semineri, Konya.
- Köklü N.**, 2006. “Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri Ve Tıpta Uygulama Alanları” ,Yüksek Lisans Tezi.
- Krane, K. S.**, 2001. Nükleer Fizik 1. Palme Yayıncılık, ISBN:975-7477-88-5, 418s. Ankara.
- Kumru, M. N., Bakaç, M., Hüryasar, A.**, 2003. Kapalı Bina İçi Atmosferinin Radon Ürünlerinden Arıtılması İçin Filtrasyon Sistemi Gelistirilmesi. 8. *Ulusal Nükleer Bilimler Ve Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı.* Kayseri.

- Lubin J. H, Steindorf K.**, 1995. Cigarette Use and The Estimation of Lung Cancer Attributable to Radon in The United States. *Radiat Res.* 1995 Jan. 141(1). P 79-85.
- Mason, B. and Moore, C.B.**, 1982. *Principles of Geochemistry*. 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, New York.
- Mcdonough, W. F.**, 1992. Sun, S., Ringwood, E. A., Jagoutz, E., Hofmann, A., Potassium, rubidium, and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, pp. 1001-1012
- NCRP 97**, 1988. National Council on Radiation Protection and Measurements; Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP Report No. 97.
- Optik Mineraloji Ders Notları**, 2008. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü için 07.02.2008 tarihinde verilen Optik Mineraloji ders notları.
- ORTEC**, 2003. Gamma Vision-32 A66-B32 Software Users Manual
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N.**, 2005. Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskisehir, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 63, pp. 267-275.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., G. Karahan, Karacık, Z.**, 2007. Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey. *Applied radiation Isotope*, Vol. 65, pp. 739-747
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Ataksor, B., Çelebi, N.**, 2008. A Study Of Indoor Radon Levels In Rural Dwellings Of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using Solid-State Nuclear Track Detectors, *Radiat Prot Dosimetry 2008*, 131: 379 -384; doi:10.1093/rpd/ncn190
- Özdemir B.**, 2006. Afyon Ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini, Yüksek Lisans Tezi.
- Papaefthymiou H.**, 2008. Natural radioactivity content of granite tiles used in Greece. *Radiation protection and dosimetry*, 131/4, 541-544.
- Pavlidou S., Koroneos A., Papastefanou C., Christofides G., Stoulos S., Vavelides M.**, 2006. Natural radioactivity of granites used as building materials *J. Environ. Radioact.* 89, 48–60.
- Pereira V. K., Christa E., Vaidyana P. J., Jojo T. V.**, 2008. Ramachandran Measurement of Radon Exhalation Rate from Building Materials used in the southwest coastal region of India *Indoor Built Environ* 2008;17;5:472–475.
- Plant, J.A. and Saunders, A.D.**, 1996. The radioactive earth. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 68, 1/2, p.25-36,
- Radosys**, 2000. User's Manual.

- Righi, S., Bruzzi, L.,** 2006, Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings, *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 158-170.
- Rollinson, H.R.,** 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman (352pp.).
- Rudnick, R.L., Gao, S.,** 2003. Composition of the continental crust. In: *Treatise on Geochemistry*, vol. 3. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–64.
- Samet. J.M. et al.,** 1990. Review of Radon and Lung Cancer Risk, *Risk Analysis*, 10:65-75,
- Streckeisen, A.,** 1974, To each plutonic rocks: Its proper name, *Earth Science Reviews*, 12, 1-33.
- Taşkın H.,** 2006. İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Theodorsson,** 1996. Measurements of Weak Radioactivity, World Scientific Publishing Co., 1996.
- Togay, Y.,E.,** 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, 37s. Ankara.
- Turner, J.,** 2007. Atoms, Radiation and Radiation Protection, 2007.
- Tzortzis, M. and Tsertos, H.,** 2004. Determination of thorium, uranium, and potassium elemental concentrations in surface soils in Cyprus, *Journal of Environmental Radioactivity*. 77, 325-338,
- UNSCEAR,** 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Levels and Effects of Ionizing Radiation, New York, UN, UNSCEAR Report.
- UNSCEAR,** 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation United Nations sales publication No:E.88.IX.7. New York.
- UNSCEAR,** 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York
- UNSCEAR,** 2000. Sources, Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations, New York.
- URL-1.** <<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/65-radyasyon-ve-radyoaktivite/85-radyasyon-birimleri.html>> 15.11.2010
- URL-2.** <<http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm>> 15.11.2010
- URL-3.** <<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/233-yapay-radyasyon-kaynaklari.html>> 15.11.2010

- URL-4.**<<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/181-dogal-radyasyon-kaynaklari.html>>
- URL-5.**<[http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_02.html](http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html)> 15.11.2010
- URL-6.**<<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/radyasyondan-korunma/284-radyasyondan-korunma-uluslararası-kuruluslar-.html>> 15.11.2010
- Uyanık, H., 2008.** Doğal Taşlar, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.
- Valkovic, V., 2000.** *Radioactivity in the Environment*, Elsevier, The Netherlands.
- Van Schmus, W. R., (1995).** Natural radioactivity of the crust and mantel. In Global Earth Physics, A handbook of physical constrains, AGU Reference Shelf 1, Copyrite 1995 by the American Geophysical Union.
- Wilson, M., 1989.** Igneous Petrogenesis. London: Unwin Hyman.
- Yaprak, G., 1995.** Radyoaktif Mineral İçeren Örneklerin Gama Spektroskopik Analizlerde Matris Etkisi ve Self Aborsorbsiyon için Bir Düzeltme Yönteminin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- 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.
- 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.
- Yaşar, Ö, 2006.** Türkiye Mermerlerindeki Doğal Radyonüklid İçeriğinin ve Radon Emanasyon Hızının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi.
- Yılmaz S. Ş., Örgün Y., Güngör Y., Göker A. F., Gültekin A. H., Karacık Z., 2010.** Mineral and Whole-rock Geochemistry of the Kestanbol Granitoid (Ezine-Çanakkale) and its Mafic Microgranular Enclaves in Northwestern Anatolia: Evidence of Felsic and Mafic Magma Interaction, Turkish J. Earth Sci., 19, (2010), 101-122.
- Zikovsky, L. and Kennedy, G., 1992,** Radioactivity of Building Materials Available in Canada , *Health Physics*, 63(4), 449.

## **EKLER**

**EK A.1:** Verim kalibrasyonunda kullanılan standart multinüklid kaynağın sertifikası





# CERTIFICATE OF CALIBRATION MULTINUCLIDE STANDARD SOURCE

*1.7 gr/cm<sup>3</sup>*

Customer:	ISOTOPE PRODUCTS EUROPE	P.O. No.:	30016
Catalog No.:	EG-ML	Reference Date:	15-Nov-00 12:00 PST
Source No.:	745-7-2	Total Radioactivity:	1.036 $\mu$ Ci
		Total Radioactivity:	38.33 kBq

**Description of Source**

a. Capsule type:	1 L Marinelli beaker (132G)
b. Nature of active deposit:	Multinuclide distributed in 1.7 g/cc sand
c. Active diameter/volume:	Approximately 1000 mL (1699 grams)
d. Backing:	Plastic
e. Cover:	Plastic

Gamma-Ray Energy (keV)	Nuclide	Half-life	Branching Ratio (%)	Activity ( $\mu$ Ci)	Gammas per second	Total Uncert.
60	Am-241	432.17 $\pm$ 0.66 years	36.0	0.03056	407.1	3.0%
88	Cd-109	462.6 $\pm$ 0.7 days	3.63	0.3140	421.7	3.1%
122	Co-57	271.79 $\pm$ 0.09 days	85.6	0.01084	343.3	3.1%
159	Te-123m	119.7 $\pm$ 0.1 days	84.0	0.01610	500.4	3.0%
320	Cr-51	27.706 $\pm$ 0.007 days	9.86	0.3434	1253	3.0%
392	Sn-113	115.09 $\pm$ 0.04 days	64.89	0.05371	1290	3.0%
514	Sr-85	64.849 $\pm$ 0.004 days	98.4	0.06820	2483	3.0%
662	Cs-137	30.17 $\pm$ 0.16 years	85.1	0.04888	1539	3.0%
898	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 days	94.0	0.09344	3250	3.0%
1173	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 years	99.86	0.05652	2088	3.0%
1333	Co-60	5.272 $\pm$ 0.001 years	99.98	0.05652	2091	3.0%
1836	Y-88	106.630 $\pm$ 0.025 days	99.36	0.09344	3435	3.0%

**Method of Calibration**

The source was prepared from weighed aliquots of solutions whose concentrations in  $\mu$ Ci/g were determined by gamma spectrometry.

**NIST Traceability**

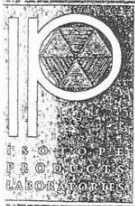
This calibration is traceable to the National Institute of Standards and Technology.

**Leak Test(s)**

See reverse side for Leak Test(s) applied to this source.

**Notes**

- Nuclear data was taken from IAEA-TECDOC-619, 1991.
- IPL participates in an NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (AS in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Overall uncertainty is calculated at the 99% confidence level.
- This source has a working life of 1 year.



**ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES**

1800 N. KEYSTONE ST.  
BURBANK, CALIFORNIA 91504  
818-843-7000 FAX 818-843-6168

ISO 9001 CERTIFIED

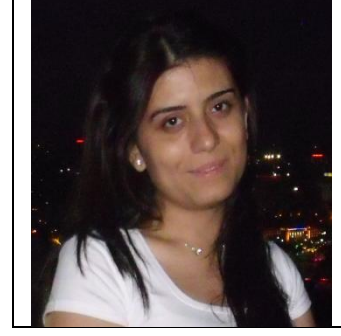
*David James Van Dalsen*  
Quality Control  
16-NOV-00  
Date Signed

IPL Ref No. 745-7

**Şekil A.1 :** Gama spektrometre sisteminin verim kalibrasyonunda kullanılan standart kaynağın sertifikası.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Emel Çetin  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul 1986  
**Adres:** Karabük Safranbolu  
**Lisans Üniversitesi:** Marmara Üniversitesi

### Yayın Listesi:

- **Cetin E.**, Altınsoy N., Orgun Y., 2010. Natural Radioactivity Levels of Granites Used in Turkey. *International Symposium On In Situ Nuclear Metrology As A Tool For Radioecology (INSINUME 2010)*, October 19-24, 2010 Dubna, Russia.