

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

77611

*ELAZIĞ ve ÇEVRESİNDEKİ İÇME ve KULLANIM SULARINDA
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN TAYİNİ*

Cumhur CANBAZOĞLU

77611

*YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI*

ELAZIĞ

1998

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ ve ÇEVRESİNDEKİ İÇME ve KULLANIM SULARINDA
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN TAYİNİ

Cumhur CANBAZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN YAYIN MERKEZİ

Bu Tez, ...31.08.1998..... Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği
/ ~~Oyçokluğu~~ İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.


Danışman

Doç. Dr. Mahmut DOĞRU



Doç. Dr. Osman ÖZCAN



Doç. Dr. Fahrettin GÖĞTAŞ

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****ELAZIĞ ve ÇEVRESİNDEKİ İÇME ve KULLANIM SULARINDA
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN TAYİNİ *****Cumhur CANBAZOĞLU****Fırat Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Fizik Anabilim Dalı****1998, Sayfa: 111**

Bu çalışmada, örneklerin ısı ile kaynatılmadan buharlaştırılması yönteminden faydalanılarak sayıma hazır hale getirilen su numunelerinin radyoaktivite sayımları, uygun sintilatörlerle Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı temel olmak üzere, Geiger Müller sayıcısı, sintilasyon (NaI(Tl)) sayıcısı, yarıiletken (yüzey engelli silikon) detektör ve gaz orantılı sayıcının kullanımı ile karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak su numunelerinin alfa ve beta radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Buna göre; Elazığ yöresinin içme ve kullanım sularındaki genel ortalama alfa ve beta aktiviteleri sırası ile 0.0968 ± 0.0360 Bq/lit ve 0.1562 ± 0.0395 Bq/lit olarak hesaplanmıştır.

Bu aktivite değerleri kullanılarak, Elazığ ve yöresindeki suların radyoaktivite seviyesinin değişimini gösteren bir radyasyon haritası elde edilmiştir. Sonuçlar, WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı), TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) gibi yetkili kurumlar tarafından kabul edilmiş konsantrasyon limitleri ile karşılaştırılmış; bölgenin alfa ve beta aktivitelerinin genel ortalamasının, standart değerlerin altında olduğu ve insan sağlığı açısından herhangi bir tehlike arz etmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ ve Yöresi, Sulardaki Radyoaktif Kirlilik, Radyoaktivite, Radyasyon.

*: Bu tez, **YDABÇAG-569** nolu proje ile **TÜBİTAK** tarafından desteklenmiştir.

SUMMARY**Master Thesis****DETERMINATION OF THE RADIOACTIVITY LEVEL IN DRINKING AND
USAGE WATER IN ELAZIG AND ITS SURROUNDS *****Cumhur CANBAZOĞLU****Firat University****Institute of Science, Physics Department****1998, Page: 111**

In this study, water sediments which prepared using water precipitation by evaporation method are counted by using mainly Low Level Alpha Counter with suitable scintillators comparison to Geiger Müller tube, NaI(Tl) Scintillation Counter, Surface Barrier Silicon Semiconductor detector and Gas Proportional Counter, and the results are mentioned. Hence, the mean counts for alpha (α) and beta (β) activities are found to be 0.0968 ± 0.0360 Bq/lit and 0.1562 ± 0.0395 Bq/lit over district area, respectively. Using the results, the variation of the level of α and β radioactivities in Elazığ and its surrounds is mapped.

The obtained results are compared to the limits given by World Health Organisation (WHO), Turkish Standard Institute (TSE) and Istanbul Water and Sewer System Management (ISKI). Since these results are found to be under the limits, the α and β radioactivities in Elazığ water are not hazardous for human being in this region.

Keywords: Elazığ and Its Surrounds, Radiation Pollution in Water, Radioactivity, Radiation.

*: This thesis is supported by **TUBITAK** (The contract number **YDABÇAG-569**).

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanıp hazırlanmasında daima yanımda olan ve bana büyük bir çalışma azmi veren, zaman kavramını önemsemeyen her türlü maddi, manevi ve bilimsel fedakarlıkta bulunan, ve bilimsel bir çalışmanın nasıl yapılması gerektiği konusunda değerli bilgilerinden faydalandığım danışman hocam Doç.Dr. Mahmut DOĞRU'ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İlgi ve yardımlarından dolayı Prof.Dr. Osman ADIGÜZEL'e ve tezin yazılması esnasında yapıcı eleştirileriyle değerli katkılarda bulunan Yrd.Doç.Dr. Nejdet KAYALI'ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında karşılaştığım teknik sorunlara pratik ve akılcı çözümler üreten Yrd.Doç.Dr. Soner ÖZGEN'e, sonuçların jeolojik formasyonlar açısından yorumlanması esnasında bilgilerinden faydalandığım Yrd.Doç.Dr. Mehmet Ali ÖZDEMİR'e, tabloların hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Arş.Gör. Haluk KORALAY'a ve deneylerde kullandığım bazı kimyasal maddelerin temin edilmesindeki yardımlarından dolayı Arş.Gör. Mustafa KARATEPE'ye teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanı sıra, kalibrasyon işlemlerinde kullanılan radyoizotopların hazırlanması, bazı örneklerin gaz orantılı sayıcıda sayılarak sonuçların karşılaştırılması imkanını elde etmemde, değerli katkı ve yardımlarından dolayı ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümünden Dr. Gürsel KARAHAN'a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım esnasında huzurlu bir ortam oluşturulmasına katkılarından dolayı Fizik Bölümü tüm Öğretim Üyeleri, Yardımcıları ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım su kaynaklarının yerlerinin belirlenmesi, örnek alım yerlerinin jeolojik formasyon yapısının çıkarılması ve numunelerin alınmasındaki yardım ve katkılarından dolayı; DSİ 9. Bölge Müdürlüğü yeraltı suları bölümü çalışanlarına, Jeoloji Mühendisi Sabiha KALKAN'a, DSİ 91. Şube Müdürlüğündeki Ziraat Mühendisi Metin GÜL'e ve çalışma arkadaşlarına, ayrıca Mollaköy civarındaki su numunelerinin alınmasında bana imkanlar tanıyan Elazığ Belediyesi P1 pompa istasyon şefi Mustafa Bey'e ve mesai arkadaşlarına teşekkür ederim.

YDABÇAG-569 nolu proje çerçevesinde bu çalışmayı destekleyen TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bana her türlü desteği sağlayan ve büyük özverilerde bulunan kıymetli aileme saygı ve şükranlarımı sunarım.

Cumhur CANBAZOĞLU

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XIV

1. Giriş	1
2. RADYOAKTİF PARÇACIKLAR ve RADYASYON	3
2.1. Radyoaktif Parçacıklar ve Madde İle Etkileşimi	3
2.2. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	4
2.2.1. Somatik etkiler	5
2.2.1.1. Dahili (Internal) biyolojik etkiler	5
2.2.1.2. Harici (External) ışınlama	6
2.2.2. Genetik etkiler	6
2.3. Radyoaktivite Ölçümleme Birimleri	7
2.3.1. Aktivite birimleri	8
2.3.2. Doz birimleri	8
3. RADYASYON DETEKSİYON YÖNTEMLERİ	11

3.1. Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler.....	11
3.1.1. İyonizasyon odaları.....	12
3.1.2. Orantılı sayıcılar.....	12
3.1.3. Geiger Müller sayıcıları.....	13
3.2. Sintilasyon Detektörleri.....	14
3.2.1. NaI (Tl) sintilatörleri.....	14
3.2.2. ZnS sintilatörleri.....	15
3.2.3. Plastik sintilatörler.....	15
3.2.4. Sıvı sintilatörler.....	16
3.3. Yarıiletken Detektörler.....	17
3.3.1. Detektör yapısı.....	19
3.3.2. Detektör performansı.....	19
3.4. Yüklü Parçacıkların Deteksiyonu.....	20
3.4.1. Silikon yüklü parçacık detektörleri.....	20
3.5. Detektör Verimi.....	22
3.6. Deteksiyon Verimi.....	23
3.7. Detektör Çözünürlüğü.....	26
3.8. Temel Sayım Sistemleri.....	26
3.8.1. Puls elektroniği.....	26
3.8.1.1. Ön yükselteçler ve yükselteçler.....	27
3.8.1.2. Puls yükseltme analizi ve sayım teknikleri.....	28
3.8.1.3. Sayıcılar ve radyasyon hız ölçerler.....	29
4. YERALTI SULARI ve RADYOAKTİF MADDELER.....	30
4.1. Yeraltı Sularının İçerdiği Radyoaktif Elementler.....	30
4.2. Elazığ ve Yöresinde Çıkarılan Başlıca Maden Cevherleri.....	32
4.3. Sulardaki Radyoaktivite Limitleri.....	32
4.4. Yerkürede ve İnsan Vücudunda Bulunan Radyoaktif Elementler.....	33
4.5. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Aktivitesinin Ölçülmesi.....	34
4.5.1. Sayma hataları.....	34
4.5.2. Verim düzeltmeleri.....	35

4.5.3. Su numunelerinin alfa ve beta aktivitelerinin hesaplanması.....	36
5. ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
5.1. Örnek Alınan Yerler ve Özellikleri.....	37
5.1.1. Elazığ'ın merkezine yakın olan kuyular.....	37
5.1.2. Elazığ'ın güney-batı kesiminde bulunan kuyular.....	39
5.1.3. Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan kuyular.....	39
5.2. Deneysel Çalışmalar.....	42
5.2.1. Su numunelerinin hazırlanmasında kullanılan yöntem.....	42
5.2.2. Sulardaki alfa ve beta aktivitelerini belirlemek için kullanılan sayım sistemi.....	43
5.2.3. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının kalibrasyon işlemi.....	44
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	47
6.1. Elazığ'ın İçme ve Kullanım Sularının Radyoaktivite Seviyeleri.....	48
6.1.1. Elazığ merkezi içme ve kullanım sularının alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	48
6.1.1.1. Elazığ şehir merkezinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	48
6.1.1.2. Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	52
6.1.1.3. Elazığ'ın Keban ilçesinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	60
6.1.2. Elazığ'ın güney-batı kesiminden alınan su numunelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	66
6.1.3. Elazığ'ın güney-doğu kesiminden alınan su numunelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	70
6.2. Elazığ ve Yöresinden Toplanan Su Numunelerinin Maden Cevherleri Açısından Değerlendirilmesi.....	79

6.2.1. Bakır, bakırlı pirit ve bakır-çinko açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	79
6.2.2. Kurşun, çinko, demir, krom yatakları açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	80
6.2.3. Manganez yatakları açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri.....	82
6.3. Elazığ ve Yöresindeki Bazı Su Numunelerinin Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Derinlik İle Değişimi.....	84
6.4. Elazığ ve Yöresindeki Bazı Su Numunelerinin Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Kil Oranı İle Değişimi.....	85
7. SONUÇLAR.....	87
8. KAYNAKLAR.....	92

ŞEKİLLER LİSTESİ**Sayfa No**

Şekil 3.1 : Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi [Canberra, 1997].....	12
Şekil 3.2 : Bir plastik sintilatör detektörünün elektroniği [Canberra, 1997; Anderson, 1989].....	16
Şekil 3.3 : Tek girişli alfa spektroskopu uygulamalarında kullanılan elektronik dizaynlar.....	22
Şekil 3.4 : Tam Enerji Pik verim eğrisi [Canberra, 1997].....	23
Şekil 3.5 : Nokta kaynak ve detektör sistemi.....	26
Şekil 3.6 : Radyasyonun detekte edilmesi ile ilgili blok diyagram.....	27
Şekil 4.1 : Uranyum ve toryum izotoplarının azalma serileri [Martins, 1992].....	31
Şekil 5.1 : Kullanılan Alfa ve Beta sayım sisteminin blok diyagramı.....	44
Şekil 5.2 : Uygulama voltajının belirlenmesi ile ilgili Sayım Hızı-Voltaj grafiği.....	45
Şekil 5.3 : Sayım hızının eşik voltajı ile değişim grafiği.....	46
Şekil 6.1 : Elazığ şehir merkezinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	51
Şekil 6.2 : Elazığ'ın ilçelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	59
Şekil 6.3 : Elazığ'ın Keban ilçesinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	65
Şekil 6.4 : Elazığ'ın güney-batı kesiminin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	70
Şekil 6.5 : Elazığ'ın güney-doğu kesiminin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	78
Şekil 6.6 : Bakır, bakırlı-pirit ve bakır-çinko açısından zengin olan bölgelerdeki alfa ve beta aktiviteleri.....	80
Şekil 6.7 : Kurşun, çinko, demir ve krom yatakları açısından zengin olan bölgelerin alfa ve beta radyoaktiviteleri.....	81
Şekil 6.8 : Manganez yatakları açısından zengin olan bölgelerin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	83
Şekil 6.9 : Alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin derinlik ile değişimi.....	84
Şekil 6.10 : Alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin kil oranı ile değişimi.....	86
Şekil 7.1 : Elazığ'ın genel alfa ve beta aktivite ortalaması.....	88
Şekil 7.2 : Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım sularının radyoaktivite seviyelerinin dağılımı.....	90

TABLolar LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 2.1 :	Bir yıl boyunca insanların maruz kaldığı radyasyon dozları.....	7
Tablo 2.2 :	Çeşitli radyasyon türleri için Kalite Faktörleri [Bilge ve Tuğrul, 1990; Göksel, 1973; Tuğrul, 1990].....	10
Tablo 3.1 :	Detektör materyali olarak kullanılan bazı yarıiletkenlerin karakteristikleri [Canberra, 1997].....	18
Tablo 3.2 :	Farklı detektör türleri için enerji çözünürlükleri [Canberra, 1997].....	19
Tablo 3.3 :	PIPS detektörünün ara bölge genişliği ve parçacık enerjisi [Canberra, 1997].....	21
Tablo 4.1 :	İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları [Tuncer vd., 1991].....	33
Tablo 4.2 :	Yerküredeki tabii radyoaktif elementler.....	34
Tablo 4.3 :	İnsan vücudundaki tabii radyoaktif elementler [Sezginer, 1989].....	34
Tablo 6.1 :	Fırat Üniversitesi içme ve kullanım suyu için elde edilen sonuçlar.....	48
Tablo 6.2 :	Karaçalı suyu için elde edilen sonuçlar.....	49
Tablo 6.3 :	Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi su deposu için elde edilen sonuçlar.....	49
Tablo 6.4 :	Abdullahpaşa su deposu için elde edilen sonuçlar.....	50
Tablo 6.5 :	Elazığ şehir merkezinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	50
Tablo 6.6 :	Elazığ'ın Kovancılar ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	53
Tablo 6.7 :	Elazığ'ın Karakoçan ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	53
Tablo 6.8 :	Elazığ'ın Alacakaya ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	54
Tablo 6.9 :	Elazığ'ın Maden ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	54
Tablo 6.10:	Elazığ'ın Sivrice ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	55
Tablo 6.11:	Elazığ'ın Maden ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	55
Tablo 6.12:	Elazığ'ın Baskil ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 6.13:	Elazığ'ın Palu ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 6.14:	Elazığ'ın Arıcak ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	57
Tablo 6.15:	Elazığ'ın Ağın ilçesi için elde edilen sonuçlar.....	57

Tablo 6.16:	Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	58
Tablo 6.17:	Elazığ'ın Keban ilçe merkezi için elde edilen sonuçlar.....	60
Tablo 6.18:	SÜMYO altındaki “kaçak su” için elde edilen sonuçlar.....	61
Tablo 6.19:	Keban Barajı 2 nolu numune için elde edilen sonuçlar.....	61
Tablo 6.20:	Fırat Üniversitesi Keban SÜMYO altı için elde edilen sonuçlar.....	62
Tablo 6.21:	Keban Barajı 4 nolu numune için elde edilen sonuçlar.....	62
Tablo 6.22:	Keban Barajı 3 nolu numune için elde edilen sonuçlar.....	63
Tablo 6.23:	Keban Barajı 1 nolu numune için elde edilen sonuçlar.....	63
Tablo 6.24:	Elazığ'ın Keban ilçesinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	64
Tablo 6.25:	Fırat Üniversitesi Çiftlik Suyu için elde edilen sonuçlar.....	67
Tablo 6.26:	Yolçatı 1 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	67
Tablo 6.27:	Yolçatı 2 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	68
Tablo 6.28:	Yolçatı 1 ve 2 nolu kuyular için elde edilen sonuçlar.....	68
Tablo 6.29:	Elazığ'ın güney-batı kesiminden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	69
Tablo 6.30:	Mollaköy suyu için elde edilen sonuçlar.....	71
Tablo 6.31:	Elazığ'ın Mollakendi Belediyesine ait su kuyusu için elde edilen sonuçlar.....	71
Tablo 6.32:	56 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	72
Tablo 6.33:	59 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	72
Tablo 6.34:	65 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	73
Tablo 6.35:	13 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	73
Tablo 6.36:	53 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	74
Tablo 6.37:	43891 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	74
Tablo 6.38:	43890 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	75
Tablo 6.39:	53+43891 nolu kuyular için elde edilen sonuçlar.....	75
Tablo 6.40:	43886 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	76
Tablo 6.41:	43885 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	76
Tablo 6.42:	43887 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.....	77

Tablo 6.43: Elazığ'ın güney-doğu kesiminden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.....	77
--	----



SİMGELER LİSTESİ

- A_{α} : Alfa aktivitesi
- A_{β} : Beta aktivitesi
- E : Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası
- E_s : Standart sapma
- N : Detektör tarafından algılanan radyoaktif parçacık sayısı
- S : Ölçüm periyodu boyunca kaynak tarafından yayınlanan radyoaktif parçacık sayısı
- V : Verim
- VDF: Verim Düzeltme Faktörü
- Z : Atom numarası
- ϵ_{abs} : Mutlak verim
- ϵ_{int} : Asıl verim
- ϵ_{ip} : Gerçek pik verimi
- ϵ_{pik} : Pik verimi
- ϵ_{top} : Toplam verim
- Ω : Katı açı

1. GİRİŞ

Radyoaktivite, kararsız atom çekirdeğinin bazı ışınlar yayınlamak niteliği tamamen farklı başka çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Radyoaktif bozunum olayı çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder, çekirdek kararlı hale geldiğinde son bulur. Bozunuma uğrayan radyoizotop doğada bulunuyor veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunmasından ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktivite, eğer bozunuma uğrayan radyoizotop insanlar tarafından nükleer teknolojiden faydalanılarak yapay bir şekilde reaktörlerde veya parçacık hızlandırıcılarında üretiliyorsa buna da yapay radyoaktivite denir.

Herhangi bir bozunum modu'ndaki başlangıç radyoaktif çekirdeğine *Ana Çekirdek*, bu çekirdeğin radyoaktif bozunumu ile ortaya çıkan çekirdeğe de *Ürün* veya *Kız Çekirdek* denir [Arthur, 1983].

Bir çekirdeğin kararlılığı, nötronların ve protonların özel kombinasyon ve düzenlenmesine bağlıdır [Göksel, 1973]. Teorik olarak, bir çekirdeğin sahip olduğu nötron sayısının proton sayısına oranı yaklaşık olarak 1 olduğunda, bu çekirdeğin kararlı olduğundan bahsedilebilir. Bu oran, düşük atom numaralı elementler için kolaylıkla sağlanabilmesine rağmen yüksek atom numaralı elementlerde 1'den büyük değer almaktadır. Nötron sayısının proton sayısına oranı 1'den uzaklaştıkça söz konusu çekirdeğin kararsız olma ihtimali yükselmektedir. Doğada 340 civarında radyonüklid bulunmaktadır ve bu radyonüklidlerin 70 tanesi bilinen ağır radyoaktif elementler arasında yer alır. Atom numarası $Z = 82$ 'den büyük olan elementler n/p oranı 1'den büyük olan elementlerdir ve radyoaktif özelliğe sahiptirler [Krane, 1988].

Doğal radyasyonlar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ve tabiatta bulunan radyonüklidlerin kendiliğinden bozunmalarından kaynaklanan radyasyon aktiviteleri olarak başlıca iki temel sınıfa ayrılabilir. Canlılar ve özellikle insanlar sürekli olarak bu doğal radyasyon kaynaklarından meydana gelen ışınlamalara maruz kalırlar. Fakat değişik radyonüklidlerden yayınlanan bu radyasyon dozları, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek seviyede değildir.

İnsanların her zaman maruz kaldığı doğal radyasyonların background aktiviteleri temelde bölgenin jeolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Toprakta

var olan radyoizotoplar, toprakla devamlı temas halinde olan sular içerisinde çözünebilmekte ve sulara doğal background radyasyon seviyesi meydana getirmektedir. Yeraltı sularının, yerüstü sularına göre radyoaktif elementler açısından daha yüksek seviyede olması beklenir; çünkü doğal radyoizotopların, toprağın farklı derinliklerindeki çeşitli elementlerin bünyesinde olma ihtimalleri daha yüksektir [Yu vd., 1994; Lawrence, 1994]. Buna bağlı olarak özellikle fay hatları civarındaki yeraltı suları, bazı elementleri ve dolayısıyla da radyoizotopları diğer sulara göre daha yüksek oranda bünyelerinde bulundurmaktadırlar [Özdemir, 1998].

Elazığ'ın içme ve kullanım sularının tamamının yeraltı sularından temin edilmesi, bölgenin, suların radyoaktivite seviyelerini etkileyecek düzeyde bir coğrafi yapıya sahip olması ve bu bölgede şimdiye kadar herhangi bir radyoaktivite tespit çalışması yapılmamış olması gibi nedenlerden dolayı ilgili bölgenin bir radyoaktivite haritasının çıkarılması ve bilimsel açıdan değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; örnekleme yerleri, hesaplanan aktivite sonuçlarından bir radyasyon haritası elde edilebilecek ve değişik faktörler açısından yorumlanabilecek şekilde seçilmiştir. Belirlenmiş bölgelerden alınan su örnekleri, kaynatılmadan bir elektrik ocağı yardımıyla buharlaştırılmış ve sayıma hazır hale getirilmiştir. Daha sonra bu su numunelerinin saniyedeki sayım hızları, ZnS ve plastik sintilatörler kullanılarak Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı ile belirlenmiş, ilgili veriler kullanılarak her bir su numunesinin alfa ve beta radyasyon seviyesi hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin doğruluk dereceleri alfa ve beta radyasyon türüne göre, sintilasyon detektörü (NaI(Tl)), yarıiletken yüzey engelli silikon detektörü, Geiger Müller sayıcısı ve Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)'ndeki gaz orantılı sayıcılar ile de yapılarak pekiştirilmiştir. Diğer sayıcılarla yapılan sayım sonuçları, kullandığımız sistemden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğundan ayrıca verilmemiştir.

Aktivite değerleri; bölgenin jeolojik formasyonu, çıkarılan maden cevherleri, toprağın kil oranı, derinlik gibi radyoaktivite seviyesini değiştirebilen faktörler ve insan sağlığı açısından değerlendirilmiştir.

2. RADYOAKTİF PARÇACIKLAR ve RADYASYON

2.1. Radyoaktif Parçacıklar ve Madde İle Etkileşimi

Radyasyon iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan birincisi radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu iyonlaşma meydana gelip gelmemesine göre *İyonlaştırıcı* ve *İyonlaştırıcı Olmayan* radyasyonlardır. Diğer bir sınıflandırma ise radyasyonun dalga özelliği gösterip göstermemesine bağlı olarak yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmada radyasyonu *Partiküler Radyasyon* ve *Elektromanyetik Radyasyon* olarak incelemek mümkündür.

Şayet radyasyon bir hedef atom ile etkileşiyor ve bu etkileşme sonucunda çarpışma şiddetine bağlı olarak atomun elektronunu serbest hale geçirebiliyorsa yani, pozitif ve negatif elektrik yüklerine sahip bir iyon çifti oluşturabiliyorsa bu olayı gerçekleştirebilen radyasyon tiplerine iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir [Bilge, 1985].

İyonlaştırıcı radyasyon, bir ortama girdiğinde ortamda birincil ve ikincil iyonlaşmalar meydana getirir. Farklı iyonlaştırıcı radyasyon türlerinin meydana getirdiği iyonizasyon yoğunluğu da farklıdır. Bunun sonucu olarak, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, elektronlar, nötronlar, protonlar, X ve gama ışınları gibi farklı tip iyonlaştırıcı radyasyonların etkileşimde buldukları ortam içerisinde oluşturacakları iyonizasyon yoğunluğu da farklı olacaktır.

Madde ile etkileşmesinde iyonizasyon meydana getirmeyen radyasyonlara ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar denir ve bunlara örnek olarak kızılötesi (infrared) ve morötesi (ultraviolet) ışınlar verilebilir.

Belirli bir kütleyle sahip radyasyonlara ise partiküler radyasyonlar denir. Bu radyasyon türlerine örnek olarak alfa parçacıkları, beta parçacıkları, pozitronlar, nötronlar, protonlar, elektronlar, çekirdekaltı elementer parçacıklar ve hızlandırılmış ağır çekirdekler verilebilir.

Elektromanyetik radyasyonlar, dalga özelliği gösteren, ışık hızı ile hareket eden ve foton adı verilen enerji paketçiklerinden oluşmuş radyasyonlardır. X-ışınları, gama ışınları, kızılötesi ve morötesi ışınları bu radyasyon türüne örnek olarak verilebilir.

İyonlaştırıcı radyasyon grubuna giren yüklü parçacıklar, etkileşimde buldukları maddenin atomları ile Coulomb kuvveti çerçevesinde etkileşirler ve etkileştikleri atomun iyonlaşmasına neden olurlar. Bu tür iyonlaştırmaya sebep olan radyasyonlara ***Doğrudan İyonlaştırıcı Radyasyonlar*** denir. Alfa parçacıkları, beta parçacıkları, protonlar ve elektronlar bu tür radyasyonlara örnek olarak verilebilir.

İyonlaştırıcı radyasyon grubuna giren yüksüz parçacıklar ise etkileştikleri atomları, meydana gelen bazı fiziksel olaylar aracılığı ile dolaylı olarak iyonlaştırabilirler. Bu radyasyon türlerine ise ***Doğrudan İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar*** denir. Bu tür radyasyonlar arasında X-ışınları, gama ışınları ve nötronlar sayılabilir.

Radyasyonun madde ile etkileşmesi, radyasyon türüne göre farklılık gösterdiği gibi radyasyonun enerjisine de bağlıdır. Özetle radyasyonun madde ile etkileşmesinde hem radyasyon türü hem de enerjisi önemli bir rol oynar.

Radyasyonun madde ile etkileşmesi, hedef madde içerisinde bulunan atomun iyonlaşp iyonlaşmaması açısından incelenebildiği gibi, meydana gelen etkileşim olgusu açısından da ele alınabilir; bu durumda maddesel ortamlarda yayılan radyasyonun şiddetinin zayıflaması ***Soğurma*** ve ***Saçılma*** gibi fiziksel olaylar dahilinde açıklanabilmektedir.

Soğurma; radyasyonun, etkileşim esnasında enerjisinin tamamını etkileştiği ortama aktarmasıdır. Aktarılan bu enerji ısıya dönüşür ve madde tarafından soğurulur. Saçılma ise, radyasyonun hedef madde atomları ile çarpışarak yön değiştirmesidir. Bu olayların meydana gelmesinde radyasyonun cinsi ve enerjisi önemlidir. Bu nedenle her radyasyon türünün madde ile etkileşmesi farklılık göstermektedir.

2.2. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Herhangi bir radyasyon kaynağı, organizma içerisindeki hücrelerde iyonizasyon meydana getirerek zararlı biyolojik etkiler oluşturur. Bu etkilerin meydana gelmesini sağlayan radyasyon türünün o kadar önemi yoktur.

Radyasyonun canlılar üzerinde meydana getirdiği etkileri iki sınıfta toplamak mümkündür. Bunlar; bireyler üzerinde kısa süreli etkili olan ***Somatik*** zararlar ve genlerin

mutasyon sınıflarında değişiklik meydana getirerek gelecek nesillerin zarar görmesine sebep olan *Genetik* etkilerdir [Purdom, 1971; Göksel, 1973; Baarlı, 1977].

2.2.1. Somatik etkiler

Somatik zararlar, kısa süreli olarak alınan ağır radyasyon dozlarının meydana getirdiği şiddetli etkilerdir. Bir nükleer kaza sonucunda alınan ağır dozların canlılar üzerinde meydana getireceği zararlar somatik etkilere örnek olarak verilebilir [Purdom, 1971]. Normal olarak toplumda yaşayan bireylerin bu ağır dozları alma ihtimali çok düşük olduğundan, bu fertlerde somatik etkileri görmek hemen hemen mümkün değildir. Bunun yanında iyonize edici radyasyon kullanımının artması ile bireylerin uzun süreli olarak kronik radyasyon dozlarına maruz kalma ihtimali yükselmektedir. Kronik veya şiddetli (akut) radyasyon dozlarına maruz kalma ile meydana gelen etkiler direkt olarak alınan toplam radyasyon dozuyla ilgilidir. Böyle etkilerin canlı organizmalarda ömür kısalması, katarakt oluşması ve kanser meydana gelmesi gibi vakaları arttırdığı belirlenmiştir [Baarlı, 1977]. Bu tür radyasyonlar, iç organları etkilemesi ile organizmanın yaşama süresinin azalması, kötü huylu (habis) urların meydana gelmesi ve genetik değişikliklerin oluşması gibi vakaları ortaya çıkarmaktadır. Çevredeki diğer etkenler, radyasyona maruz kalma ile oluşan zararlara benzer zararlar meydana getirdiğinden, radyasyona maruz kalmanın etkileri ile bu etkilerin sebepleri arasındaki ilişkiyi karmaşık bir hale getirmektedir.

Radyasyonların biyolojik etkileri, insanların veya canlıların yaşamaları için gerekli temel bir birim olan hücrelere verdiği zararlardır. Bu biyolojik etkiler içeriden ve dışarıdan radyasyon tehlikeleri olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

2.2.1.1. Dahili (Internal) biyolojik etkiler

İçeriden ışınlama temelde, radyoaktif materyal vücut içerisine alındığı zaman canlı organizma içerisinde yaşayan hücrelere etki etmesi ve zarar vermesi şeklindedir. Bu tür etkilerin bazıları aşağıdaki gibidir:

- i)* Bir nükleer reaktörün biriken gazlarından yayılan radyoaktif materyaller veya nükleer patlamalar sonucu havadan yağın radyonüklidlerin solunması.
- ii)* Radyoaktif maddeler solunum yolu ile vücut içerisine alınabildikleri gibi yiyecekler vasıtası ile de alınabilirler. Yani, organizmanın aldığı besin maddelerinin radyoaktif olarak bulaşması.
- iii)* Radyoaktif materyallerin vücut içerisindeki deri veya dokular tarafından emilmesi.
- iv)* Radyoaktif maddelerin kesik veya zedeli olan deri ve cilt kısımlarından kana karışması ve radyasyon enerjisi ile yanlanma ömrüne bağılı olarak vücudun belirli kısımlarında zararlı etkiler meydana getirmesi [Purdom, 1971; Pope, 1989].

2.2.1.2. Harici (External) ışınlama

Harici radyasyon dozlarına maruz kalma, genellikle X veya gama radyasyonları tarafından meydana getirilir. Bu radyasyon türlerinin meydana getirdiğı zararlı etkiler tamamen birey tarafından emilen X veya gama fotonlarının dozajlarına bağılıdır.

2.2.2. Genetik etkiler

Genetik etkiler, canlıların üreme hücrelerinde bulunan genlerin mutasyon hızlarını değıştirir. Mutasyon hızındaki herhangi bir değışme organizma üzerinde zararlı etkiler meydana getirebilir. Genetik etkilerin oluşma şartları ve sonuçları şu şekilde sıralanabilir [Purdom, 1971; Baarlı, 1977]:

- i)* Zararlı bir etkinin oluşması için eşik dozu gerekli değıildir.
- ii)* Meydana gelen zarar kolay kolay tamir edilemez.
- iii)* Etkilerin birikerek yıllar sonra çoğalması mümkündür.
- iv)* Radyasyona maruz kalmış ve bunun sonucu olarak genetik zararlara uğramış kişilerin nesillerinde şekil bozukluklarının meydana gelme ihtimali çok yüksektir.

- v) Radyasyona maruz kalma ile genetik bozukluğa uğramış nesiller, mutasyona uğramış olarak kabul edilirler.
- vi) Radyasyon tarafından meydana getirilen mutasyonlar, insan soylarında her zaman meydana gelen değişimlerden farklı değildir.
- vii) Genetik etkiler yaşama süresini kısaltır, hastalıkları önemli derecede artırır, doğurganlığı azaltır ve özellikle gizlenmiş veya resesif etkileri artırır. Meydana gelen gizlenmiş etkiler ilk nesillerin doğurganlığını tamamen bitirir.

Bu etkilerin bazıları Hiroşima ve Nagasaki’de nükleer kazalara maruz kalan ve yaşamlarını sürdürebilen insanların çoğunda görülmüştür. NCRP (Ulusal Radyasyon Korunma Komisyonu, (ABD))’nin belirlediği standartlara göre 30 yaş civarında gebe kalabilmek için, insanların 10 Rem’den daha fazla radyasyon dozuna maruz kalmamaları gerekmektedir. Tablo 2.1, bir kişinin farklı radyasyon kaynaklarından aldığı yıllık radyasyon dozlarını göstermektedir [Purdum, 1971; Baarlı, 1977].

Tablo 2.1: Bir yıl boyunca insanların maruz kaldığı radyasyon dozları.

<i>Radyasyon Kaynakları</i>	<i>Radyasyon Dozu (rem/yıl)</i>
<i>Doğal Background</i>	
Kozmik Işınlr	0.03-0.07
Çevredeki Radyasyon	0.02-0.07
İçeriden Işınlamalar	0.02
Toplam (Yaklaşık Olarak)	0.1
<i>Teknolojik Radyasyonlar</i>	
Tıbbi X-ışınları Kaynakları	0.04-0.24
Çeşitli X-ışınları Kaynakları	0.01
Radyoaktif Yağışlar	0.002-0.015
Toplam (Yaklaşık olarak)	0.05-0.25
<i>Genel Toplam</i>	0.15-0.35

2.3. Radyoaktivite Ölçümler Birimleri

Radyasyonun canlılar üzerinde meydana getirdiği zararlı etkiler göz önünde bulundurulacak olursa, radyasyonun ölçülmesinin ve birimlendirilmesinin önemli olduğu

açıkça ortaya çıkmaktadır. Radyasyonun miktarı, direkt olarak ölçülememekle birlikte, radyasyonun bir ortam boyunca meydana getirdiği iyonizasyonlardan faydalanılarak dolaylı bir şekilde belirlenebilir. Radyasyon ölçümleme birimlerini *Aktivite Birimleri* ve *Doz Birimleri* olarak sınıflandırmak mümkündür.

2.3.1. Aktivite birimleri

Aktivite birimi *Becquerel* olup, saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilir [Yaşar, 1988; Bilge ve Tuğrul, 1990; Tuğrul, 1990]. Genelde kullanılan aktivite birimi *Curie*'dir ve saniyede 3.7×10^{10} parçalanma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanır. Orijinal olarak Curie birimi 1 gram radyumla dengede bulunan radon (^{222}Rn) gazında saniyede meydana gelen bozunma sayısı olarak tarif edilir [Purdum, 1971]. Aynı zamanda bir Curie 3.7×10^{10} Becquerel'e eşittir. Curie çok büyük bir birim olduğundan dolayı genelde Curie'nin askatları olan μCi veya pCi kullanılır. Curie, genelde aktivitesi büyük olan, Becquerel ise aktivitesi küçük olan radyasyon kaynakları için kullanılırlar. Dakikadaki sayım miktarı (cpm), genelde laboratuvar ölçümlerinde kullanılan bir aktivite birimidir.

2.3.2. Doz birimleri

Doz birimlerini *Işınlama Doz Birimi*, *Absorplanmış Doz Birimi* ve *Biyolojik Doz Birimi* olarak üç gruba ayırmak mümkündür:

i) Işınlama doz birimi

Röntgen, X veya gama radyasyonlarının niceliklerini belirlemek için kullanılır ve şu şekilde tarif edilir. Bir cm^3 hava içerisinde bir elektrostatik birimlik elektrik yükü taşıyan pozitif veya negatif yüklü iyonlar meydana getiren X veya gama ışınları olarak tanımlanır [Göksel, 1973].

ii) *Absorplanmış doz birimi*

Herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun absorplanmış dozu iyonlaştırıcı parçacık tarafından ilgilenilen noktada birim kütledeki maddeye verilen enerji miktarıdır. Absorplanmış doz birimi **Rad** olup, gram başına 100 erg'lik bir enerji absorpsiyonu meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Son zamanlarda kullanılan absorplanmış doz birimi **Gray** ise 100 Rad'a eşittir [Göksel, 1973; Purdom, 1971].

iii) *Biyolojik doz birimi*

İyonize edebilme özelliği olan radyasyonların biyolojik etkileri, radyasyona maruz kalan vücut kısmı, radyasyonun türü, yayılma derinliği gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle farklı radyasyon türleri için Relatif Biyolojik Etki (RBE) olarak tanımlanan bir faktör kullanılmaktadır. RBE değerleri çeşitli radyasyon türleri için biyolojik deneylerden elde edilmiştir. Bu RBE değerleri tam sayı olmadıklarından pratik olarak kullanılmaları çok güçtür. Bu nedenle absorplanmış doz birimi Rad'ı biyolojik doz birimi olan Rem'e dönüştürürken RBE değerleri yerine tam sayıya çevrilmiş Kalite Faktörleri kullanılır [Baarlı, 1977]. Biyolojik doz birimi **Rem**, radyasyonun cinsine bağlı olmak kaydıyla canlılar tarafından absorplanan radyasyon miktarıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Rem} = \text{K.F.} \times \text{Rad} \quad (2.1)$$

Burada, K.F. Kalite Faktörü'dür ve canlı üzerine etki eden radyasyonun cinsine bağlı olan bir tam sayıdır. Çeşitli radyasyon türleri için Kalite Faktörleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Çeşitli radyasyon türleri için Kalite Faktörleri [Bilge ve Tuğrul, 1990; Göksel, 1973; Tuğrul, 1990].

<i>Radyasyon Türü</i>	<i>Kalite Faktörü (K.F.)</i>
X veya Gama Işınları	1
Beta Parçacıkları	1
Alfa Parçacıkları	10
Hızlı Nötronlar	10
Ağır Çekirdekler	20

3. RADYASYON DETEKSIYON YÖNTEMLERİ

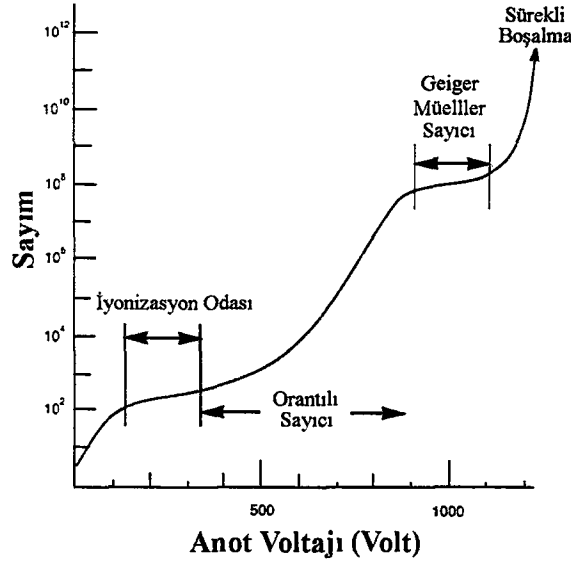
Radyasyon deteksiyonunda genel olarak kullanılan detektör çeşitlerini üç grup halinde incelemek mümkündür. Bunlar; Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler, Sintilasyon Detektörleri ve Yarıiletken Detektörlerdir.

Bir parçacık detektörü seçilirken; detektörün uygulama çözünürlüğü, verimi, ilgili deneyi yapmaya uygunluğu ve amaca uygun olarak X veya gama ışınlarının enerji değerleri gibi önemli noktalara dikkat edilmelidir.

3.1. Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler

Gaz Doldurulmuş Tüp Detektörler, en basit şekli ile gaz doldurulmuş bir metal oda ve pozitif biyazlanmış bir anot telinden oluşmuştur. Bir foton, metal oda içerisinde dolu bulunan gazı boydan boya geçerken serbest elektronlar ve pozitif iyonlar meydana getirir. Elektronlar, oluşan elektrik alan etkisiyle anot teline doğru çekilirler ve anot telinde toplanan bu elektronlar bir elektrik pulsu meydana getirirler. Zayıf anot voltajında elektronlar iyonlar ile tekrar birleşebilirler. Birleşme olayı iyonların yüksek bir yoğunluğu için de meydana gelebilir. Uygun bir yüksek voltajda, yakınlardaki bütün elektronlar toplanırlar. Bu durumda detektör bir *İyonizasyon Odası* olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda anoda doğru hareket eden elektronlar diğer gaz atomlarını iyonize ederler ve böylece daha çok elektron meydana gelmiş olur. Bu durumda detektör bir *Orantılı Sayıcı* olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda elektronların sayısında daha fazla çoğalma olur ve anotta toplanan elektronların sayısı başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız hale gelir. Bu esnada ise detektör, *Geiger Müller* sayıcısı olarak bilinir ve bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Detektöre çok daha fazla voltaj uygulanırsa, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir.

Farklı voltaj bölgeleri Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Gerçek voltajlar bir detektörden diğerine geniş bir şekilde değişebilir. Bu voltaj değişimi detektör geometrisi, gaz türü ve gaz basıncına bağlıdır.



Şekil 3.1: Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi [Canberra, 1997].

3.1.1. İyonizasyon odaları

İyonizasyon odalarının çok zayıf sinyal çıkışına sahip olmaları, bu detektörlerin sadece gama ışınlarının deteksiyonu için kullanılmasını zorlaştırır. İyonizasyon odaları, çok büyük akım meydana getiren radyoaktif kaynakların deteksiyonunda kullanılırlar. İyonizasyon ölçümleri tam olarak, çıkışı kaydetmek için kullanılan bir elektrometre yardımıyla yapılabilir [Melissinos, 1966].

3.1.2. Orantılı sayıcılar

Orantılı sayıcılar, uygun enerji çözünürlüğü gerekli olduğu durumlarda X-ışınları ölçümleri için sık sık kullanılırlar. Orantılı sayıcılar farklı hacim ve şekillerde üretilebilirler. Bu tip sayıcılar genelde görünüş olarak silindir şeklindedirler ve pencereleri düz silindirdir. Bunlar normal kaliteli detektörlerdir ve gaz akışı prensibine uygun olarak çalışırlar. Bu tür detektörler ince bir berilyum pencereye sahip olabildikleri gibi penceresiz de olabilirler. Bir detektör tipik olarak, efektif pencere hacmi, gaz iyonlaşma uzunluğu, uygulanan voltaj hızı ve çözünürlük gibi fiziksel özelliklerine

bakılarak belirlenir. Tipik olarak çözünürlükler %16-20 FWHM (Full Width at Half Maximum) değerindedir.

Bu sayıcılarda uygulama voltajı geometriye bağlı olduğu kadar detektör içerisinde bulunan gaza da bağlıdır. X-ışınları için genelde soygazlar kullanılır. Soygazlar genelde ksenon, kripton, neon ve argon gibi gazlardır ve dışarıya karşı nötr olan soygaz atomlarından oluşurlar. Ksenon ve kripton daha iyi verim elde edilmesi için yüksek enerjili X-ışınlarının deteksiyonlarında kullanılırlarken, neon gazı düşük enerjili X-ışınlarının deteksiyonunda kullanılır. Bu tip detektörlerde bazen gaz karışımları da kullanılabilir. Bu gaz karışımına örnek olarak P-10 gazı verilebilir. P-10 gazı, %90 argon gazı ile %10 metan gazının karışımından oluşur. Gaz basınçları tipik olarak 1 atmosferdir [Canberra, 1997; Anderson, 1989; Leo, 1987].

3.1.3. Geiger Müller Sayıcıları

Bir Geiger Müller sayıcısı, çıkışında büyük bir voltaj pulsu meydana getirir. Bu nedenle bu tip detektörlerde sinyal yükseltme işlemine gerek yoktur. Geiger Müller sayıcılarında enerji ölçümleri yapılamamaktadır. Bunun sebebi ise çıkış pulsu yüksekliğinin başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız olmasındandır.

Geiger Müller sayıcıları farklı boyutlarda olabilmekte ve kullanılabilir. Genel olarak bu detektörler ince bir mika pencere ile birlikte kullanılırlar. Detektöre uygulanması gereken voltaj plato bölgesi sınırları içerisinde ve bu plato eğrisinin eğimi yaklaşık 2 ile 5 derece arasında değişim göstermektedir. Plato bölgesi, anot voltajının bir fonksiyonu olarak sayım hızının belirlenmesi ile bulunur.

İyonizasyondan dolayı meydana gelen boşalma genellikle detektör tarafından bastırılır. Bu boşalma, asalgazla doldurulan detektöre küçük bir miktar halojen katılması ile yok edilebilir. Ayrıca anot ve beyaz kaynağı arasındaki büyük bir direnç üzerine düşen voltajın, plato bölgesi sınırları içerisinde kalan bir değere ayarlanması ile de boşalmanın meydana gelmesi engellenebilir [Anderson, 1989].

Bir Geiger Müller sayıcısı her pulstan sonra boşalma tamamlanıncaya kadar sayım yapamaz. Geiger Müller tüpünün tepki vermediği bu süreye ölü zaman aralığı

denir ve 100 mikrosaniye civarındadır. Dolayısıyla bu tür detektörler zayıf sayım hızı olan uygulamalarda yetersiz kalırlar veya verimsizdirler.

3.2. Sintilasyon Detektörleri

Gama ışınının bir sintilatör ile etkileşmesinden bir ışık pulsu meydana gelir ve bu ışık pulsu bir fotoçoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik pulslarına dönüştürülür. Fotoçoğaltıcı tüp bir fotokatot, bir elektron odaklayıcı ve 10 adet veya daha çok Dinot'tan meydana gelmiştir. Fotoçoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Anot ve dinotlar tüp tabanında bulunan fişlere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtası ile biyazlanırlar. Bir Sintilasyon Detektörü genel olarak fotoçoğaltıcı tüp ve sintilatör şeklinde başlıca iki kısma ayrılabilir [Canberra, 1997; Knoll, 1979].

İyi bir detektörün sintilatör materyalinde aranılan özellikler, şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve büyük ışık çıkışına sahip olma şeklinde sıralanabilir. Relatif olarak birkaç materyal bu tür detektörler için iyi özelliklere sahiptir. Bu yüzden genellikle NaI ve CsI kristalleri içerisinde aktive edilmiş Tolyum kullanılır. NaI gama deteksiyonu için kullanışlı bir materyaldir çünkü ekonomik olmasının yanında çok iyi bir şekilde gama çözünürlüğüne de sahiptir. NaI(Tl) kristalleri %100'lük verimle gamaları algırlar. Bununla beraber plastik sintilatörler daha fazla ışık pulsu azalmasına sahiptirler ve zamanlama uygulamalarında kullanılırlar. Bunun yanında bu tip sintilatörler iyi enerji çözünürlüğüne sahip değildir [Knoll, 1979; Anderson, 1989].

3.2.1. NaI (Tl) sintilatörleri

NaI sintilatöründe bulunan İyot'un atom numarasının yüksek olması, gama ışınlarının deteksiyonunda yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır. Genellikle Tolyum'un küçük bir miktarı kristal içerisine eklenerek aktive edilir. Oluşan bu yapı NaI(Tl) kristali olarak isimlendirilir. Bu detektörlerin en iyi çözünürlüğü 3x3

boyutlarında bir kristal kullanılarak ^{137}Cs radyoaktif kaynağından alınan 662 keV enerjili gama ışınları için %7.5 ile %8.5 arasında değişir. Bu kristal daha küçük ve daha büyük boyutlarda kullanıldığında bu kadar iyi bir çözünürlük elde etmek mümkün değildir. NaI detektörlerinin birçok türü kullanışlıdır. Bu tür kristaller, zayıf numunelerin 4π 'deki sayımlarını en iyi şekilde yapacak bir biçimde üretilmektedir.

NaI kristalindeki ışık azalma sabiti yaklaşık olarak 0.25 μs civarındadır. Bunun yanında tipik bir yüke hassas ön yükselteçten 0.5 saniye civarında yükselme zamanına sahip çıkış pulsları elde edilir. Bu sebepten dolayı NaI detektörleri yüksek aktiviteli ölçümler için plastik detektörler kadar iyi değildirler, çünkü bu tür ölçümlerde kısa çözümleme zamanına ihtiyaç vardır [Anderson, 1989; Canberra, 1997; Leo,1987].

3.2.2. *ZnS sintilatörleri*

Gümüş ile aktive edilmiş Çinko Sülfat eski inorganik sintilatörlerden birisidir. Bu sintilatörler NaI(Tl) sintilatörleri ile karşılaştırıldığı zaman çok yüksek bir sintilasyon verimine sahiptirler. Bunun yanında bu tip sintilatörler bir polikristal tozu gibi kullanılırlar. Bunun sonucu olarak bu sintilatörlerin kullanımı, alfa parçacıkları ve diğer ağır iyon deteksiyonlarında kullanılmış olan ince ekranlar için sınırlandırılmıştır. Kalınlık 25 mg/cm^2 'den büyük olduğu zaman kendi kendilerine parıltı meydana getirme ihtimalleri olduğundan kullanılmayabilirler [Knoll, 1979].

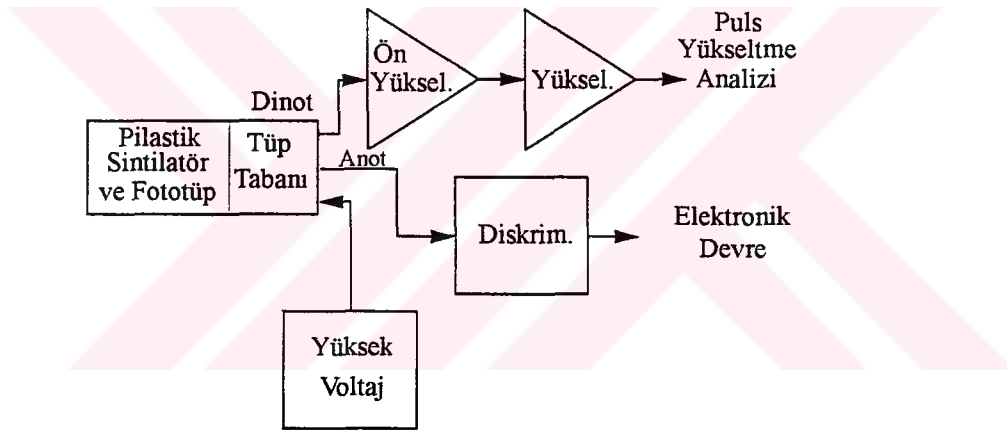
3.2.3. *Plastik sintilatörler*

Eğer bir organik sintilatör bir çözücü içerisinde çözünürse, bir katı çözeltinin eşdeğeri elde edilmiş olur. Buna örnek olarak styrene monomerden meydana gelmiş bir çözücüde organik bir sintilatörün çözülmesi verilebilir. Styrene daha sonra bir katı plastik şeklinde polimerize olur. Bu tip sintilatörlerin şekillendirilmesi ve üretimi kolaydır. Bu yüzden plastik sintilatörler organik sintilatörlerin içerisinde en kullanışlı

olanlardan birisidir. Bu tip sintilatörlerin puls şekillendirme diskriminasyonu için üretilen diğer sintilatörler kadar iyi ve hızlı bir azalma zamanları vardır.

Plastik sintilatörler genellikle nötron deteksiyonlarında, yüklü parçacık deteksiyonlarında ve *Fast Timing* uygulamalarında kullanılırlar. Bu uygulamalarda kullanılabilmesi için çok büyük boyutlarda olmaları veya doğal sert plastik özelliklerini sağlamaları gerekmektedir. Hızlı fotoçoğaltıcı tüplere bağlanmış plastik sintilatörler ile nano saniye civarında yükselme zamanına ulaşmak mümkündür.

Şekil 3.2’de bir plastik sintilatör detektörünün elektroniği görülmektedir. Ayrı çıkışlar genellikle zamanlama için kullanılmışlardır. Dinot’un pozitif çıkışı bir ön yükseltece ve oradan da enerji analizi için yükseltece, daha büyük bir negatif çıkış için ise bir hızlı diskriminatöre bağlanmıştır.



Şekil 3.2: Bir plastik sintilatör detektörünün elektroniği [Canberra, 1997; Anderson, 1989].

3.2.4. Sıvı sintilatörler

İki beta yayınlı izotop olan Trityum ve ^{14}C çok zayıf enerjili beta ışınlarına sahiptirler. Katı sintilatörler ile detekte edilemeyecek kadar düşük enerjilere sahip olan bu ışınların enerjileri Trityum için 19 keV ve ^{14}C için ise 156 keV'dur. Sıvı sintilatör tekniğinde örnek ile karıştırılmış bir sıvı sintilatör kullanılır ve uygun sayıda fotoçoğaltıcı tüp kullanılması ile ışık pulsları gözlenir. Böyle bir sayıcının 4π

geometrisindeki verimi, kaynak ile detektör arasında herhangi bir zayıflatıcı olmaksızın hemen hemen %100'dür. Puls metodu ile fotoçoğaltıcı tüp çıkışıdaki kozmik ışınlar ayırdedilebilir. Bu olay isteğe bağlı olarak alfa ve beta parçacıkları için de gerçekleştirilebilir.

Sıvı sintilasyon sayıcılarının zayıf seviyeli alfa ve beta ölçümlerinde kullanılmasının sebebi, bu detektörlerin yüksek derecede hassas olmaları ve örnek hazırlamada araştırmacıya avantajlar sağlamasıdır.

3.3. Yarıiletken Detektörler

Yarıiletken bir materyal, iletkenlik veya yarıiletkenlik özelliği gösterebilir. Katıhal elektroniğinde genelde yarıiletken materyaller kullanılmaktadır. Yarıiletkenlerin detektör yapımında sıkça kullanılmasının yanısıra bu alanda katı sintilatörler de geniş bir şekilde kullanılırlar. Yarıiletken materyallerin detektör yapımında avantajları çoktur. Yarıiletken materyallerden özellikle yasak enerji aralığı 1 ile 5 eV olan tek kristaller detektör yapımında kullanışlıdır. Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarıiletkenler IV A grubu elementi olan Silisyum ve Germanyum'dur. Bununla beraber diğer bazı yarıiletkenlerin kullanılması ile ilgili çeşitli uygulamalar ve araştırmalar yapılmaktadır. Tablo 3.1, detektör materyali olarak kullanılan yarıiletkenlerin özelliklerini tanımlayabilecek bazı karakteristikleri göstermektedir.

PIN yapısındaki yarıiletken detektörlerde I bölgesi diyot üzerine ters bir biyazlama uygulanması ile yük taşıyıcılarının azalması sonucunda meydana gelir. Bu ara bölgeye fotonlar düşürüldüğü zaman yük taşıyıcıları (elektronlar ve holler), uygulanan elektrik alandan dolayı ayrı ayrı elektrotlarda toplanırlar. Sonuçta elektrotlar tarafından toplanan yükler, yüke hassas olan bir ön yükselteç ile çoğaltılırlar ve orijinal foton enerjisine orantılı genlikte bir voltaj pulsuna dönüştürülürler [Canberra, 1997; Leo, 1987].

Sayım verimi, materyalin saflığına bağlı iken ara bölgenin genişliği net elektriksel safsızlık konsantrasyonu ile ters orantılıdır. Dolayısıyla yüksek enerjili

Tablo 3.1: Detektör materyali olarak kullanılan bazı yarıiletkenlerin karakteristikleri [Canberra, 1997].

<i>Materyal</i>	<i>Atom Numarası (Z)</i>	<i>Yasak Enerji Aralığı (eV)</i>	<i>Enerji/e-h çifti (eV)</i>
Si	14	1.12	3.61
Ge	32	0.74	2.98
CdTe	48-52	1.47	4.43
HgI ₂	80-53	2.13	6.50
GaAs	31-33	1.43	5.20

fotonlar için yüksek sayım verimi büyük boyutlarda (hacımlarda) çok saf materyal kullanılarak sağlanabilir. Silisyum ve Germanyum gibi yarıiletkenlere safsızlık atomlarının katılanması ile P tipi ve N tipi yarıiletkenlerin elde edilmesi mümkündür. Bu teknik Si(Li) X-ışını detektörlerinin üretiminde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Tablo 3.1'deki yasak enerji aralıklarının darlığı, materyalin sıcaklık hassaslığı ile yakından ilgilidir. Bu özelliklerden faydalanılarak bu materyallerin detektör olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek pratik olarak mümkündür. Germanyum detektörlerinin maksimum çalışma sıcaklıkları Silisyumdan yapılmış detektörlere nazaran çok daha düşüktür. Bu nedenle Germanyum ve Silisyum detektörlerinin her ikisini de termal yük taşıyıcı üretimini uygun bir seviyeye düşürebilmek için soğuk tutmak gereklidir. Bu tür detektörlerin oda sıcaklığında çalıştırılması, detektörde elektronik gürültü meydana getireceğinden uygun değildir. Bunların sonucunda oda sıcaklığında çalıştırılan Germanyum ve Silisyum detektörleri çok verimsiz olurlar [Doğru, 1993]. Detektörlerin soğutulabilmesi için genellikle sıvı azot kullanılır, fakat bunun yanısıra elektronik soğutma sistemlerindeki gelişmeler birçok detektör uygulamalarında uygun alternatif soğutmaların yapılabilmesini de sağlamıştır [Canberra, 1997].

3.3.1. Detektör yapısı

İlk yarıiletken foton detektörleri basit ve düzlemsel bir yapıya sahip olan *Yüzey Engelli Silikon* (YES) detektörleridir. Bu detektörlerin sızıntı akımlarını düşürmek için Si(Li) detektörleri geliştirilmiş ve böylece detektörün enerji çözünürlüğü artırılmıştır.

Koaksiyel Ge(Li) detektörlerinin detektör hacmi artırılmış ve böylece verimi yükseltilmiştir. Detektör veriminin artmış olduğu bu durumda ara bölge genişliği deteksiyon için çok uygundur ve kapasitans küçüktür.

3.3.2. Detektör performansı

Yarıiletken detektörler birçok sebepten dolayı diğer radyasyon detektörlerinden daha yüksek enerji çözünürlüğüne sahiptirler ve bu nedenle çok tercih edilirler. Çözünürlüğü iyi olan bir detektör, aynı foton enerjisinde diğer detektörlere göre daha fazla çıkış sinyaline sahiptir. Germanyumda meydana gelen yük taşıyıcılarının sayısı (3 eV/e-h çifti); gaz detektörlerinden bir, sintilasyon detektörlerinden iki kat daha büyüktür. Tablo 3.2’de farklı detektör türleri için enerji çözünürlükleri verilmiştir.

Tablo 3.2: Farklı detektör türleri için enerji çözünürlükleri [Canberra, 1997].

<i>Enerji (keV)</i>	<i>Detektör Tipi</i>					
	Orantılı	X-Işını NaI(Tl)	3x3 NaI(Tl)	Si(Li)	Düzlemsel Ge	Koaksiyel Ge
5.9	1.2	3.0	---	0.16	0.18	---
1.22	---	12.0	12.0	---	0.5	0.8
1.332	---	---	60	---	---	1.8

Düşük enerjilerde detektör verimi deplasyon bölgesinin bir fonksiyonudur. Bunun yanısıra yüksek enerjilerdeki sayım verimi, toplam aktif detektör hacmi veya boyutu ile farklı oranlarda etkilenebilir [Canberra, 1997].

3.4. Yüklü Parçacıkların Deteksiyonu

3.4.1. Silikon yüklü parçacık detektörleri

Silikondan yapılmış yüklü parçacık detektörleri bir PIN diyot yapısındadır. I bölgesi uygulanan ters biyazlama ile şekillendirilir. Yüklenmiş parçacıkların detektör üzerine düşürülmesi ile oluşan elektron ve hol çiftleri biyazlanmadan dolayı ortamda meydana gelen elektrik alan vasıtası ile toplanırlar. Silikonun öz direncinin küçük, biyaz voltajının da yeterince büyük bir ara bölge oluşturmaya yetecek kadar yüksek olması gerekmektedir. Yüzey engelli detektörler bu yapıya örnek olarak verilebilir [D'Auria ve Smith, 1996].

Pasiflendirilmiş Aşılınmış Düzlemsel Silikon (Passivated Implanted Planar Silicon) olarak isimlendirilen ve kısaca PIPS şeklinde gösterilen detektör, yüklü parçacık detektörlerinin modern bir çeşididir. Bu tür detektörler yüzey engelli kontaklardan ziyade aşılınmış olarak kullanılırlar. Bu tip bir detektör yüzey engelli bir detektöre göre daha yüksek engelli ve daha güvenilirdir.

Eklem detektörlerde N tipi bölgede bulunan elektronların ve P tipi bölgedeki hollerin itilmesinden dolayı bir ara bölge meydana gelir. Uygulanan bir ters biyaz ile bu bölge genişler ve bu genişleme detektör boyutları ile yakından ilgilidir. Eklem genişlemesi kırılma voltajı limitine kadardır. Kullanılan detektörlerde bu ara bölgenin genişliği yaklaşık olarak 100-700 μm arasındadır.

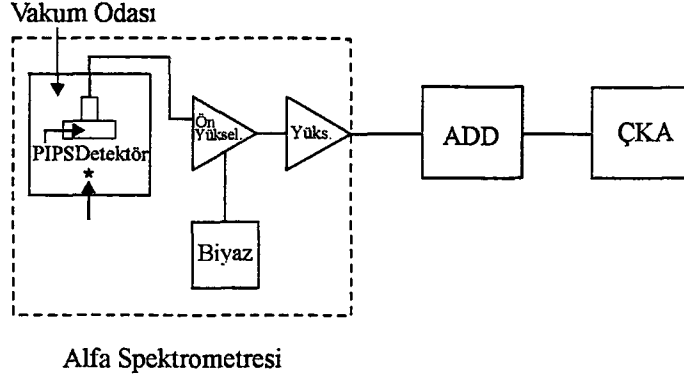
Detektörlerin özellikleri; yüzey bölgesi, ara bölgenin genişliğine bağlı olarak alfa ve beta parçacıklarının çözünürlüğü gibi terimlerle belirlenir. Çözünürlük önemli bir oranda detektör hacmine bağlıdır. Bunun sonucu olarak küçük hacimli detektörlerde en iyi çözünürlük elde edilir. Tipik olarak silikon detektörlerde alfa çözünürlüğü 12-35

keV, beta çözünürlüğü ise 6-30 keV arasındadır. Genel olarak uygulamalarda 25-5000 mm² yüzey alanlı detektörler kullanılırken, bazı uygulamalarda farklı geometrilere ve daha büyük alana sahip detektörler de kullanılabilir. Bu durumda PIPS tipi detektörlerin kullanılabilirliği azalır [Canberra, 1997; Williams vd., 1962]. Tablo 3.3'de değişik genişlikteki ara bölgeler için ölçülmüş farklı parçacıkların enerjileri görülmektedir. İnce pencereye sahip detektörler alfa parçacıklarının deteksiyonu için çok idealdir, fakat bu özelliğe sahip olan detektörlerde zayıf enerjili beta parçacıklarının pencere tarafından yutulma ihtimali de vardır. Bununla beraber beta parçacıklarının bu tür detektörlerde keskin pikler meydana getirmesi de söz konusudur.

Parçacık iyonizasyonu sonucu oluşan yükler çok küçük bir gerilim değerine karşılık geldiğinden orta derecede bir yükseltme işlemine gerek duyulur. Bu nedenle sinyal elde edebilmek için yüke hassas bir ön yükselteç kullanılır. Şekil 3.3, tek girişli alfa spektroskopisi uygulamalarında kullanılan elektronik dizaynları göstermektedir. Bu şekilde havadaki enerji kaybını önlemek için numune ve detektör bir vakum odası içerisine konulmuştur.

Tablo 3.3: PIPS detektörünün ara bölge genişliği ve parçacık enerjisi [Canberra, 1997].

<i>Ara Bölge Genişliği</i> (μm)	<i>Maksimum Parçacık Enerjisi</i>		
	<i>Elektron</i>	<i>Proton</i>	<i>Alfa</i>
100	0.15	7	15
300	0.31	15	55
500	0.45	21	85
700	0.52	27	105
1000	0.73	33	130



Şekil 3.3: Tek girişli alfa spektroskopisinde kullanılan elektronik dizaynlar.

3.5. Detektör Verimi

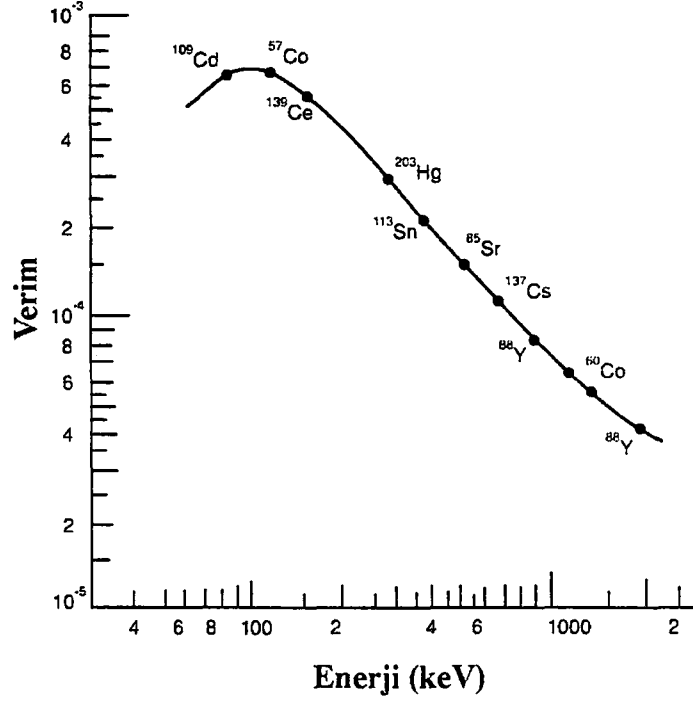
Bir detektörün verimi, aktivitesi bilinen bir kaynaktan çıkan radyasyonun meydana getirdiği pulsların ölçülmesi ile bulunur. Verim, radyasyon tipine göre ayrı ayrı hesaplanabilir. Örnek olarak gama detektörleri için aşağıda belirtilen birkaç değişik verimden bahsedilebilir.

Mutlak Verim: Detektör tarafından sayılmış gama ışınları sayısının kaynak tarafından bütün doğrultularda yayınlanan gama ışınları sayısına oranıdır.

Esas Verim: Detektör tarafından alınan puls sayısının detektöre çarpan gama ışınlarının sayısına oranıdır.

Relatif Verim: Bir detektörün başka bir detektöre göre verimidir.

Tam Enerji Pik (Fotopik) Verimi: Gama ışınlarının herhangi bir hacmindaki bir pulsundan ziyade sadece meydana gelen Tam Enerji Pik pulsları için verimdir. Detektörün kullanışlı olabilmesi için gama ışını enerjilerinin büyük bir kısmını absorplaması gereklidir. Bu özellik, yüksek Z'li detektör materyalinin seçilmesi veya uygun hacimli bir detektörün kullanılması ile detektöre kazandırılır. Şekil 3.4'de bir germanyum detektörü için Tam Enerji Pik verim eğrisinin bir örneği görülmektedir.



Şekil 3.4: Tam Enerji Pik verim eğrisi [Canberra, 1997].

3.6. Deteksiyon Verimi

Bütün radyasyon detektörleri aktif alanlarına gelerek etkileşen radyasyonun her bir tanesi için bir çıkış pulsu oluşturur. Başlıca yüklü parçacıklar olan alfa ve beta parçacıkları iyonizasyon formunda etkileşirler. Parçacık uygun bir mesafede yol aldığı zaman şayet gürültü kaynaklarından daha yüksek seviyede puls meydana getirebiliyorsa, parçacığın meydana getirdiği bu puls sayıcılar tarafından kaydedilebilir. Böylece detektör, önüne bırakılan ve detektörün aktif hacmi ile etkileşen her alfa ve beta parçacığını detekte edebilecektir. Bu durumda detektörün % 100'lük bir sayım verimine sahip olduğu söylenebilir [Knoll, 1979; Beaumont vd., 1992].

Diğer taraftan yüksüz radyasyonlar, örneğin gama ışınları ve nötronlar deteksiyon meydana gelmeden önce detektör içerisinde önemli etkileşmelerde bulunurlar. Çünkü bu radyasyonlar etkileşerek uzun mesafeler katedebilirler. Bundan dolayı detektörlerin verimi % 100'den daha az olur. Bu nedenle kullanılan detektörün

veriminin belirlenmesi gerekir. Detektör verimi sayılmış pulsların sayısı ve detektör üzerine gelen fotonlar veya nötronların sayısı ile ilişkilidir.

Detektör verimini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar mutlak (absolute) ve asıl (intrinsic) verimlerdir. Mutlak verim aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\varepsilon_{abs} = \frac{\text{Detektör Tarafından Kaydedilen Pulsların Sayısı}}{\text{Kaynak Tarafından Yayınlanmış Olan Radyoaktif Parçacık Sayısı}} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) katı açığı içermez. Bu iki verim izotropik kaynaklar için $\varepsilon_{int} = \varepsilon_{abs} 4\pi/\Omega$ olarak basit bir şekilde ifade edilebilir. Bu denklemdeki Ω detektörün katı açısıdır. Bir detektörün gerçek verimi; detektör materyali, radyasyon enerjisi ve gelen radyasyon doğrultusundaki detektörün fiziksel kalınlığı gibi özelliklere bağlıdır [Taylor, 1963; Knoll, 1979].

Detektör ile kaynak arasındaki mesafenin göz ardı edilmesinin sebebi, detektöre doğru gelen radyasyonun ortalama yol uzunluğunun değişebilmesidir. Sayım verimleri, kaydedilmiş sonuçların doğallığı ile de sınıflandırılabilir. Eğer bütün pulsların detektörden meydana geldiği kabul edilirse, bu durumda sayım verimi yaklaşık olarak toplam verim gibi düşünülebilir. Pik veriminin toplam verime oranı r ile gösterilir ve denklem (3.2)'deki gibi ifade edilir.

$$r = \frac{\varepsilon_{pik}}{\varepsilon_{top}} \quad (3.2)$$

Sonuç olarak, bir detektörün verimi bahsedilen kriterlerin her ikisine uygun şekilde tanımlanabilir. Verimi bilinen bir detektör bir radyoaktif kaynağın mutlak aktivitesini ölçmek için kullanılabilir. Gerçek pik verimi (ε_{ip}), bilinen bir detektör spektrumundaki bütün enerji piki altındaki N sonuçlarını kaydetmek için kullanılabilir.

Eğer radyasyonun izotropik olarak yayıldığı ve detektör ile kaynak arasında alınmış olan bölgenin değişmediği kabul edilirse, ölçüm periyodu boyunca kaynak tarafından yayımlanan radyasyon parçacık sayısı S şu şekilde verilir:

$$S = N \frac{4\pi}{\epsilon_{ip}\Omega} \quad (3.3)$$

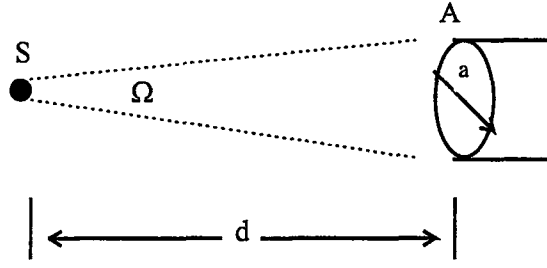
Denklem (3.3)'de Ω katı açıdır. Katı açı detektör yüzeyi üzerindeki bir integral ile tanımlanır ve şu şekilde formüle edilir [Knoll, 1979]:

$$\Omega = \int_A \frac{\cos\alpha}{r^2} dA \quad (3.4)$$

Bu formülde r , kaynak ile bir yüzey elemanı olan dA arasındaki mesafedir. α ise kaynak doğrultusu ve onun normali arasındaki açıdır. Eğer kaynağın hacmi önemli değilse, o zaman bir ikinci integrasyon, kaynağın bütün hacim elemanları üzerinden dışarıya taşınmış olacaktır. Silindirik yapıda olan bir detektörün x eksenini boyunca yerleşmiş olan nokta kaynak için katı açı şu şekilde verilir:

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'deki kaynak-detektör mesafesi d ve detektör yarıçapı a şekil 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.5: Nokta kaynak ve detektör sistemi.

3.7. Detektör Çözünürlüğü

Çözünürlük, belirli bir enerjideki tek bir enerji pikinin genişliğinin (FWHM) bir ölçümüdür. Germanyum detektörlerinde tam olarak keV mertebesinde tanımlanır, Sodyum İyodür detektörlerinde ise herhangi bir noktadaki enerjinin yüzdesi olarak ifade edilir. Eğer sistem çok iyi (düşük) bir çözünürlüğe sahip ise elde edilen spektrum içerisindeki piklerin daha iyi ayrışması mümkün olur.

3.8. Temel Sayım Sistemleri

3.8.1. Puls elektronığı

Nükleer elektronik endüstrisi sinyal tanımlamaları, güç kaynağı voltajları ve temel nükleer modüllerin (NIM) fiziksel boyutları ile standartlandırılmıştır. Standartlandırma, değişik nükleer modüllerin kullanılması ile sağlanır. Dolayısıyla nükleer sayım sistemlerinin sayım uygulamaları değişme gösterir.

Temel elektronik prensipleri, elemanları ve konfigürasyonları ortak nükleer uygulamaların çözümlerinde önemlidir. Bu nükleer uygulamalar aşağıda belirtilmiştir.

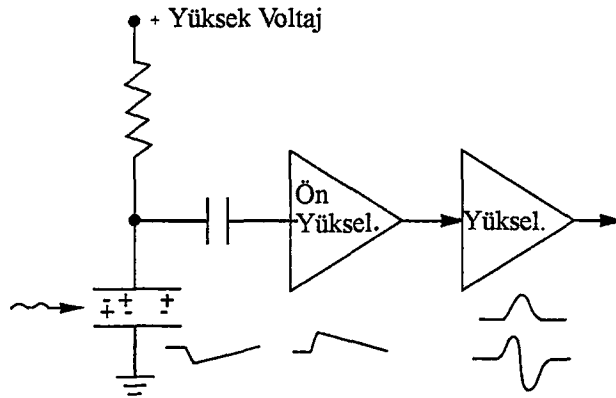
3.8.1.1. Ön yükselteçler ve yükselteçler

Birçok detektör, üzerinde yük biriktiren bir kapasitör gibi davranır (Şekil 3.6). Detektöre bir beyaz voltajının uygulanması ile bir elektrik alan meydana gelir. Bu elektrik alanın etkisi ile yük taşıyıcıları hareket ederler ve toplanırlar. Yük toplanması süresince küçük bir akım akışı olur ve beyaz direnci üzerine bir puls voltajı düşer.

Ön yükselteç bir kapasitör ile yüksek voltajdan izole edilmiştir. Ön yükselteç çıkış pulsunun yükselme zamanı ve yüklerin toplanma zamanı ile yakından ilgilidir. Bunun yanında ön yükseltecin çıkış pulsunun azalma zamanı bu yükseltecin RC zaman sabitinin bir karakteristiğidir. Azalma zamanı genelde 50 mikrosaniye civarında oluyor iken yükselme zamanı birkaç nanosaniyeden birkaç mikrosaniyeye kadar değişebilir.

Yüke hassas yükselteçler genellikle katıhal detektörlerinde kullanılırlar. Bu tür yükselticilerde çıkış puls voltajı, giriş yükü ile orantılı bir şekilde meydana gelir. Çıkış voltajı detektör kapasitansına tam olarak bağlı değildir, fakat bunun yanında silikonlu yüklü parçacık deteksiyonunda özellikle kapasitansın değeri önemlidir çünkü PIPS detektörlerinde detektör kapasitansı güçlü bir şekilde beyaz voltajına bağlıdır.

Bununla beraber gürültü de kapasitans değerine bağlıdır. Ön yükselteçler, pulsun yükselme zamanını düşürmek için genelde detektör içerisine monte edilirler. Bunun



Şekil 3.6: Radyasyonun detekte edilmesi ile ilgili blok diyagramı.

sonucu olarak ön yükselticiler, yükselticiye giden koaksiyel kabloların zayıf empedansı ve detektörün yüksek empedansı arasında bir uyum sağlanmasına yardımcı olurlar.

Yükselticiler, elde edilen puls sinyalini hem yükseltir hem de şekillendirirler. İyi bir yükseltici kısa gecikme zamanına sahip olmalıdır. Eğer yükseltici uzun gecikme zamanına sahip olursa, puls tarafından meydana getirilmiş voltajın sıfır değerine düşmesi de uzun sürer. RC kırpma tekniği, dikey zamanın yavaşça azalmasını önlemek için ayrılmış pulslarda kullanılır. Daha sonra gürültüyü düşürmek için bu sisteme bazı eklemeler yapılır. Sonuçta elde edilmiş olan tek kutuplu puls önceki pulslardan çok daha kısadır. Sistemde bulunan gerçek devreler frekansa bağlı olarak filtreleme işlemi yaparlar. Sonuçta sayım hızı performansından ve kabul edilmiş olan optimum sinyal gürültü karakteristiklerinden faydalanılarak hemen hemen Gauss eğrisine uygun pulslar elde edilir [Leo, 1987; Canberra, 1997; Anderson, 1989].

Meydana gelen ikinci ayrılma, çift kutuplu puls olarak bilinir. Bu puls, pozitif ve negatif bölgelerin hemen hemen eşdeğerinin ortalamasına sahiptir ve bu yüzden net voltaj sıfırdır. Bir çift kutuplu puls, devrenin bir bölümünden bir kapasitöre geçtiği zaman bu pulslar aracılığı ile herhangi bir yük geçişi olmaz. Yük, bir tek kutuplu puls ile uygun dirence doğru sızmamalıdır veya bir baseline direnci ile sıfıra ayarlanmalıdır.

3.8.1.2. Puls yükseltme analizi ve sayım teknikleri

Puls yükseltme analizi basit bir diskriminatör aracılığı ile yapılır. Bu basit diskriminatör, gürültü seviyesinin yukarısına ayarlanır ve bir puls sayıcısında veya kapı sinyalinde kullanılmak üzere standart bir lojik (mantıksal) puls üretir. Bununla beraber birçok veri, küçük bir kısmın puls yüksekliklerinin sınıflandırılmasında meydana gelir. Bu nedenle radyasyon deteksiyonunda **çok kanallı analizörler** ve **tek kanallı analizörler** kullanılır.

Tek Kanallı Analizör (TKA) çok düşük ve çok yüksek diskriminatör seviyesine sahiptir. Eğer giriş pulsu, diskriminatör seviyeleri arasındaki bir değerde olursa diskriminatör bir lojik puls meydana getirir. Bu cihaz ile belirli bir değerdeki bütün

voltaj pulsları ayrıştırılabilir ve sayılabilir. Voltaj oranının arttırılması veya düşürülmesi söz konusu olduğunda sisteme TKA ve sayıcılar eklenebilir.

Şayet tam bir voltaj spektrumu (enerji spektrumu) alınmak istenirse, TKA'nın diskriminatörleri dar bir voltaj veya enerji aralığına ayarlanmalıdır ve daha sonra voltajların bir değerine doğru adımlandırılmalıdır. Eğer her adım için sayımlar kaydedilir ve grafiği çizilirse, bu sonuçlardan bir enerji spektrumu elde etmek mümkün olur.

Çok kanallı analizörler, tek kanallı analizörlerin seri olarak birbirlerine bağlanmaları ve dar enerji aralıklarının sayısının arttırılması ile elde edilirler. Çok kanallı analizörler temel olarak analog-dijital bir dönüştürücü (ADD), lojik kontrol devresi, hafıza ve ekrandan oluşurlar. Çok kanallı analizörler bütün voltaj değerlerindeki pulsları toplar ve aynı zamanda bu bilgileri ekranda gösterebilirler. Ayrıca bu esnada Çok Kanallı Analizör (TKA) spektrumları üzerinde düzenlemeler de yapar [Canberra, 1997; Knoll, 1979; Leo, 1987].

3.8.1.3. Sayıcılar ve radyasyon hız ölçerler

Sayıcılar ve radyasyon hız ölçerler lojik pulsların sayılarını kaydetmek için kullanılırlar. Sayıcılar ve radyasyon hız ölçerler çok yüksek sayım hızı kapasitesine sahiptirler ve bu yüzden ölü zamanları minimum seviyededir. Sayıcılar, birim zamandaki puls sayısını kaydetmek için genellikle bir zamanlayıcı ile birlikte kullanılırlar. Bu yüzden radyasyon hız ölçer (ratemeter-RM) sistemlerinde özellikle bir zamanlayıcı bulunur. Bunun sonucunda zamanın her birimindeki sayım hızı otomatik olarak görülebilir. Sayıcılar, lojik pulsların sayılarını alabilmek için bir LED (Light Emitting Diode) veya LCD (Light Controlling Diode)'ye; RM'ler ise sayım hızının gerçek zamanda gösterilebilmesi için mekaniksel bir metreye sahiptirler. Tipik olarak, birçok sayıcı 8 ayrı sayım yapabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir ve dahili bir arabirim bağlantısına sahiptirler. Bunun yanında RM'ler ise logaritmik sayım hızı veya lineer sayım hızı skalasına sahip olacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Ayrıca, bu tür cihazlarda kaydedici çıkışları bulunmaktadır.

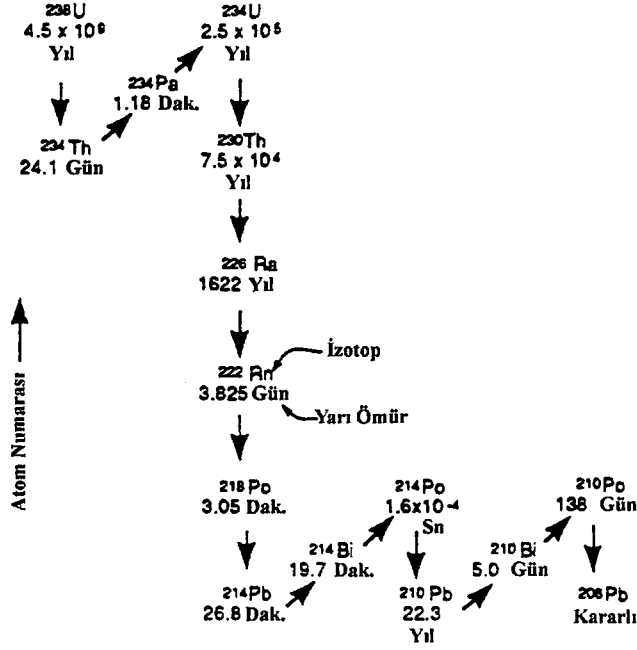
4. YERALTI SULARI ve RADYOAKTİF MADDELER

4.1. Yeraltı Sularının İçerdiği Radyoaktif Elementler

Yeraltı suları farklı konsantrasyonlarda ^{235}U ve ^{232}Th grubundan olan radyoaktif elementler içermektedirler [Duenas vd., 1993]. Bu sulara, uranyum serilerine dahil olan ^{226}Ra , ^{223}Ra ve ^{222}Rn izotoplarının ve Toryum serisinden olan ^{224}Ra ve ^{228}Ra gibi radyoaktif izotopların bulunma olasılıkları çok yüksektir. Bu radyoaktif elementlerin konsantrasyon miktarları ortamda bulunan kayaların türlerine, yeraltı sularının reaksiyona girme kabiliyetlerine ve farklı türdeki kayaların istikrarları gibi etkenlere bağlıdır [Gilkeson vd., 1987; King vd., 1982; Cothorn, 1987]. Sulara çözülmüş uranyum serisine ait dört tür radyoaktif izotop bulunur. Bunlar ^{238}U , ^{223}Ra , ^{226}Ra ve ^{222}Rn 'dir. Bu radyoaktif izotoplardan en önemlisi alfa parçacıkları yayınlamak üzere azalan ve 4.5×10^9 yıl yarılanma ömrüne sahip olan ^{238}U 'dir. Bu radyoaktif izotopun diğerlerine göre daha önemli olmasının nedeni, uzun yarılanma ömrüne sahip olması ve canlılar için çok tehlikeli olan alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalmasıdır. Bu radyoizotoplardan 1622 yıl gibi uzun bir yarılanma ömrüne sahip olan ^{226}Ra da ^{238}U gibi alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalır ve kaya oyukları içerisinde geçerek yeraltı sularına difüzyon yoluyla geçebilme kabiliyetine sahiptir [Olguin vd., 1993]. ^{222}Rn radyoaktif izotopu ise 3.825 gün yarılanma ömrüne sahip olup, ^{235}U serisine dahil olan ve doğal uranyumda %0.7 oranında bulunan ^{223}Ra gibi alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalır. Bunun yanında toryum serisine dahil olan ^{228}Ra ve ^{224}Ra radyoaktif izotopları ise beta radyasyonu yayınlamak üzere bozunurlar [Duenas vd., 1993]. Uranyum ve toryum izotoplarının azalma serileri Şekil 4.1'de verilmiştir.

Yeraltı sularının artık izotopları taşıyabilmesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar arasında yeraltı sularının kimyasal yapısı, akış hızı, toprağın iyon tutma özelliği ile sıcaklık başlıca faktörlerdir [Erten, 1989].

Toprağın içerdiği radyonüklidlerin etkileşimde bulunduğu suya geçme ihtimalinin, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır [Koranda vd., 1978; Cummings vd., 1969; Menzel, 1963].



Şekil 4.1: Uranyum ve toryum izotoplarının azalma serileri [Martins, 1992].

Ayrıca, yapılan araştırmalarda ^{134}Cs ve ^{137}Cs içeren topraktaki bu radyonüklidlerin ancak yüzde 7 ile 9'unun suya geçtiği saptanmıştır. Bunun yanında topraktan suya geçen ^{134}Cs ve ^{137}Cs konsantrasyonunun yaklaşık 1000 ile 5800 katı bitkiler tarafından biriktirilmektedir [Polar vd., 1989].

Sular, etrafında bulunan toprak ve kayalar ile devamlı etkileşim halindedirler. Bu sebeple, toprak ve kayalarda bulunan radyoaktif izotopların sulara geçme olasılıkları son derece yüksektir. Öyle ki, YU ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada [Yu vd., 1994] doğal su numunelerinin radon konsantrasyonlarının musluk ve deniz sularına göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar suların alındığı ortamda granit, asidik ve volkanik kayaların bulunmasına bağlanmıştır. Bu nedenle toprağın içerdiği materyallerin, suların radyoaktivite seviyesi üzerinde önemli etkileri vardır. İncelenen bölgenin maden yatakları açısından zengin olması ve bölgedeki maden yataklarının suların radyoaktivite seviyelerini etkilemesi kaçınılmazdır.

Radyoaktif kirlenmeler yağış yolu ile de olabilmektedir. Yağış yolu ile aktarılan radyoaktif madde miktarı, yağmur bulutunun kirlilik yüküne, yağışın özelliklerine ve yağmur düşen alanların özel durumlarına göre değişiklik gösterir. Örneğin yağış alan

arazinin topoğrafik özellikleri, bitki örtüsü, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi çevre şartları radyoaktif elementlerin toprak ve sulardaki birikimini ve bu materyaller aracılığı ile canlı organizmalara geçmesini etkilemektedir [Oruç, 1989].

4.2. Elazığ ve Yöresinde Çıkarılan Başlıca Maden Cevherleri

Bakır: Baskil ve Sivrice'de; **Bakırlı Pirit:** Maden, Ergani ve Sivrice'de; **Bakır-Çinko:** Elazığ merkezde; **Kurşun-Çinko:** Keban merkez ve civarında; **Demir:** Elazığ merkez ve köylerinde; **Krom:** Elazığ merkez, Maden merkez, Palu merkez ve Güleman'da; **Manganez:** Elazığ merkez, Baskil, Karakoçan, Keban, Maden, Sivrice ve İçme'de; **Fluoritli Molibden:** Keban merkez ve Keban barajının 2 km kuzey batısında; **Wolfram ve Flüorit:** Keban merkezde; **Kömür** ise Palu'da çıkarılmaktadır [Özgen vd., 1980].

4.3. Sulardaki Radyoaktivite Limitleri

Sular içerisinde alfa ve beta aktif radyoaktif elementlerin bulunma olasılığı, gama aktif radyoaktif elementlere nazaran çok daha yüksektir. Tabiatta doğal olarak bulunan alfa ve beta aktif elementler, içerisinde bulunduğu ortama background olarak nitelendirilen bir radyoaktiflik kazandırır. Bu nedenle konu ile ilgili çeşitli kurumlar tarafından ilgili ortamdaki maksimum müsaade edilen radyasyon seviyeleri belirlenmiştir.

Sular içerisinde bulunabilecek maksimum alfa ve beta radyasyon seviyeleri Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), İstanbul Su ve Kanalizasyon İşletmesi (İSKİ) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1'de görüldüğü gibi tavsiye edilen üst sınırlar, toplam alfa aktivitesi için 0.1 Bq/l, toplam beta aktivitesi için ise 1.0 Bq/l olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.1: İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları [Tuncer vd., 1991].

Kirletici	<i>Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)</i>			<i>TSE</i>	<i>İSKİ</i>
	1984	1971	1971	1965	1984
	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar
Toplam Alfa	0.1 Bq/lit (2.7 pCi/lit)	0.11 Bq/lit (3 pCi/lit)	0.37 Bq/lit (10 pCi/lit)	0.037 Bq/lit (1 pCi/lit)	0.037 Bq/lit (1 pCi/lit)
Toplam Beta	1.0 Bq/lit (27 pCi/lit)	1.1 Bq/lit (30 pCi/lit)	3.7 Bq/lit (100pCi/lit)	0.37 Bq/lit (10 pCi/lit)	0.37 Bq/lit (10 pCi/lit)
²²⁶ Ra	----	----	----	----	----
⁹⁰ Sr	----	1.1 Bq/lit (30 pCi/lit)	----	----	----

4.4. Yerkürede ve İnsan Vücudunda Bulunan Radyoaktif Elementler

Sularda hesaplanan alfa ve beta aktivitelerinin insan sağlığı açısından değerlendirilebilmesi için aşağıdaki tablolara ihtiyaç vardır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3, sırası ile yerkürede ve insan vücudunda bulunan tabii radyoaktif elementleri göstermektedir [Sezginer, 1989].

İnsan vücudunda Tablo 4.3'de gösterilen radyoaktif elementlerden başka 10 Bq civarında ²¹⁰Pb, 2 Bq civarında ²²⁶Ra ve 7 Bq civarında ²³⁸U bulunmaktadır. Bu radyonüklidlerin vücutta toplandıkları kesim kemiklerdir. İnsan vücudundaki toplam tabii radyonüklidlerden meydana gelen aktivite 8000 Bq civarındadır [Sezginer, 1989].

Tablo 4.2: Yerküredeki tabii radyoaktif elementler.

<i>Radyonüklid</i>	<i>Yarıömrü (yıl)</i>	<i>Spesifik Aktivite (Bq/kg)</i>
⁴⁰ K	1.3 x 10 ⁹	40-1000
²²⁶ Ra	1622	10-200
²³² Th	1.4 x 10 ¹⁰	40-600
²³⁸ U	4.5 x 10 ⁹	40-100

Tablo 4.3: İnsan vücudundaki tabii radyoaktif elementler [Sezginer, 1989].

<i>Radyonüklid</i>	<i>Yarıömrü (yıl)</i>	<i>Aktivite (Bq)</i>	<i>Bulunduğu Yer</i>
³ H	12.3	20	Bütün Vücut
¹⁴ C	5730	4000	Bütün Vücut
⁴⁰ K	1.3 x 10 ⁹	2000-4000	Bütün Vücut
²¹⁰ P	138 gün	4-20	İskelet

4.5. Su Numunelerinde Alfa ve Beta Aktivitesinin Ölçülmesi

4.5.1. Sayma hataları

i) %95 güvenirlilik seviyesindeki standart sapma aşağıdaki denklem ile verilir:

$$E_s = \pm 1.96 (N_s / t_s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (4.1)$$

Burada, N_s örneğin veya Background'un cpm cinsinden sayma hızı, t örnek veya Background'un dakika cinsinden sayma zamanı, E_s ise net sayma hızının (cpm) %95 güvenirlilik seviyesindeki hatasıdır. Bu tür istatistik analizler ancak toplam sayımların otuzdan büyük olması durumunda geçerlidir.

ii) Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası şöyle verilir:

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (4.2)$$

Bu denklemden, E_a ve E_b toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

4.5.2. Verim düzeltmeleri

i) Sayma hızını dezentegrasyonlara (bölünmelere) dönüştürmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (4.3)$$

Burada G, B ve T geometri, geri saçılma ve self-absorpsiyon için düzeltme faktörleridir. $1/GBT$ ise *Verim Düzeltme Faktörü* veya kısaca VDF'dir.

ii) Kalınlık, örneğin ağırlığı ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (4.4) ile ifade edilir.

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{Örneğin mg Cinsinden Ağırlığı}) / (\text{Etkin Alan}) \quad (4.4)$$

iii) Alüminyum planşet üzerinde sayılan alfa aktivitesi için verim düzeltme faktörü (4.5) denklemi ile verilir.

$$VDF = 1 / V \times (T) \quad (4.5)$$

Bu denklemdaki T'nin değeri, mg/cm² cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş eğriden bulunur (U₃O₈ için self-absorpsiyon eğrisi) [Karahan, 1997]. (4.5) denklemindeki V parametresi verimdir ve denklem (3.3) ile hesaplanır.

4.5.3. Su numunelerinin alfa ve beta aktivitelerinin hesaplanması

Su numunelerinin alfa aktivitesi denklem (4.6), beta aktivitesi ise denklem (4.7) kullanılarak hesaplanır.

$$A_{\alpha} = (N \times VDF) / 2.22 \quad (4.6)$$

$$A_{\beta} = (0.391 \times R \times N_m) / N_0 \quad (4.7)$$

Burada A_{α} , A_{β} ; pCi cinsinden alfa ve beta aktiviteleri, N rneğin dakikadaki net sayım sayısı, VDF verim düzeltme faktörü, R bir dakikadaki net beta sayımı, N_m mg/cm² cinsinden numunenin spesifik kütlesi, N_0 ise ilgili kalibrasyon eğrisinden bulunan ve numunenin spesifik kütlesine karşı gelen sayım sayısıdır [Alkan, 1989; Karahan, 1997].

5. ÖRNEKLERİN ELDE EDİLMESİ ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Örnek Alınan Yerler ve Özellikleri

Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım suları, bu bölgelerde açılan çeşitli kuyulardan sağlanmaktadır. Kuyular merkeze yakın mahallelerde, Elazığ'ın güney-doğu ve güney-batı kısımlarında çoğunluk arz etmektedir. Bu mahallelerden başlıcaları; Olgunlar (Sürsürü), Çatalçeşme (Mornik) vb. dir. Kuyular Elazığ'ın güney-doğu kesiminde Mollakendi ilçesi ve Kuyulu köyü civarında, güney-batı kesiminde ise Kesikköprü civarında fazlalık gösterir [DSİ 9. Bölge Müd., 1998].

Bunun yanısıra Elazığ'ın çoğu ilçeleri ise su ihtiyaçlarını DSİ, Köy Hizmetleri ve ilgili ilçe belediyesi tarafından ilçe sınırları içerisinde açılmış olan su kuyularından sağlamaktadır. Bu nedenle Elazığ'ın ilçelerinin sularının radyoaktivite seviyelerinin belirlenebilmesi için bu bölgelerden de su numuneleri alınmış ve ayrıca su açısından zengin olan Keban ilçesi, radyoaktivite açısından daha detaylı olarak incelenmiştir.

Elazığ il merkezindeki kuyular kapalı olduğundan, il merkezinin genel aktivite ortalamalarının belirlenebilmesi için şehrin hemen hemen bütün su ihtiyacını karşılayan büyük su depolarından numuneler alınmıştır.

Bu çalışmada, aşağıda jeolojik formasyonları verilmiş olan bazı kuyular, kapalı olduğundan dolayı incelenememiştir. Bununla beraber, kapalı kuyuların çok yakınında olan ve hemen hemen aynı jeolojik formasyonları sergileyen kuyuların aktiviteleri hesaplanmıştır.

5.1.1. Elazığ'ın merkezine yakın olan kuyular

DSİ 9. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen verilere göre su örnekleri alınan kuyuların genel özellikleri şu şekildedir [DSİ 9. Bölge Müd., 1998].

- i) Çatalçeşme kuyusu 1992 yılında 75 m derinliğinde açılmıştır. Verimi saniyede 14 lt civarındadır. Kuyunun pompa bağlanıp su çekimi yapılmadan önceki seviyesi 14.30 m ve su çekimi yapıldıktan sonraki seviyesi ise 44.07 m'dir. Kuyunun

jeolojik formasyonu gözönünde bulundurulacak olursa; 0-2 m nebati toprak, 2-10 m arası killi kum, 10-21 m arası killi kumlu çakıl, 21-41 m arası çakıllı kumlu kil ve 41-75 m arası ise andezittir (Kuyu No: 44000).

ii) İplik fabrikası yanında bulunan kuyu 1991 yılında açılmış ve 120 m derinliğindedir. Statik seviyesi 20.83 m ve dinamik seviyesi ise 31.63 m'dir. Verimi saniyede 32.17 lt civarındadır. Kuyuda 0-3 m arası nebati toprak, 3-18 m killi kum çakıl, 18-21 m arası kum çakıl, 21-27 m arası az killi çakıl, 27-28 m gibi 1 m'lik bir seviyede ise kil, 28-32 m'de az killi kum çakıl, 32-41 m'de killi kireçtaşı, 41-58 m kil, 58-87 m kireçtaşı, 87-95 m kil, 95-110 m kireçtaşı, 110-120 m ise az kumlu kildir (Kuyu No: 43022).

iii) Kesrik mahallesindeki kuyu 1983 yılında açılmıştır. Bu kuyunun verimi saniyede 8 lt, derinliği 75 m'dir. Statik seviyesi 14.60 m, dinamik seviyesi 44.86 m'dir. Kuyunun jeolojik formasyonu; 0-8 m az killi kum, 8-13 m killi kum, 13-17 m az killi kum, 17-53 m fliş (karmaşık killi kum ve kil tabakası) dir (Kuyu No: 30788).

iv) Sürsürü mahallesinde bulunan kuyu, 1994 yılında faaliyete geçmiş olup bu kuyudan saniyede alınan su miktarı 32.17 lt'dir. Derinlik 100 m civarındadır. Kuyu suyunun statik seviyesi 31.58 m, dinamik seviyesi ise 67.52 m olarak kayıtlarda bulunmaktadır. Resmi kayıtlarda, kuyuda 0-15 m arası yamaç molozu, 15-69 m arası ise kireçtaşıdır (Kuyu No: 48756).

v) Akçakiraz yakınlarında bulunan Özbir kuyusu sanayi amaçlı olarak 1992 yılında açılmıştır. 95 m derinliğindedir. Statik seviyesi 3.94 m'dir. Pompa çalıştığı zaman debisi saniyede 10 lt'dir. Kuyunun özgül debisi lt/m-sn birimi cinsinden 0.20'dir. Bu kuyuda 0-10 m kil ve çakıl, 10-21 m arası çakıllı kil, 21-43 m arası az kumlu killi çakıl, 43-50 m arası çakıllı kil, 50-73 m arası çakıl ve kil karışımı, 73-93 m arası ise andezittir (Kuyu No: 44089).

5.1.2. Elazığ'ın güney-batı kesiminde bulunan kuyular

Aynı kaynaktan alınan bilgiler şu şekildedir [DSİ 9. Bölge Müd., 1998].

i) Hankendi ilçesinin kuzey kısmındaki Kesikköprü civarında bulunan kuyulardan birincisi 1976 yılında açılmıştır. Derinliği 100 m olan bu kuyudan saniyede 20.2 lt su elde edilmektedir. Statik seviyesi 41.78 m, dinamik seviyesi ise 57.13 m'dir. Kuyunun jeolojik formasyonunda, ilk 1 m'ye kadar nebati toprak, daha sonraki 100 m'ye kadar kireçtaşı olduğu saptanmıştır (Kuyu No: 21077).

ii) Bu bölgede incelenen ikinci kuyu olan Kesikköprü kuyusu 1982 yılında açılmış olup 79 m derinliğindedir. Statik seviye 27.65 m'dir. Bu kuyunun 0-34 m arası konglomera yani çimentolaşmış çakıl, 34-80 m arası kireçtaşı olarak bilinmektedir (Kuyu No: 30198).

5.1.3. Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan kuyular

Bu bölge aynı zamanda Uluova olarak da bilinmektedir. Elazığ yöresi olarak nitelendirilen bu bölgede, farklı amaçlar için açılmış 13 tane kuyu incelenmiştir. Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan kuyuların bazılarının jeolojik formasyonları aşağıdaki gibidir:

i) Karşıbağ civarında bulunan Karşıbağ kuyusu 1975 yılında işletme amacı ile açılmıştır. Derinliği 183 m olan kuyunun statik seviyesi 5.43 m'dir. Pompa bağlandığı zaman debisi saniyede 45 lt'dir. Özgül debisi ise lt/m-sn birimi cinsinden 25 dir. Bu kuyuda ilk 70 m kil, 70-80 m arası ise kum ve çakıl ihtiva eder. 80-95 m kil iken 95-117 m arası çakıldır. 117-120 m arası kil, 120-141 m arası az kumlu çakıl, 141-147 m arası kum ve kil, 147-150 m arası çakıl ve kum, 150-175 m arası kil, 175-185 m arası ise az kumlu kildir (Kuyu No: 19290).

ii) Mollakendi yakınlarında bulunan Mollaköy isimli kuyu, içme suyu tüketimini karşılamak amacıyla 1993 yılında açılmıştır. Statik seviyesi 6.42 m olup 140 m

derinliğindedir. Pompanın, su çektiği andaki debisi saniyede 68.2 lt'dir. Bu kuyunun özgül debisi ise 5.98 lt/m-sn dir. 0-10 m kil, 10-18 m kil ve çakıl, 18-105 m çakıl, 105-110 m arası kil, 110-140 m arası çakıldır (Kuyu No: 43887).

iii) Mollakendi yakınlarında Mollaköy kuyusu bulunmaktadır. İçme suyunu karşılamak amacıyla 1993 yılında açılmış olup derinliği 140 m civarındadır. Bu kuyu *artezyen* özelliği taşımaktadır. Pompa kullanıldığı zaman debisi saniyede 69.8 lt'dir. Özgül debisi ise 9.46 lt/m-sn dir. Kuyuda 0-8 m kum, 8-35 m kil-çakıl-kum karışık, 35-53 m arası kil, 53-87 m arası kil, çakıl ve kum, 87-125 m çakıl ve kum, 125-140 m kil, çakıl ve kum olarak tespit edilmiştir (Kuyu No: 43885).

iv) Mollakendi'nin hemen güneyinde bulunan Güntaşı kuyusu, içme suyu elde etmek amacıyla 1993 yılında açılmıştır. 105 m derinliğinde bir kuyudur ve statik seviyesi 6.21 m'dir. Pompa çalıştığı zaman debisi 61.4 lt'dir. Özgül debisi 7.38 lt/m-sn olarak bilinmektedir. Jeolojik formasyon ile ilgili bilgilere bakılırsa; 0-10 m kil, 10-27 m kil-çakıl-kum karışık, 27-35 m az kum ve çakıl, 35-67 m çakıl-kil-kum, 67-90 m arası az kum-kil-çakıl, 90-105 m arası andezit olarak saptanmıştır (Kuyu No: 43891).

v) Kuyulu köyünün kuzeyinde bulunan Kuyulu kuyusu, işletme amacı ile 1989 yılında açılmış ve 110 m derinliğindedir. Statik seviye 13.43 m'dir. Özgül debisi 9.57 lt/m-sn dir. Pompa çalıştığı zamanki debi ise saniyede 57 lt'dir. Kuyuda 0-3 m kum, 3-7 m çakıl, 7-18 m az kumlu kil-çakıl, 18-21 m kum ve kil, 21-27 m az kumlu kil, 27-32 m kil, 32-58 m az çakıllı kum, 58-62 m kil, 62-75 m az kum-kil ve çakıl, 75-107 m az kum-çakıl ve kil olarak saptanmıştır (Kuyu No: 39221).

vi) Kuyulu köyünün yaklaşık olarak kuzeydoğusunda, Bahçekapı köyünün yakınında bulunan Bahçekapı kuyusu 1993 yılında içme suyu tüketimini karşılamak için açılmış olup 131 m derinliğindedir. Statik seviyesi 4.20 m'dir. Pompa etkisiyle oluşan debi saniyede 61 m'dir. Özgül debi ise 9.6 lt/m-sn dir. 0-22 m kil, 22-28 m kil ve çakıl, 28-41 m az kumlu kil, 41-70 m az killi kum, 70-88

m az kumlu-killi çakıl, 88-118 m az kumlu-çakıllı-kil, 118-128 m andezittir (Kuyu No: 43900).

vii) İkinci Bahçekapı kuyusu da Bahçekapı köyünün hemen güneyinde 1993 yılında açılmıştır. 111 m derinliğinde olan bu kuyu içme suyu amaçlı olarak açılmıştır. Statik seviyesi 4.01 m ve debisi saniyede 49.83 lt'dir. Bu kuyuda 0-11 m kil, 11-15 m kil-kum-çakıl, 15-40 m az killi-kum çakıl, 40-43 m killi-kum-çakıl, 43-82 m az killi-kum-çakıl, 82-99 m kum-çakıl, 99-111 m arası andezittir (Kuyu No: 43904).

viii) Kuyulu köyünün batısında bulunan Kuyulu kuyusu işletme amacıyla 1981 yılında açılmıştır. 110 m derinliğindedir. Statik seviyesi 13.40 m'dir. Artezyen özelliği yoktur. Pompa ile debisi 18 lt/sn dir. Özgül debi 2.19 lt/m-sn dir. Bu kuyuda 0-8 m az kumlu kil, 8-18 m kil, 18-22 m çakıl, 22-28 m kil, 28-35 m çakıl, 35-45 m kil, 45-55 m çakıl ve kil, 55-65 m çakıl, 65-70 m arası az kil ve çakıl, 70-80 m çakıl, 80-90 m kil, 90-108 m arası az killi kumdur (Kuyu No: 28669).

ix) Kuyulu köyünün yaklaşık olarak kuzeyine düşen iki kuyu Gözebaşı kuyuları olarak adlandırılır. Bu kuyulardan ikisi de işletme amacı ile 1974 yılında açılmışlardır.

Çavdarlı'nın hemen kuzeyinde olan derinliği 60 m ve statik seviyesi 19.84 m'dir. Pompa ile debisi 41 lt/sn ve özgül debisi 7.3 lt/m-sn dir. Bu kuyunun jeolojik formasyonu şöyledir: 0-8 m az kumlu çakıl, 8-35 m arası az killi çakıl, 35-40 m arası çakıl ve kil, 40-48 m arası kil ve çakıl, 48-50 m arası kum ve çakıl, 53-60 m arası andezittir (Kuyu No: 19100).

Bu kuyunun hemen batısında olan diğer kuyunun derinliği ise 52 m olup, statik seviyesi 15.75 m'dir. Pompa ile saniyede alınan su 42 lt'dir. Özgül debisi ise 4.94 lt/m-sn dir. Bu kuyunun jeolojik formasyonu ise; 0-10 m kil ve çakıl, 10-15 m arası çakıl, 15-22 m kil ve çakıl, 22-26 m arası siltli çakıl, 26-28 m arası kil, 28-29 m çakıl, 29-33 m kil, 33-39 m siltli çakıl, 39-43 m kil, 43-47 m çakıl, 47-53 m arası ise andezittir (Kuyu No: 20024).

5.2. Deneysel Çalışmalar

Günümüzde Nükleer Fizik alanında yapılan deneysel çalışmaların çoğunda en önemli faktörlerden biri, kullanılan cihazlardır. Bu çalışmalarda kullanılan cihazların teknolojisi ne kadar gelişmiş ise yapılan çalışmanın niteliği ve orijinalliği o derece fazla olmaktadır. Bu yüzden sahip olunan imkanların en iyi şekilde değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Bu tezde, sahip olunan tüm imkanlar kullanılarak Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım sularının radyoaktivite seviyesinin tespiti yapılmıştır. Suların toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini uygun sintilatör ile Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı, Yarıiletken Yüzey Engelli Silisyum Detektör, çeşitli GM tüpleri, Sintilasyon Detektörleri ve Gaz Akışlı Orantılı Sayıcı kullanılarak yapılmıştır. Sayımlar, bu detektörlerden ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak alınmış ve en iyi verimde çalışan cihazlar sonuçların belirlenmesinde esas alınmıştır.

Söz konusu bölgede, çevreye zararlı toksit ve radyoaktif atık meydana getirebilecek fazla endüstriyel kuruluş olmadığından dolayı, incelenecek olan suların alfa ve beta radyoaktivitelerinin yaklaşık olarak background seviyesi civarında çıkması beklenmiş ve bu yüzden hassas sayım sistemlerinin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak gerekli literatür taraması yapılmış, sular ile ilgili olarak yapılan çalışmaların çoğunda sintilasyon detektörleri ve bu detektörlere uygun sayım sistemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir [Duenas vd., 1993; Chereji, 1992; Mobius vd., 1993; Chereji, 1993; Dessouky, 1991].

5.2.1. Su numunelerinin hazırlanmasında kullanılan yöntem

Elazığ'ın farklı bölgelerinden alınan su numunelerinin detektör önüne bırakılarak sayıma hazır hale getirilmesi, su örneklerinin bir elektrik ocağı ile kaynatılmadan buharlaştırılması prensibine dayanan örneklerin ısı ile buharlaştırılması yönteminden faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.

i) Kullanılabilir malzeme ve teçhizatlar

1.5 lt'lik pet şişeler, 100 ml'lik beherler, elektrik ocağı, spetula, alüminyum planşetler, ultraviole lamba ve hassas terazi.

ii) Numunelerin hazırlanması

Belirlenmiş olan bölgelerden su örnekleri alınarak standart 1.5 lt'lik pet şişelere dolduruldu. Herhangi bir karışıklık olmaması için, pet şişelerdeki suların hangi bölgelerden alındığına dair bilgiler not edildi (pet şişelerin etiketlenmesi). 1.5 lt'lik pet şişelerdeki su çalkalanarak karıştırıldı ve fazla bekletilmeden 100'er mililitrelik temiz olan üç farklı beher içerisine alındı. Beherlerdeki suların kaynamasına izin verilmeden ocak üzerinde buharlaşması için bekletildi ve her bir beher içerisinde 5-10 cm³ su kalıncaya kadar bu işleme devam edildi. Beherler içerisinde kalan bu 5-10 cm³ hacmindaki sular temiz planşetlere aktarıldı ve dalgaboyu 254-366 nm olan bir ultraviole lamba altında buharlaştırılması için bekletildi.

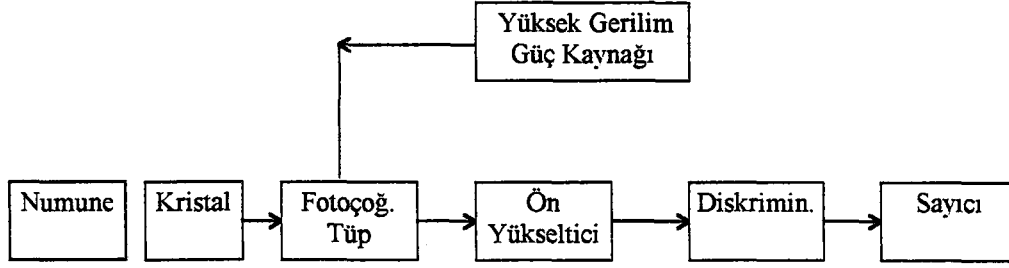
Beher içerisinde kalan kalıntılar, beher içerisine bir miktar su döküldükten sonra spetula ile kazındı ve planşetlere aktarıldı. Bu işlem ile numunedeki kayıp minimuma indirilmiş olur.

Planşetlere numune konulmadan önce, her planşetin boş kütlesi hassas terazilerle tartıldı ve bu değerler numunenin aktivitesi hesaplanırken kullanıldı. Sonuçta elde edilen su numuneleri çeşitli deteksiyon sistemleri kullanılarak sayıldı.

5.2.2. Sulardaki alfa ve beta aktivitelerini belirlemek için kullanılan sayım sistemi

Planşetlerde sayıma hazır hale getirilen örneklerin alfa ve beta sayımları GM Tüpleri, Çeşitli Sintilasyon Sayıcıları ve 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Alfa sayımları için 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir sintilatör, beta sayımları için ise bir 2059 plastik sintilatör kullanılmıştır.

Bir ZnS sintilatörü alfa ışınları için %50'den daha fazla verime sahip olmamakla birlikte, sıvı sintilatörlere göre daha düşük bir Background'a sahiptir. Bunun yanında, sıvı sintilatörlerin verimi yaklaşık olarak %100 civarındadır [Chereji, 1992; Anderson, 1989]. İncelenecek olan su numunesi aktivitelerinin genelde background seviyesinde olabileceği düşünüldüğünden, çalışmamızda katı sintilasyon kristalleri kullanılmıştır.



Şekil 5.1: Kullanılan Alfa ve Beta sayım sisteminin blok diyagramı.

Deneyde kullandığımız katı sintilatörlerin tek dezavantajı, verimlerinin sıvı sintilatörlere göre daha düşük olmasıdır. Bu dezavantaj, alfa ve beta aktivitelerinin hesaplanması sırasında verim düzeltme faktörlerinin kullanılmasıyla giderilmiş olur.

5.2.3. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının kalibrasyon işlemi

Bir detektörün doğru ve en verimli şekilde sayım yapabilmesi için detektöre uygulanan yüksek voltaj ve eşik (treshold) voltajı değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kısaca bu kalibrasyon işlemi olarak bilinir [Knoll, 1979; Leo, 1987].

Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının kalibrasyonu için aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

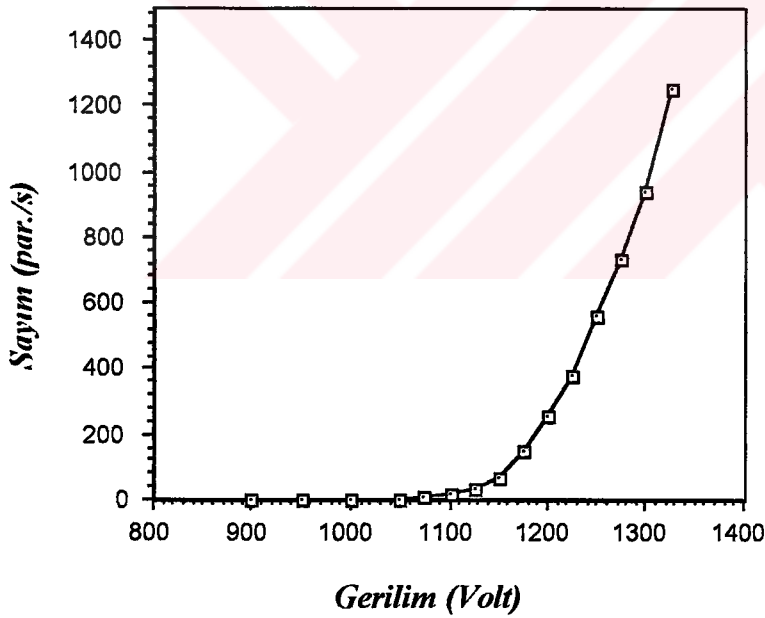
i) Herhangi bir radyoaktif kaynak kullanılmadan 0 volt ile 1325 volt arasında 25 volt aralıklarla detektöre uygulanan gerilim arttırılmış ve her voltaj adımı için 10 saniye zaman bazında üç sayım alınmıştır. Böylece her voltaj adımı için background sayım hızı (cps) belirlenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak Sayım Hızı-Voltaj grafiği çizilmiştir (Şekil 5.2).

ii) Cihazın maksimum verim ile çalıştırılabilmesi için fotoçoğaltıcı tüpün elektronik gürültü bölgesinin hemen altındaki gerilim, detektöre uygulanması gereken yüksek voltaj gerilim değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer, Sayım Hızı-Voltaj grafiğinde de (Şekil 5.2) açıkça görüldüğü gibi 1200 voltur.

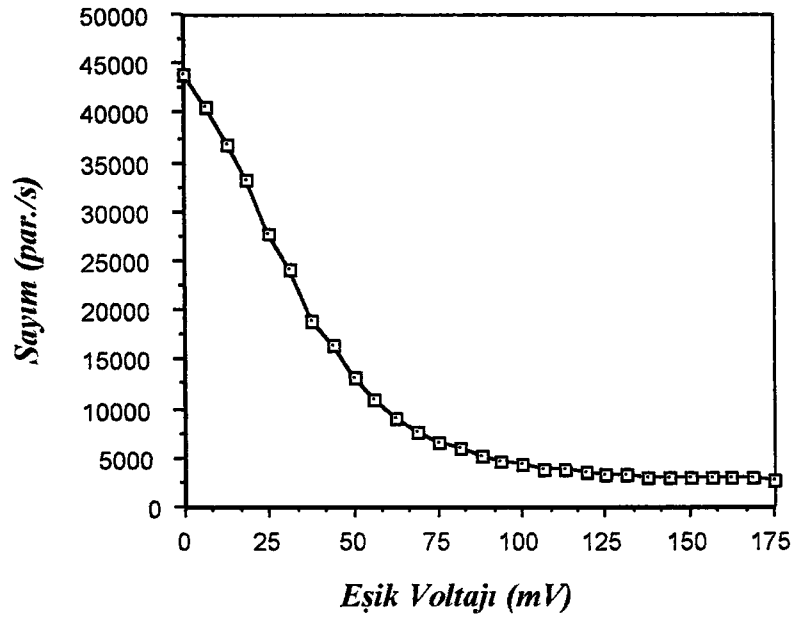
iii) Belirli aktivitede bir radyoaktif kaynak detektör önüne bırakılmış ve çalışma voltajı olan 1200 volt detektöre uygulanmıştır. Uygulanan çalışma gerilimi sabit kalmak şartıyla eşik voltajı 0 ile 175 mV arasında 6.25 mV aralıklarla arttırılmıştır

ve her artış için 10 saniye zaman bazında üç tane sayım alınmıştır. Artış adımlarındaki her eşik voltajı için radyoaktif kaynağının sayım hızı belirlenmiştir. Sonuçlar not edilmiş ve Sayım Hızı-Voltaj grafiği çizilmiştir (Şekil 5.3). Sayım Hızı-Voltaj grafiğinde eşik voltajı ile sayım hızının lineer olarak değiştiği bölge bulunur ve hemen hemen bu lineer bölgede bulunan maksimum eşik voltajı belirlenir.

Yukarıda izlenen adımlar ile deneyde kullanılan Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır. Diğer sayım cihazlarının da benzer yöntemle kalibrasyonları yapılmıştır.



Şekil 5.2: Uygulama voltajının belirlenmesi ile ilgili Sayım Hızı-Voltaj grafiği.



Şekil 5.3: Sayım hızının eşik voltajı ile değişim grafiği.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım suları genellikle yeraltı sularından sağlanmaktadır. Elazığ il merkezinin ve yöresinin ihtiyacı olan sular, il merkezine yakın bölgelerde açılmış olan kuyulardan temin edilmektedir. Bu kuyular il merkezinde ve genellikle Elazığ'ın güney-doğu ile güney-batı kesimlerinde çoğunluk arz etmektedir. Elazığ'ın merkezinde bulunan kuyular tam olarak faal olmamakla birlikte güney-doğu ve güney-batı kesimlerindeki kuyular halen çalışır durumdadır [Elazığ Belediyesi, 1998].

İl merkezinin içme ve kullanım suları şehir merkezinde bulunan Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi önündeki su deposu, Abdullahpaşa su deposu ve Kesikköprü su deposu tarafından sağlanmaktadır. Bu su depolarında yörede açılmış bulunan kuyuların suları toplanmaktadır. Bunun yanısıra Elazığ'ın ilçeleri, su ihtiyaçlarını ilçe sınırları dahilinde Belediye veya DSİ tarafından açılmış bulunan sondaj kuyularından karşılamaktadırlar.

Elazığ il merkezinin içme ve kullanım su ihtiyacını büyük bir ölçüde sağlayan Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi önündeki Elazığ Belediyesine ait su deposu, Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan su kuyularından beslenmektedir. Elazığ'ın güney-doğu kesimine giren Mollakendi ve Kuyulu köyü civarında çoğunluk sergileyen kuyulardan alınan sular, Mollakendi yakınlarında bulunan P₁ pompa istasyonunda toplanmaktadır. P₁ pompa istasyonunda toplanan sular daha sonra Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi önündeki su deposuna pompalanır. Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi önündeki bu su deposu Rızaiye, İzzetpaşa, İcadiye, Sanayi, Karşıyaka, Salıbaşı, Kızılay, Nailbey, Fevzi Çakmak, Yıldızbağları, Doğukent, Çarşı, Akpınar, Zafran, Çatalçeşme, Gümüşkavak, Kırklar, Rüstempaşa, Ulukent gibi mahallelerin tümünün, Yeni Mahallenin ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır. Abdullahpaşa su deposunda, Abdullahpaşa mahallesinin çeşitli yerlerinde açılmış olan kuyuların suları depolanmaktadır. Bu su deposu Abdullahpaşa Mahallesi ve Polis sitelerinin tümünün, Cumhuriyet Mahallesi ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır. Kesikköprü su deposu ise Yolçatı yakınlarında bulunan 21077 ve 30198 nolu kuyulardan beslenmektedir. Bu su deposu ise; Fırat Üniversitesi Kampüsü, Sürsürü, Kültür ve Olgunlar gibi mahallelerin tümünün, Yeni Mahallenin ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır. Elazığ ve ilçelerinin içme ve kullanım su ihtiyaçlarını karşılayan

kuyuların suları ya bağımsız olarak ya da karıştırılarak hizmete sunulmaktadır. Bu suların radyoaktivite seviyeleri ve bazı özellikleri kuyu derinliği, kil oranı, maden yatakları, taşınma, karıştırma gibi özelliklere bağlı olarak değişebilmektedir. İlerideki alt başlıklarda; karışmayan suların hem kaynaktaki hem de kullanım bölgesindeki radyoaktiviteleri, radyoaktivite değerlerinin maden cevherlerine göre değişimleri, kuyunun derinliği ve kil oranına göre radyoaktivite değişimleri verilmiş olup literatüre de dayalı olarak tartışılmıştır.

6.1. Elazığ'ın İçme ve Kullanım Sularının Radyoaktivite Seviyeleri

6.1.1. Elazığ merkezi içme ve kullanım sularının alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri

Elazığ merkezi içme ve kullanım sularının alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri, ilgili depolardan su numuneleri alınarak belirlenmiş, sonuçlar tablolar halinde verilmiş ve yorumlanmıştır.

6.1.1.1. Elazığ şehir merkezinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Elazığ şehir merkezinden alınan su numunelerinin radyoaktiviteleri ile ilgili sonuçlar Tablo 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Fırat Üniversitesi içme ve kullanım suyu için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Fırat Üniversitesi İçme ve Kullanım Suyu</i>		
Numune (Planşet No)	1	2	3
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1561	1.0727	1.0800
Net Numune Kütlesi (mgr)	42.9	45.1	44.6
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.7831	3.9771	3.9330
Alfa Sayımı (cpm)	0.3900	0.0402	0.6300
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.4257	0.0455	0.7000
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	4.2570	0.4551	7.0000
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.1575	0.0168	0.2590
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0397	0.0051	0.0765
Beta Sayımı (cpm)	2.9280	1.0260	2.4198
Beta Aktivitesi (pCi)	0.1774	0.0622	0.1399
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	1.7743	0.6217	1.3997
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.0657	0.0230	0.0520
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0178	0.0143	0.0184

Tablo 6.2: Karaçalı suyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Karaçalı Suyu (Şehit İlhanlar Caddesi)		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1761	0.9992	1.1868
Net Numune Kütlesi (mgr)	8.4	7.6	9.3
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	0.7407	0.6702	0.8201
Alfa Sayımı (cpm)	0.3900	0.3798	0.1398
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2573	0.2469	0.0929
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	2.5726	2.4698	0.9289
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0952	0.0914	0.0344
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0056	0.0057	0.0014
Beta Sayımı (cpm)	2.4798	6.9600	2.3598
Beta Aktivitesi (pCi)	0.9016	2.9523	0.6673
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	9.0160	29.5230	6.6731
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.3336	1.0924	0.2469
Standart Sapma (Bq/lt)	0.1156	0.1621	0.1033

Tablo 6.3: Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi su deposu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	F.Ü. Araştırma Hastahanesi Su Deposu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.2608	1.0691	1.2079
Net Numune Kütlesi (mgr)	39.8	42.4	42.3
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.5097	3.7390	3.7302
Alfa Sayımı (cpm)	0.2298	0.2502	0.2052
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2381	0.2683	0.2201
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	2.3808	2.6831	2.2005
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0881	0.0993	0.0814
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0337	0.0327	0.0100
Beta Sayımı (cpm)	0.4998	0.3756	1.6002
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0335	0.0252	0.1072
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	0.3347	0.2516	1.0717
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0124	0.0093	0.0397
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0026	0.0022	0.0111

Tablo 6.4: Abdullahpaşa su deposu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Abdullahpaşa Su Deposu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1781	1.1463	1.3758
Net Numune Kütlesi (mgr)	33.6	32.8	35.7
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	2.9630	2.8924	3.1482
Alfa Sayımı (cpm)	0.7098	0.5250	0.3960
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.6675	0.4975	0.3863
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/l)	6.6750	4.9754	3.8626
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/l)	0.2470	0.1841	0.1429
Standart Sapma (Bq/l)	0.0350	0.0387	0.0298
Beta Sayımı (cpm)	3.4596	5.2398	6.4500
Beta Aktivitesi (pCi)	0.2935	0.4598	0.5130
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/l)	2.9349	4.5985	5.1299
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/l)	0.1086	0.1701	0.1898
Standart Sapma (Bq/l)	0.0273	0.0304	0.0256

Tablo 6.5: Elazığ şehir merkezinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.

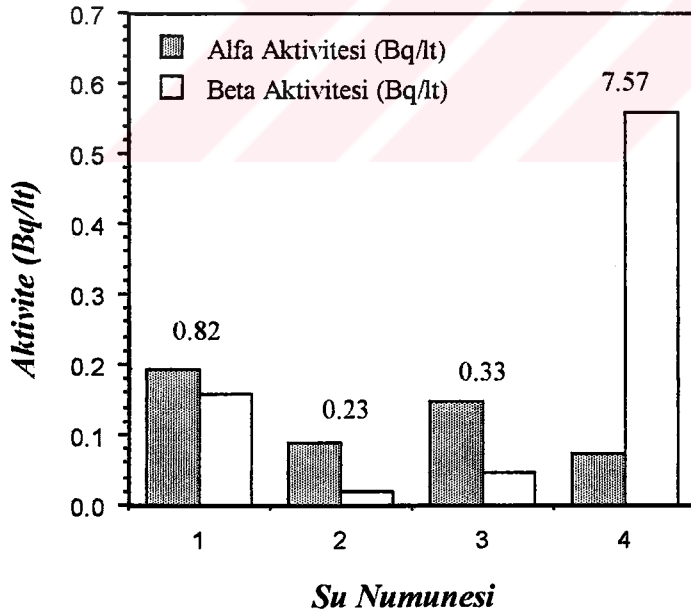
Numune Adı	Alfa Aktivitesi (Bq/l)	Beta Aktivitesi (Bq/l)
Fırat Ün. İçme Suyu	0.1445 ± 0.0864	0.0469 ± 0.0293
Karaçalı Suyu	0.0737 ± 0.0274	0.5576 ± 0.2243
F.Ü. Araştırma Has. Su Deposu	0.0896 ± 0.0480	0.0205 ± 0.0116
Abdullahpaşa Su Deposu	0.1913 ± 0.0601	0.1562 ± 0.0483

Elazığ'ın merkezine ait dört adet su numunesi incelenmiştir. Bu su numunelerinin ikisi, Fırat Üniversitesi Araştırma Hastahanesi önündeki Elazığ Belediyesine ait su deposu ve Abdullahpaşa su deposudur. Diğer iki numune ise il merkezinde bulunan Karaçalı suyu ve Fırat Üniversitesi Kampüsünün kullandığı içme suyudur.

Şekil 6.1 incelendiğinde, su deposundan alınan numunelerin ve Fırat Üniversitesi suyunun alfa aktivitelerinin yüksek, bunun yanında beta aktivitelerinin ise düşük olduğu görülür. Bu grafikte 3 numaralı numune olan F.Ü. içme suyu Kesikköprü civarından sağlanmaktadır. Dolayısıyla Şekil 6.4'de bulunan ve Kesikköprü'den alınan 4 numaralı

numune ile aktivite açısından karşılaştırılmasında fayda vardır. Şekil 6.4’de 4 numaralı numunenin alfa aktivitesi 0.1053 Bq/lt iken taşınma sonunda 0.1445 Bq/lt’ye yükselmiştir. Beta aktivitesi ise 0.1534 Bq/lt’den 0.0469 Bq/lt’ye düşmüştür. Beta aktivitesinin düşmesi Şekil 6.4’deki 4 numaralı numunenin jeolojik formasyonundan kaynaklanabilir. Bu kuyuların jeolojik formasyonlarında yaklaşık olarak %99 oranında kireçtaşı vardır ve bu kireçtaşları beta yayıcı radyoaktif maddeleri absorplamış olabilirler.

Su depolarından alınan numunelerin alfa aktivitelerinin beta aktivitelerine nazaran yüksek çıkmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir: Şekil 6.1’de 2 numaralı numune olan F.Ü. Araştırma Hastahanesi önündeki su deposu 0.0900 ± 0.0480 Bq/lt alfa ve 0.0205 ± 0.0116 Bq/lt beta aktivitesine sahiptir. Elazığ’ın güney-doğu kesimindeki su numunelerinin ortalama alfa aktivitesi 0.090 Bq/lt ve ortalama beta aktivitesi 0.1 Bq/lt’dir. Sonuçta alfa aktivitesi değişmez iken beta aktivitesinin düşme gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6.1: Elazığ şehir merkezinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: Abdullahpaşa su deposu, 2: F.Ü. Araştırma Hastahanesi su deposu önü, 3: F.Ü. kampüs içme suyu, 4: Karaçalı suyu (Şehitilhanlar).*
*: Bölüm 6’daki grafiklerin sütunları üzerindeki sayılar, her bir su numunesinin ayrı ayrı beta/alfa aktivite oranını göstermektedir.

Bunun yanında Şekil 6.1'deki 1 numaralı numunenin alfa aktivitesinin yüksek olduğu görülür. Bunun sebebi, suların çıkarıldığı bölgenin kayalık olmasından kaynaklanabilir [Gilkeson vd., 1987; King vd., 1982; Yu vd., 1994]. Ayrıca, su depolarından alınan numunelerin alfa aktivitelerinin beta aktivitelerinden daha yüksek olmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir: Yapılan çalışmalarda radon gazının (^{222}Rn) soğuk sulara çözünürlüğünün arttığı ve bina yapısında kullanılan materyallerde Radon konsantrasyonunun daha yüksek olduğu saptanmıştır [Yu vd., 1994; Lawrence, 1994]. Bu sebepten dolayı suların biriktirildiği depoların beton duvardan yapılması ve suların sıcaklığının düşük olması radon konsantrasyonunun artmasını sağlayabilir. Bu nedenle su depolarındaki alfa aktiviteleri yüksek çıkmış olabilir. Şekil 6.1'e bakıldığında 4 numaralı numune olan Karaçalı suyunun beta aktivitesinin en yüksek değerde olduğu görülür. Bunun sebebi, Karaçalı suyunun kaynağının olduğu yerde bakır, bakırlı pirit, manganez vb. madenlerin bulunmasıdır.

Şekil 6.1'e bakıldığında 2 ve 4 numaralı numunelerin alfa aktivitelerinin 0.1 Bq/lit değerinin altında olduğu, bunun yanında 1 ve 3 numaralı numunelerin alfa aktivitelerinin ise 0.1 Bq/lit ile 0.2 Bq/lit arasında değiştiği görülmektedir. Bütün numunelerin beta aktivitesi ise 1 Bq/lit olan standart değerinin altındadır. Ayrıca bu grafikte, su numunelerinin beta/alfa aktivite oranlarının 0.23 ile 7.57 arasındaki değerlerde değiştiğini de görmek mümkündür.

6.1.1.2. Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.6-6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.6: Elazığ'ın Kovancılar ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Kovancılar		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.0642	1.0189	1.1948
Net Numune Kütlesi (mgr)	28.8	27.3	35.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.5397	2.4074	3.1570
Alfa Sayımı (cpm)	0.5598	0.5400	0.0498
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.4888	0.4584	0.0471
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	4.8880	4.5840	0.4710
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1809	0.1696	0.0174
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0416	0.0406	0.0460
Beta Sayımı (cpm)	4.5000	3.9264	3.3750
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4090	0.3701	0.2684
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.0903	3.7011	2.6842
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1513	0.1369	0.0993
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0332	0.0313	0.0252

Tablo 6.7: Elazığ'ın Karakoçan ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Karakoçan		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1451	1.2011	1.2322
Net Numune Kütlesi (mgr)	17.4	21.1	20.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.5344	1.8610	1.8342
Alfa Sayımı (cpm)	0.3600	0.4002	0.0402
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2642	0.3140	0.0309
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	2.6420	3.1400	0.3091
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0980	0.1162	0.0114
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0132	0.0167	0.0170
Beta Sayımı (cpm)	3.5400	3.0150	3.6000
Beta Aktivitesi (pCi)	0.5299	0.3069	0.3818
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	5.2997	3.0693	3.8176
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1961	0.1136	0.1413
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0558	0.0343	0.0334

Tablo 6.8: Elazığ'ın Alacakaya ilçesi için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Alacakaya</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0820	1.0800	1.1157
Net Numune Kütlesi (mgr)	12.9	12.6	13.3
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.1380	1.1100	1.1730
Alfa Sayımı (cpm)	0.1998	0.0702	0.3150
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1372	0.0482	0.2213
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.3723	0.4820	2.2132
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0508	0.0178	0.0819
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0495	0.0523	0.0536
Beta Sayımı (cpm)	3.4362	2.3598	4.0500
Beta Aktivitesi (pCi)	0.7950	0.6006	0.5154
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	7.9497	6.0060	5.1540
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.2942	0.2222	0.1907
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0810	0.0970	0.0429

Tablo 6.9: Elazığ'ın Maden ilçesi için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Maden İlçe Şebeke Suyu</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0840	1.0286	1.0779
Net Numune Kütlesi (mgr)	18.5	16.3	20.4
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.6314	1.4374	1.7989
Alfa Sayımı (cpm)	0.2400	0.1002	0.1152
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1789	0.0721	0.0888
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.7891	0.7206	0.8877
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0662	0.0267	0.0328
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0160	0.0145	0.0147
Beta Sayımı (cpm)	2.9796	3.1800	2.8248
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4740	0.5781	0.3268
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.7395	5.7810	3.2679
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1754	0.2139	0.1209
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0610	0.0706	0.0418

Tablo 6.10: Elazığ'ın Sivrice ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Karaçalı+Gölbaşı Suyu (Sivrice)		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0376	1.1580	1.0412
Net Numune Kütlesi (mgr)	6.4	12.3	7.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	0.5644	1.0847	0.6349
Alfa Sayımı (cpm)	0.2850	0.2862	0.1464
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1834	0.1979	0.0952
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	1.8338	1.9790	0.9520
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.0679	0.0732	0.0352
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0221	0.0235	0.0212
Beta Sayımı (cpm)	2.2596	1.9602	0.6204
Beta Aktivitesi (pCi)	1.0650	0.4989	0.2632
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	10.6496	4.9888	2.6316
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.3940	0.1846	0.0974
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0742	0.0465	0.0765

Tablo 6.11: Elazığ'ın Maden ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Maden İçme Suyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1815	1.3540	1.2370
Net Numune Kütlesi (mgr)	15.9	15.9	16.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	1.4021	1.4020	1.4286
Alfa Sayımı (cpm)	0.1002	0.0132	0.0402
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0730	0.0095	0.0270
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	0.7297	0.0946	0.2703
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.0275	0.0036	0.0100
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0034	0.0033	0.0047
Beta Sayımı (cpm)	2.5650	9.6198	1.9998
Beta Aktivitesi (pCi)	0.5939	2.2270	0.4241
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	5.9390	22.2700	4.2413
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.2197	0.8240	0.1569
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0390	0.0370	0.0401

Tablo 6.12: Elazığ'ın Baskil ilçesi için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Baskil</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1232	1.1322	1.2418
Net Numune Kütlesi (mgr)	18.4	18.7	20.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	1.6230	1.6490	1.8340
Alfa Sayımı (cpm)	0.4998	0.7734	0.7200
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.3726	0.4976	0.4863
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	3.7260	4.9763	4.8630
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1379	0.1841	0.1799
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0194	0.0122	0.0156
Beta Sayımı (cpm)	5.3350	7.0650	1.5150
Beta Aktivitesi (pCi)	0.9906	1.0578	0.1836
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	9.9060	10.5780	1.8360
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.3670	0.3914	0.0679
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0376	0.0285	0.0199

Tablo 6.13: Elazığ'ın Palu ilçesi için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Palu</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.3658	1.0530	1.2554
Net Numune Kütlesi (mgr)	25.7	25.4	26.5
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	2.2663	2.2398	2.3370
Alfa Sayımı (cpm)	0.3654	0.1500	0.4602
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.3060	0.1282	0.0201
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	3.0596	1.2824	0.2011
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1132	0.0475	0.0074
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0135	0.0168	0.0011
Beta Sayımı (cpm)	5.2998	6.1404	2.7852
Beta Aktivitesi (pCi)	0.5188	1.0020	0.2726
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	5.1880	10.0200	2.7260
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1920	0.3710	0.1009
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0093	0.0173	0.0095

Tablo 6.14: Elazığ'ın Arıcak ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Arıcak		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1881	1.1253	1.0692
Net Numune Kütlesi (mgr)	10.6	9.6	15.0
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	0.9347	0.8466	1.3230
Alfa Sayımı (cpm)	0.0300	0.2202	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0202	0.1504	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.2020	1.5040	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0075	0.0560	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0133	0.0148	----
Beta Sayımı (cpm)	0.3918	2.4678	1.0158
Beta Aktivitesi (pCi)	0.1246	0.7851	0.2585
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	1.2460	7.8510	2.5851
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0460	0.2910	0.0957
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0505	0.0550	0.0439

Tablo 6.15: Elazığ'ın Ağın ilçesi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Ağın		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1434	1.2408	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	30.2	31.7	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.6630	2.7954	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.8448	0.7800	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.7592	0.7116	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	7.5919	7.1162	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.2617	0.2321	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0375	0.0435	----
Beta Sayımı (cpm)	8.9052	7.9650	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.8095	0.6756	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	8.0950	6.7560	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.2995	0.2499	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0181	0.0150	----

Tablo 6.16: Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.

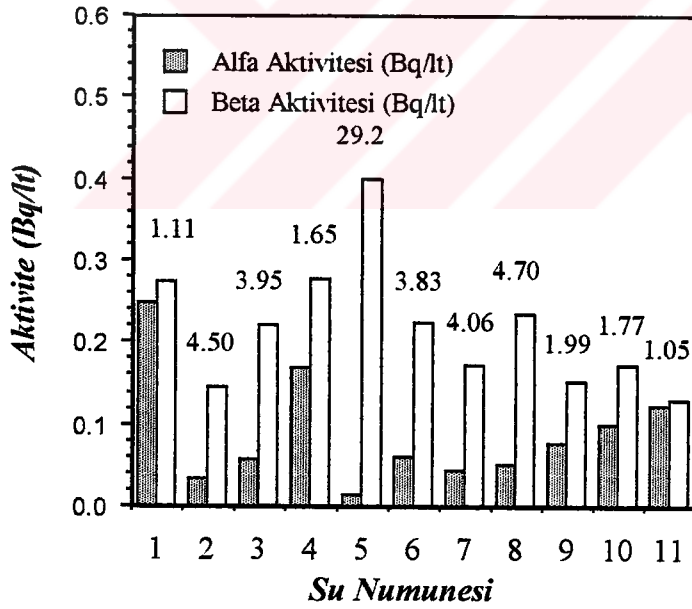
<i>Numune Adı</i>	<i>Alfa Aktivitesi (Bq/l)</i>	<i>Beta Aktivitesi (Bq/l)</i>
Kovancılar	0.1226 ± 0.0742	0.1292 ± 0.0521
Karakoçan	0.0752 ± 0.0272	0.1503 ± 0.0735
Alacakaya	0.0502 ± 0.0241	0.2357 ± 0.1335
Maden Şebeke Suyu	0.0419 ± 0.0261	0.1701 ± 0.1023
Karaçalı + Gölbaşı Suyu	0.0588 ± 0.0386	0.2253 ± 0.1162
Maden İçme Suyu	0.0137 ± 0.0067	0.4002 ± 0.0671
Baskil	0.1673 ± 0.0277	0.2754 ± 0.0512
Palu	0.0560 ± 0.0220	0.2213 ± 0.0218
Arıcak	0.0320 ± 0.0199	0.1442 ± 0.0866
Keban İçme Suyu	0.0976 ± 0.0761	0.1727 ± 0.0522
Ağın	0.2469 ± 0.0574	0.2747 ± 0.0235

Elazığ'ın ilçelerinden toplam 11 adet su numunesi alınmış ve radyoaktif açıdan incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.2'de gösterilmiştir. İncelenen su numunelerinin alfa aktiviteleri 0.0137 ± 0.0067 Bq/l ile 0.2469 ± 0.0574 Bq/l arasında değişme göstermektedir. Beta aktiviteleri ise 0.1292 ± 0.0521 Bq/l ile 0.4002 ± 0.0671 Bq/l arasındaki değerlerde farklılık göstermektedir. İncelenen su numunelerinin hepsinde beta aktivitesi alfa aktivitesinden daha yüksek değerdedir. Şekil 6.2 incelendiğinde beta aktivitelerinin alfa aktivitelerine oranlarının her su numunesi için 1'den büyük olduğu ve 1.05 ile 29.2 arasındaki değerlerde değiştiği görülür. Su numunelerinin %72'sinin alfa aktivitesi 0.1 Bq/l'den daha düşük değerdedir. Geriye kalan %30'luk bir kısmın alfa aktivitesi ise 0.1 Bq/l'den büyük değerdedir. Şekil 6.4 ve Şekil 6.2'nin beta/alfa aktivite oranları karşılaştırıldığında; Elazığ ilçelerinden alınan su numunelerinin beta/alfa aktivite oranlarının, Şekil 6.4'de bulunan ve Elazığ'ın güney-batı kesimine ait olan su numunelerinin beta/alfa aktivite oranlarından daha yüksek değerde olduğu görülür. Şekil 6.2 incelendiğinde beta/alfa aktivite oranlarının genellikle birbirlerine yakın değerlerde

değiştirdiği, bunun yanında 5 numaralı numune olan Maden içme suyunun beta/alfa aktivite oranında büyük bir artış olduğu görülmektedir. Maden ilçesinden alınmış olan bu su numunesinin beta ile alfa radyoaktivite seviyesi arasında bu kadar büyük bir fark bulunması ve beta aktivitesinin diğer ilçelere göre en yüksek değerde olması bu ilçelerde bakır, bakırlı pirit, bakır-çinko, kurşun-çinko, demir, krom, manganez gibi madenlerin çıkarılmasına bağlanabilir.

İncelenen su numunelerinde hesaplanan beta aktivite değerleri, alfa aktivite değerlerine nazaran daha yüksek çıkmasına rağmen standart değer olan 1 Bq/lt'den daha düşük değerdedir.

Elazığ'ın ilçelerinin alfa ve beta aktivitelerinin genel ortalaması, sırası ile 0.0875 ± 0.0030 Bq/lt ve 0.2181 ± 0.1203 Bq/lt olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.2: Elazığ'ın ilçelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: Ağın, 2: Arıcak, 3: Palu, 4: Baskil, 5: Maden içme suyu, 6: Karaçalı+Gölbaşı suyu (Sivrice), 7: Maden şebeke suyu, 8: Alacakaya, 9: Karakoçan, 10: Keban içme suyu, 11: Kovancılar.*

Sonuç olarak, Elazığ ilçelerinin su numunelerinin alfa ve beta radyasyon seviyeleri, uluslararası standartların bir hayli altında olduklarından, bu suların sağlık açısından herhangi bir tehlike arz etmediği söylenebilir.

6.1.1.3. Elazığ'ın Keban ilçesinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Elazığ'ın Keban ilçesinden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.17-6.24'de verilmiştir.

Tablo 6.17: Elazığ'ın Keban ilçe merkezi için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Keban İlçesi İçme Suyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0766	1.1718	1.2081
Net Numune Kütlesi (mgr)	21.0	21.8	22.5
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.8520	1.9223	1.9840
Alfa Sayımı (cpm)	0.0804	0.7620	0.1698
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0595	0.5973	0.1346
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/l)	0.5946	5.9730	1.3460
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/l)	0.0220	0.2210	0.0498
Standart Sapma (Bq/l)	0.0320	0.0570	0.0390
Beta Sayımı (cpm)	3.4950	6.6660	0.6900
Beta Aktivitesi (pCi)	0.5559	0.7711	0.0732
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/l)	5.5590	7.7110	0.7320
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/l)	0.2060	0.2850	0.0270
Standart Sapma (Bq/l)	0.0143	0.0489	0.0115

Tablo 6.18: SÜMYO altındaki “kaçak su” için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	F. Ü. Keban SÜMYO Altındaki Kaçak Su		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0834	1.0924	1.0624
Net Numune Kütlesi (mgr)	26.8	28.6	28.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.3633	2.5221	2.4868
Alfa Sayımı (cpm)	0.2298	0.2400	0.1002
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1951	0.2076	0.0875
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.9510	2.0760	0.8750
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0722	0.0768	0.0324
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0158	0.0185	0.0186
Beta Sayımı (cpm)	3.5604	3.7200	4.3752
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3356	0.3382	0.3977
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	3.3561	3.3815	3.9771
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1242	0.1250	0.1470
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0368	0.0330	0.0331

Tablo 6.19: Keban Barajı 2 nolu numune için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Keban Barajı 2 Nolu Numune (Bendin Sol Kısmı)		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1456	1.0929	1.0734
Net Numune Kütlesi (mgr)	22.7	20.49	19.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.0018	1.8069	1.7460
Alfa Sayımı (cpm)	0.4482	0.0840	0.1002
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.3558	0.0650	0.0766
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	3.5580	0.6499	0.7656
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1317	0.0240	0.0283
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0133	0.0135	0.0141
Beta Sayımı (cpm)	4.3002	4.3002	2.2452
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4209	0.4975	0.3571
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.2090	4.9747	3.5713
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1557	0.1841	0.1321
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0038	0.0446	0.0570

Tablo 6.20: Fırat Üniversitesi Keban SÜMYO altı için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Fırat Ünv. Keban SÜMYO Altı		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1018	1.1487	1.0578
Net Numune Kütlesi (mgr)	24.0	21.0	23.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.1164	1.8519	2.0459
Alfa Sayımı (cpm)	0.0204	0.0852	0.3402
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0166	0.0668	0.2718
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.1663	0.6677	2.7183
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0062	0.0247	0.1006
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0124	0.0149	0.0171
Beta Sayımı (cpm)	4.8174	3.1452	1.4202
Beta Aktivitesi (pCi)	0.5109	0.3639	0.1423
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	5.1086	3.6385	1.4230
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1890	0.1346	0.0527
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0338	0.0360	0.0260

Tablo 6.21: Keban Barajı 4 nolu numune için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Keban Barajı 4 Nolu Numune (Bendin Sağ Kısmı)		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.2484	1.0768	1.2006
Net Numune Kütlesi (mgr)	19.5	21.2	25.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.7196	1.8695	2.2750
Alfa Sayımı (cpm)	0.1278	0.0402	0.0168
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0964	0.0311	0.1407
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.9644	0.3111	1.4067
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0357	0.0115	0.0521
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0135	0.0165	0.0133
Beta Sayımı (cpm)	2.1396	1.6200	2.4372
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3203	0.1718	0.2297
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	3.2032	1.7179	2.2973
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1185	0.0636	0.0850
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0470	0.0326	0.0291

Tablo 6.22: Keban Barajı 3 nolu numune için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Keban Barajı 3 Nolu Numune (Bendin Sol Kısmı)		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.2475	1.3596	1.0893
Net Numune Kütlesi (mgr)	26.7	21.5	21.5
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.3545	1.8959	1.8959
Alfa Sayımı (cpm)	0.2502	0.2400	0.1230
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2124	0.1881	0.0964
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	2.1241	1.8808	0.9639
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0786	0.0696	0.0357
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0289	0.0336	0.0263
Beta Sayımı (cpm)	1.0800	2.0358	2.2296
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0996	0.2073	0.2270
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	0.9959	2.0725	2.2698
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0369	0.0767	0.0840
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0336	0.0333	0.0239

Tablo 6.23: Keban Barajı 1 nolu numune için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Keban Barajı 1 Nolu Numune (TEK Nizamiyesi)		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1243	1.0787	1.2061
Net Numune Kütlesi (mgr)	19.5	24.5	26.1
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.7196	2.1605	2.3016
Alfa Sayımı (cpm)	0.0864	0.1248	0.2004
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0652	0.1017	0.1678
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.6520	1.0171	1.6780
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0241	0.0376	0.0621
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0120	0.0156	0.0178
Beta Sayımı (cpm)	2.3400	2.3100	3.3162
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3631	0.2390	0.3376
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	3.6314	2.3899	3.3760
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1344	0.0884	0.1249
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0570	0.0270	0.0339

Tablo 6.24: Elazığ'ın Keban ilçesinden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.

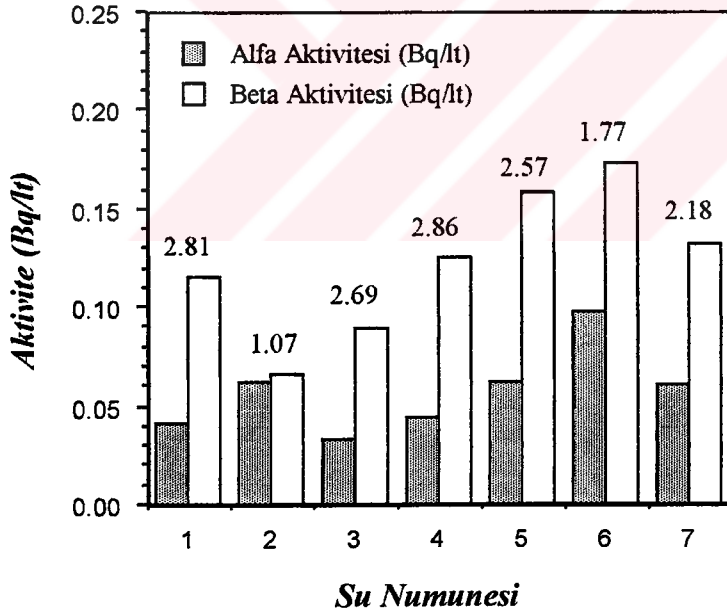
<i>Numune Adı</i>	<i>Alfa Aktivitesi (Bq/l)</i>	<i>Beta Aktivitesi (Bq/l)</i>
Keban İlçesi İçme Suyu	0.0976 ± 0.0761	0.1727 ± 0.0522
SÜMYO Altı Kaçak Suyu	0.0605 ± 0.0307	0.1321 ± 0.0595
F.Ü. Keban SÜMYO Altı	0.0438 ± 0.0258	0.1254 ± 0.0558
Keban Bar. 1 Nolu Numune	0.0413 ± 0.0265	0.1159 ± 0.0716
Keban Bar. 2 Nolu Numune	0.0613 ± 0.0236	0.1573 ± 0.0725
Keban Bar. 3 Nolu Numune	0.0613 ± 0.0515	0.0658 ± 0.0530
Keban Bar. 4 Nolu Numune	0.0331 ± 0.0252	0.0890 ± 0.0642

Elazığ'ın Keban ilçesinin su açısından zengin olması, tatlı su balıkçılığının bu bölgede yaygın olarak yapılması ve burada önceki yıllarda dökümhaneler, toksit atık meydana getirebilecek fabrikaların çalışmış olması, bu bölgenin detaylı olarak incelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu ilçeden toplanan su numunelerinin belirlenen alfa ve beta aktiviteleri Şekil 6.3'de verilmiştir. Su numunelerinin hesaplanmış olan aktivite değerlerinin tamamının 0.1 Bq/l değerinden küçük olduğu ve 0.0331 ± 0.0252 Bq/l ile 0.0976 ± 0.0761 Bq/l arasında değiştiği görülmektedir. Beta aktiviteleri ise 1 Bq/l değerinin çok çok altında olup 0.0658 ± 0.0530 Bq/l ile 0.1727 ± 0.0522 Bq/l değerleri arasında değişmektedir. Su numunelerinin beta/alfa aktivite oranları ise 1.07 ile 2.86 değerleri arasında farklılık göstermektedir.

Şekil 6.3'deki 2, 3 ve 5 numaralı numuneler Keban Barajının iç kısmındaki bölgelerden, 1 numaralı numune ise baraj tarafından tahliye edilen suların karıştığı bir bölgeden alınmıştır (TEK Nizamiyesi). Tahliye edilen ve tahliye edilmeyen suların, aktivite açısından karşılaştırılması yapıldığında; 2, 3 ve 5 nolu numunelerin alfa ve beta aktivitelerinin aritmetik ortalamalarının 1 numaralı numunenin hesaplanmış olan alfa ve beta aktivite değerlerine çok yakın olduğu görülür. Bu sonuç, radyoaktif maddelerin sular tarafından taşınabileceğini göstermektedir.

Şekil 6.3'deki 1 ve 4 numaralı numuneler aynı su yatağından fakat farklı yerlerden alınmıştır. Bu su numunelerinin hem alfa hem de beta aktiviteleri arasında bir kıyaslama yapıldığında numunelerin aktivitelerinin hemen hemen birbirine yakın değerlerde olduğu görülür (4 numaralı su numunesinin alfa aktivitesi 0.0438 ± 0.0258 Bq/lt, beta aktivitesi 0.1254 ± 0.0558 Bq/lt ve 1 numaralı su numunesinin alfa aktivitesi 0.0413 ± 0.027 Bq/lt, beta aktivitesi 0.1159 ± 0.0716 Bq/lt). Aktivite değerleri arasındaki bu çok küçük farklılıklar 4 numaralı numunenin alındığı yere dökülen ve “kaçak su” olarak adlandırılan suyun etkisinden kaynaklanabilir.

Ayrıca 4 numaralı numunenin alındığı bölgenin üst kısmında daha önceki yıllarda ETİBANK tarafından işletilmiş dökümhaneler vardır ve şimdi faal durumda olmamasına rağmen ortamda hala kükürt bulunmaktadır.



Şekil 6.3: Elazığ'ın Keban ilçesinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: Keban Barajı TEK nizamıyesi, 2: Keban Barajı 3 numaralı numune (Bendin Sol Kısmı), 3: Keban Barajı 4 numaralı numune (Bendin Sağ Kısmı), 4: Keban SÜMYO altı, 5: Keban Barajı 2 numaralı numune (Bendin Sol Kısmı), 6: Keban içme suyu, 7: Keban kaçak suyu.*

1 ve 4 numaralı numunelerin aktivite değerlerinin birbirine çok yakın olması, dökümhanelerin suya radyoaktif açıdan herhangi bir katkıda bulunmadığını göstermektedir.

Şekil 6.3'de 6 numaralı numune olan ve Keban ilçesinin içme ve kullanım amaçlı su ihtiyacını karşılayan ilçe şebeke suyunun alfa ve beta aktivitelerinin diğer numunelerin aktivitelerine göre daha fazla olduğu göze çarpar. Bunun sebebi, şebeke suyunun bölgedeki çeşitli su kaynaklarından sağlanmasıdır.

Topraktan suya radyoaktif elementlerin karışma miktarı Keban Baraj Gölü kullanılarak saptanmıştır. Bu ölçüm için aynı yerden alınan toprak ve su numunelerinin aktiviteleri ölçülmüş ve toprakta bulunan aktivitenin ancak %8.3'ü suda detekte edilebilmiştir. Literatürde ^{134}Cs ve ^{137}Cs radyonüklidlerini içeren toprağın, bu radyonüklidlerin ancak %7 ile %9'unu suya aktardığı saptanmıştır [Polar vd., 1989]. Bu radyonüklid oranlarının belirli bir değer arasında değişmesi, toprağın pH'ı, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı gibi birçok faktöre bağlıdır [Koranda vd., 1978; Cummings vd., 1969; Menzel, 1963]. Sonuç olarak hesapladığımız bu değer literatürle uyum içerisindedir.

6.1.2. Elazığ'ın güney-batı kesiminden alınan su numunelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri

Elazığ'ın güney-batı kesiminden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.25-6.29'da verilmiştir.

Tablo 6.25: Fırat Üniversitesi Çiftlik Suyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Fırat Üniversitesi Çiftlik Suyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1947	1.1731	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	27.0	24.3	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.3810	2.1430	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.1800	0.4752	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1537	0.3925	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	1.5367	3.9253	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.0569	0.1452	----
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0378	0.0349	----
Beta Sayımı (cpm)	2.4498	3.3402	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.2309	0.3400	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	2.3092	3.4004	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.0854	0.1258	----
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0299	0.0401	----

Tablo 6.26: Yolçatı 1 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Yolçatı 1 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.2232	1.0575	1.1754
Net Numune Kütlesi (mgr)	29.4	30.8	30.9
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.5926	2.7161	2.7300
Alfa Sayımı (cpm)	0.2598	0.6252	0.3618
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2269	0.5620	0.3253
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	2.2690	5.6200	3.2530
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.0840	0.2080	0.1204
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0097	0.0405	0.0328
Beta Sayımı (cpm)	4.1202	3.8202	4.7598
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3616	0.3136	0.3908
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	3.6159	3.1364	3.9078
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.1338	0.1161	0.1446
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0353	0.0334	0.0265

Tablo 6.27: Yolçatı 2 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Yolçatı 2 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.2257	1.1817	1.2168
Net Numune Kütlesi (mgr)	31.9	31.7	31.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.8131	2.7954	2.7513
Alfa Sayımı (cpm)	0.1440	0.5574	0.3048
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1314	0.5085	0.2795
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.3138	5.0854	2.7946
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0486	0.1882	0.1034
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0307	0.0365	0.0355
Beta Sayımı (cpm)	4.7400	4.1052	4.3398
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4160	0.3603	0.3945
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.1598	3.6027	3.9447
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1539	0.1333	0.1460
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0151	0.0138	0.0147

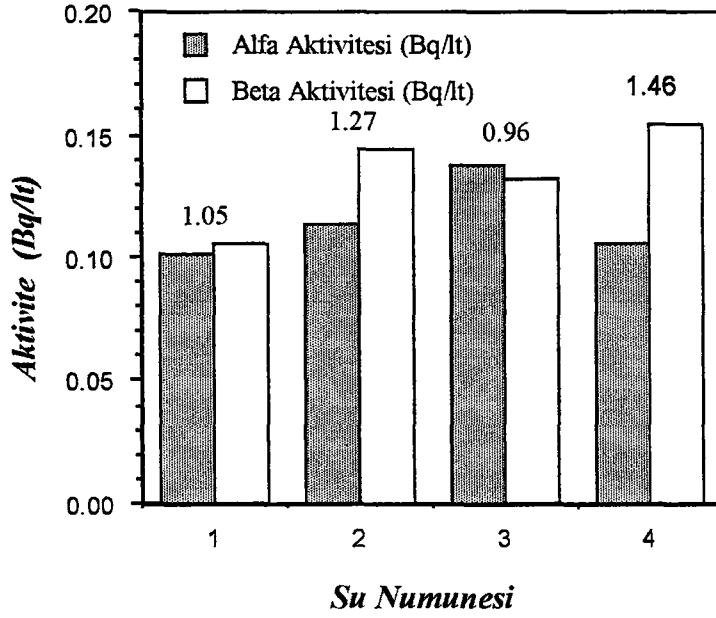
Tablo 6.28: Yolçatı 1 ve 2 nolu kuyular için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	Yolçatı 1 ve 2 Nolu Kuyular (Karışık)		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1145	1.0801	1.1241
Net Numune Kütlesi (mgr)	36.8	33.3	32.4
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.2450	2.9365	2.8571
Alfa Sayımı (cpm)	0.4800	0.2550	0.1398
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.4809	0.2410	0.1322
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	4.8099	2.4104	1.3215
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1780	0.0892	0.0489
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0358	0.0375	0.0394
Beta Sayımı (cpm)	5.1396	4.5198	6.4002
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3634	0.3711	0.5090
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	3.6335	3.7110	5.0903
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1344	0.1373	0.1883
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0231	0.0281	0.0278

Tablo 6.29: Elazığ'ın güney-batı kesiminden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.

<i>Numune Adı</i>	<i>Alfa Aktivitesi (Bq/l)</i>	<i>Beta Aktivitesi (Bq/l)</i>
F.Ü. Çiftlik Suyu	0.1011 ± 0.0514	0.1056 ± 0.0500
Yolçatı 1 Nolu Kuyu	0.1375 ± 0.0530	0.1315 ± 0.0554
Yolçatı 2 Nolu Kuyu	0.1134 ± 0.0594	0.1444 ± 0.0252
Yolçatı 1 ve 2 Nolu Kuyular	0.1053 ± 0.0650	0.1534 ± 0.0458

Bu bölgede bir su deposu ve üç kuyu olmak üzere toplam dört tane su numunesi incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak Şekil 6.4 çizilmiştir. Grafik göz önünde bulundurulduğunda, incelenen bütün suların alfa aktivitelerinin 0.1011 ± 0.0514 Bq/l ile 0.1053 ± 0.065 Bq/l değerleri arasında değiştiği görülür. İlgili grafikte elde edilen aktivite sonuçlarında beta aktivitesi alfa aktivitesinden %75 oranında daha büyüktür. Beta/alfa oranı ise 0.96 ile 1.46 değerleri arasında değişme göstermektedir. Beta aktivitelerinin alfa aktivitesinden %75 oranında büyük olması, bu sular içerisinde beta yayıcı radyoaktif izotopların konsantrasyonunun alfa aktif radyoaktif izotoplara göre daha yüksek olduğunu gösterir. Yeraltı sularında genellikle beta yayıcı radyoaktif izotop olarak ^{224}Ra ve ^{228}Ra gibi radyonüklidler bulunduğundan bu sularda bu radyoaktif izotopların varlığından bahsetmek mümkündür [Duenas vd., 1993]. İnsan sağlığı açısından bu radyoizotop konsantrasyonları değerlendirilirse, incelenen sulardaki alfa aktif radyoizotopların beta aktif radyoizotoplara nazaran konsantrasyonları düşük olmasına rağmen sağlık açısından meydana getireceği zararlı etkiler daha büyüktür. Bunun sebebi, alfa parçacıklarının beta parçacıklarına nazaran daha fazla iyonizasyon ve tahribat meydana getirmesidir [Göksel,1973; Knoll, 1979]. Bu durumu ilgili grafikten açıkça görmek mümkündür. Şekil 6.4'de su numunelerinin alfa aktivitelerinin WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı), TSE (Türk Standartları Enstitüsü), İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) gibi yetkili kurumlar tarafından belirlenmiş olan 0.1 Bq/l standart değerinin çok az yukarısında, bunun yanında beta aktivitelerinin ise 1 Bq/l olan standart aktivite değerinden 0.1534 kat daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Elazığ'ın güney-batı



Şekil 6.4: Elazığ'ın güney-batı kesiminin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: Fırat Üniversitesi Çiftlik Suyu. 2: Yolçatı 2 nolu kuyu. 3: Yolçatı 1 nolu kuyu. 4: Yolçatı 1 ve 2 nolu kuyu karışımı.*

kesiminin genel ortalama alfa aktivitesi 0.1143 ± 0.028 Bq/l ve beta aktivitesi 0.1337 ± 0.0904 Bq/l olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; bu bölgeden alınan su numunelerinde alfa aktivitelerinin, belirlenmiş olan üst limit civarında, beta aktivitelerinin ise zararlı olacak üst limit değerinden çok çok aşağıdaki değerlerde değiştiği söylenebilir.

6.1.3. Elazığ'ın güney-doğu kesiminden alınan su numunelerinin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri

Elazığ'ın güney-doğu kesiminden alınan su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.30-6.43'de verilmiştir.

Tablo 6.30: Mollaköy suyu için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Mollaköy Suyu (Karışık)</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1300	1.1275	1.1659
Net Numune Kütlesi (mgr)	91.9	92.3	91.0
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	8.1000	8.1390	8.0247
Alfa Sayımı (cpm)	0.1098	0.2178	0.1602
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2397	0.4755	0.3413
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	1.1985	2.3774	1.7080
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.0444	0.0880	0.0632
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0149	0.0161	0.0162
Beta Sayımı (cpm)	2.2596	0.9078	1.3848
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0669	0.0269	0.0410
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	0.3344	0.1343	0.2049
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.0124	0.0049	0.0076
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0028	0.0025	0.0026

Tablo 6.31: Elazığ'ın Mollakendi Belediyesine ait su kuyusu için elde edilen sonuçlar.

<i>Numune Adı</i>	<i>Mollakendi Belediyesine Ait Su Kuyusu</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0679	1.0779	1.0918
Net Numune Kütlesi (mgr)	22.2	28.5	30.7
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	1.9577	2.5132	2.7070
Alfa Sayımı (cpm)	0.3702	0.2100	0.1800
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.2939	0.1834	0.1618
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	2.9388	1.8338	1.6180
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.1087	0.0679	0.0539
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0158	0.0171	0.0133
Beta Sayımı (cpm)	4.6002	4.2198	3.9000
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4683	0.4131	0.3545
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	4.6831	4.1310	3.5450
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.1733	0.1529	0.1312
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0398	0.0319	0.0356

Tablo 6.32: 56 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	56 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0566	1.1145	1.0942
Net Numune Kütlesi (mgr)	25.4	22.8	25.1
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	2.2400	2.0100	2.2100
Alfa Sayımı (cpm)	0.5760	0.4780	0.2898
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.4789	0.3850	0.2390
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	4.7890	3.8500	2.3900
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1770	0.1430	0.0880
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0207	0.0187	0.0177
Beta Sayımı (cpm)	5.5800	3.7152	3.7098
Beta Aktivitesi (pCi)	2.8135	0.3946	0.3892
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	28.1351	3.9460	3.8919
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	1.0410	0.1460	0.1440
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0550	0.0093	0.0083

Tablo 6.33: 59 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	59 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0987	1.0697	1.0800
Net Numune Kütlesi (mgr)	20.9	24.7	16.2
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ³)	1.8430	2.1780	1.4300
Alfa Sayımı (cpm)	0.5040	0.3642	0.3120
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.3900	0.3000	0.2260
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	3.9000	3.0000	2.2600
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.1443	0.1110	0.0840
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0145	0.0165	0.0130
Beta Sayımı (cpm)	4.2942	7.6998	2.2398
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4781	0.6973	0.4081
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.7811	6.9730	4.0811
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1769	0.2580	0.1510
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0103	0.0093	0.0173

Tablo 6.34: 65 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	65 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.1176	1.1074	1.0395
Net Numune Kütlesi (mgr)	39.9	39.6	32.8
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.5200	3.4900	2.8900
Alfa Sayımı (cpm)	0.4416	0.4776	0.2280
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.4580	0.4950	0.2128
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	4.5800	4.9500	2.1280
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.1690	0.1800	0.0780
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0315	0.0250	0.0831
Beta Sayımı (cpm)	4.6800	2.2200	2.7120
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3140	0.1490	0.2465
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	3.1400	1.4900	2.4650
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.1162	0.0550	0.0910
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0058	0.0060	0.0070

Tablo 6.35: 13 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	13 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Planşet No)			
Planşet + Numune Kütlesi (gr)	1.0766	1.0863	1.0592
Net Numune Kütlesi (mgr)	29.8	25.2	25.0
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.6300	2.2200	2.2040
Alfa Sayımı (cpm)	0.6360	0.4920	0.3840
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.5640	0.4065	0.3170
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lit)	5.6400	4.0650	3.1700
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lit)	0.2090	0.1500	0.1200
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0207	0.0187	0.0180
Beta Sayımı (cpm)	3.6498	4.8750	2.5800
Beta Aktivitesi (pCi)	0.3318	0.4765	0.2525
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lit)	3.3180	4.7650	2.5250
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lit)	0.1227	0.1760	0.0934
Standart Sapma (Bq/lit)	0.0125	0.0170	0.0190

Tablo 6.36: 53 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	53 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.0610	----	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	25.8	----	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	2.2800	----	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.2160	----	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1809	----	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.8090	----	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0670	----	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0066	----	----
Beta Sayımı (cpm)	4.4600	----	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.4378	----	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	4.3784	----	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.1620	----	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0416	----	----

Tablo 6.37: 43891 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	43891 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1176	1.1603	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	61.0	57.9	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	5.3800	5.1000	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.3822	0.2760	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.5629	0.3880	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	5.6290	3.8800	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.2100	0.1400	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0095	0.0440	----
Beta Sayımı (cpm)	1.2318	0.4800	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0834	0.0351	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	0.8378	0.3514	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0310	0.0130	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0125	0.0115	----

Tablo 6.38: 43890 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	43890 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1161	1.0921	1.1235
Net Numune Kütlesi (mgr)	43.69	46.4	48.6
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.8500	4.0900	4.2900
Alfa Sayımı (cpm)	0.1800	0.0150	0.2040
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1983	0.0173	0.2445
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.9825	0.1730	2.4450
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0734	0.0064	0.0905
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0184	0.0149	0.0170
Beta Sayımı (cpm)	1.8600	0.9198	0.0077
Beta Aktivitesi (pCi)	0.2297	0.0460	0.3746
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	2.2973	0.4595	3.7460
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0850	0.0170	0.0001
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0110	0.0032	0.0162

Tablo 6.39: 53+43891 nolu kuyular için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	53+43891 Nolu Kuyular (Karışık)		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1013	----	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	67.3	----	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	5.9400	----	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.0240	----	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0397	----	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.3970	----	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0150	----	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0069	----	----
Beta Sayımı (cpm)	2.0022	----	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0780	----	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	0.7800	----	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0289	----	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0120	----	----

Tablo 6.40: 43886 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	43886 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.0658	1.0818	1.0754
Net Numune Kütlesi (mgr)	8.3	36.0	26.0
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	0.7320	3.1750	2.2930
Alfa Sayımı (cpm)	0.2160	0.5040	0.2520
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1421	0.4852	0.2111
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.4210	4.8520	2.1100
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0530	0.1790	0.0780
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0110	0.0055	0.0135
Beta Sayımı (cpm)	0.1500	1.8000	1.5900
Beta Aktivitesi (pCi)	0.0637	0.1309	0.1686
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	0.6370	1.3086	1.6859
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0240	0.0484	0.0624
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0109	0.0068	0.0028

Tablo 6.41: 43885 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

Numune Adı	43885 Nolu Kuyu		
	1	2	3
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.0848	1.0944	1.0752
Net Numune Kütlesi (mgr)	17.4	40.8	40.6
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	1.5340	3.6000	3.5800
Alfa Sayımı (cpm)	0.1998	0.5226	0.1800
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.1470	0.5500	0.1890
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	1.4700	5.5000	1.8900
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0540	0.2035	0.0700
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0137	0.0207	0.0233
Beta Sayımı (cpm)	3.9552	1.0890	0.1602
Beta Aktivitesi (pCi)	1.0066	0.0645	0.0102
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	10.0660	0.6446	0.1020
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.3720	0.0238	0.0038
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0450	0.0110	0.0115

Tablo 6.42: 43887 nolu kuyu için elde edilen sonuçlar.

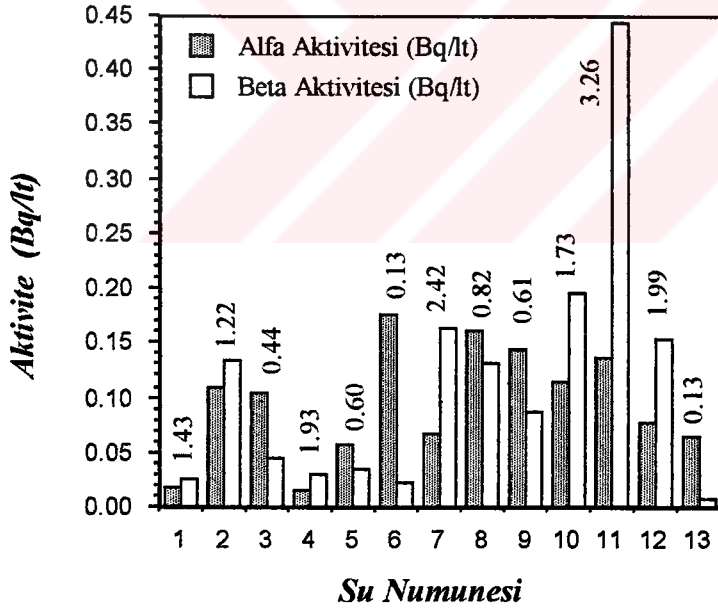
<i>Numune Adı</i>	<i>43887 Nolu Kuyu</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Numune (Plañset No)			
Plañset + Numune Kütlesi (gr)	1.1612	1.0669	----
Net Numune Kütlesi (mgr)	38.3	28.8	----
Numunenin Spesifik Kütlesi (mgr/cm ²)	3.3800	2.5400	----
Alfa Sayımı (cpm)	0.0840	0.0120	----
Alfa Aktivitesi (pCi)	0.0849	0.0105	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (pCi/lt)	0.8490	0.1050	----
Litredeki Alfa Aktivitesi (Bq/lt)	0.0314	0.0039	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0041	0.0034	----
Beta Sayımı (cpm)	1.7202	0.1200	----
Beta Aktivitesi (pCi)	0.1243	0.0113	----
Litredeki Beta Aktivitesi (pCi/lt)	1.2432	0.1130	----
Litredeki Beta Aktivitesi (Bq/lt)	0.0460	0.0042	----
Standart Sapma (Bq/lt)	0.0075	0.0085	----

Tablo 6.43: Elazığ'ın güney-doğu kesiminden alınan su numunelerinin ortalama alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri.

<i>Numune Adı</i>	<i>Alfa Aktivitesi (Bq/lt)</i>	<i>Beta Aktivitesi (Bq/lt)</i>
Mollaköy Suyu (Karışık)	0.0652 ± 0.0272	0.0083 ± 0.0046
Mollakendi Bel. Su Kuyusu	0.0768 ± 0.0268	0.1525 ± 0.0622
13 Nolu Kuyu	0.1597 ± 0.0332	0.1307 ± 0.0284
53 Nolu Kuyu	0.0670 ± 0.0066	0.1620 ± 0.0416
56 Nolu Kuyu	0.1360 ± 0.0330	0.4437 ± 0.0560
59 Nolu Kuyu	0.1131 ± 0.0255	0.1953 ± 0.0221
65 Nolu Kuyu	0.1423 ± 0.0924	0.0874 ± 0.0109
43885 Nolu Kuyu	0.1092 ± 0.0341	0.1332 ± 0.0477
43886 Nolu Kuyu	0.1033 ± 0.0183	0.0449 ± 0.0131
43887 Nolu Kuyu	0.0176 ± 0.0053	0.0251 ± 0.0113
43890 Nolu Kuyu	0.0567 ± 0.0291	0.0341 ± 0.0198
43891 Nolu Kuyu	0.1750 ± 0.0450	0.0220 ± 0.0170
43891+53 Nolu Kuyular	0.0150 ± 0.0069	0.0289 ± 0.0120

Bu bölgeye ait 13 kuyu incelenmiş ve aktiviteleri hesaplanmıştır. Şekil 6.5'e bakıldığında; su numunelerinin alfa aktiviteleri 0.0150 ± 0.0069 Bq/lt ile 0.1750 ± 0.0450 Bq/lt arasında, beta aktiviteleri ise 0.0220 ± 0.0169 Bq/lt ile 0.4437 ± 0.0560 Bq/lt arasında değişme göstermektedir. Su numunelerinin %46'sı alfa aktivitesi için 0.1 Bq/lt olan üst limit değerini aşmaktadır. Beta aktivitesi ise 1 Bq/lt üst limit değerinin çok çok altındadır. Su numunelerinin %54'ünün beta aktivitesi alfa aktivitesinden büyüktür. Beta/alfa aktivite oranı 0.13 ile 3.26 değerleri arasında değişme gösterir. Grafikte 2, 7, 10, 11 ve 12 nolu numunelerin beta aktivitelerinin bariz bir şekilde yüksek olmasının sebebi; bu kuyuların kil mineralleri açısından zengin olması ve bakır vb. madenler açısından zengin olan bölgelerde bulunmasındandır.

Bu bölgenin ortalama alfa aktivitesi yaklaşık olarak 0.1011 Bq/lt ve beta aktivitesi ise 0.1129 Bq/lt olarak hesaplanmıştır.

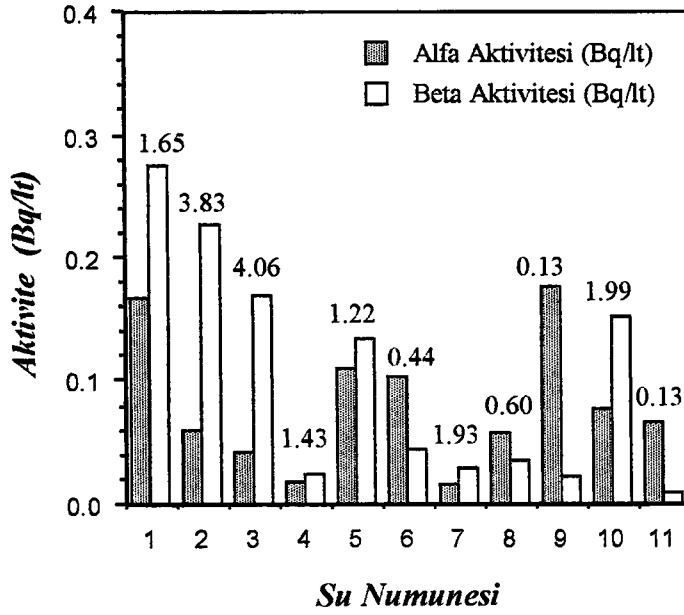


Şekil 6.5: Elazığ'ın güney-doğu kesiminin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: 43887 nolu kuyu, 2: 43885 nolu kuyu, 3: 43886 nolu kuyu, 4: 53+43891 nolu kuyular, 5: 43890 nolu kuyu, 6: 43891 nolu kuyu, 7: 52 nolu kuyu, 8: 13 nolu kuyu, 9: 65 nolu kuyu, 10: 59 nolu kuyu, 11: 56 nolu kuyu, 12: Mollakendi Belediyesine ait su kuyusu, 13: Mollaköy suyu (Karışık).*

6.2. Elazığ ve Yöresinden Toplanan Su Numunelerinin Maden Cevherleri Açısından Değerlendirilmesi

6.2.1. Bakır, bakırlı pirit ve bakır-çinko açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Bu bölgelerden alınmış su numunelerinin hesaplanmış olan alfa ve beta aktivitesi kullanılarak sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 6.6 incelendiğinde su numunelerinin %72'sinin alfa aktivitesinin 0.1 Bq/Lt değerinden küçük olduğu, bunun yanında 1, 5 ve 9 numaralı numunelerin alfa aktivitesinin ise 0.1 Bq/Lt'den daha yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Su numunelerinin beta/alfa aktivite oranları ise 0.13 ile 4.06 değerleri arasında değişmektedir. Su numunelerinin %64'ünün beta aktivitesi alfa aktivitesinden büyük değerdedir. Fakat bütün beta aktivite değerleri 1 Bq/Lt olan standart üst limit değerinden küçüktür. Baskil, Sivrice ve Maden ilçelerinden alınan numunelerin (1, 2 ve 3 nolu numuneler) hem alfa hem de beta aktiviteyi 1'den 3 nolu numuneye doğru gidildikçe azalma göstermektedir. Şekil 6.6'da 4. numuneden sonraki örnekler Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan Mollakendi civarındaki kuyulardan temin edilmiştir. Bu grafikten faydalanılarak Elazığ'ın ilçeleri ve Elazığ'ın güney-doğu kesiminin aktiviteyi ile karşılaştırılabilir. Buna göre Baskil, Sivrice ve Maden ilçelerinin sularında ortalama alfa aktivitesi 0.0890 Bq/Lt, beta aktivitesi ise 0.2236 Bq/Lt'dir. Bunun yanında Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan Mollakendi civarındaki kuyuların alfa aktivitesi 0.0880 Bq/Lt, beta aktivitesi ise 0.0642 Bq/Lt olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar yardımıyla, suların aktiviteyi etkileyen diğer faktörlerin göz ardı edilmesi ve bu sonuçların sadece maden yatakları açısından değerlendirilmesi neticesinde şu sonuca varılır. Bu bölgelerdeki maden yatakları farklı konsantrasyonlarda olduğundan suların aktiviteyi de farklı değerlerde olma ihtimali yüksektir [Yu vd., 1994; Duenas vd., 1993]. Elde edilen sonuçlarda alfa aktivitesinin değişmemesi, bunun yanında beta aktivitesinin değişmesi, beta aktiviteyi bölgede çıkarılan maden konsantrasyonlarından etkilendiğini gösterir. Bu da beta aktivitesinin bu bölgede çıkarılan bakır, bakırlı pirit vb. madenlere bağlı olarak değiştiğini gösterir.



Şekil 6.6: Bakır, bakırlı-pirit ve bakır-çinko açısından zengin olan bölgelerdeki alfa ve beta aktiviteleri. 1: Baskil, 2: Sivrice, 3: Maden, 4: 43887 nolu kuyu, 5: 43885 nolu kuyu, 6: 43886 nolu kuyu, 7: 53+43891 nolu kuyular, 8: 43890 nolu kuyu, 9: 43891 nolu kuyu, 10: Mollakendi Belediyesine ait su kuyusu, 11: Mollaköy suyu (Karışık).*

Ayrıca, Şekil 6.6 diğer elde edilen grafiklerle karşılaştırıldığında, en yüksek beta aktivitesine sahip olan su numunelerinin bu grafikte toplanmış olduğu görülür. Aktiviteyi etkileyen diğer faktörler (toprağın cinsi vb.) göz ardı edilirse bu madenlerin beta aktivitesi üzerinde etkili olduğu kanısına varılabilir.

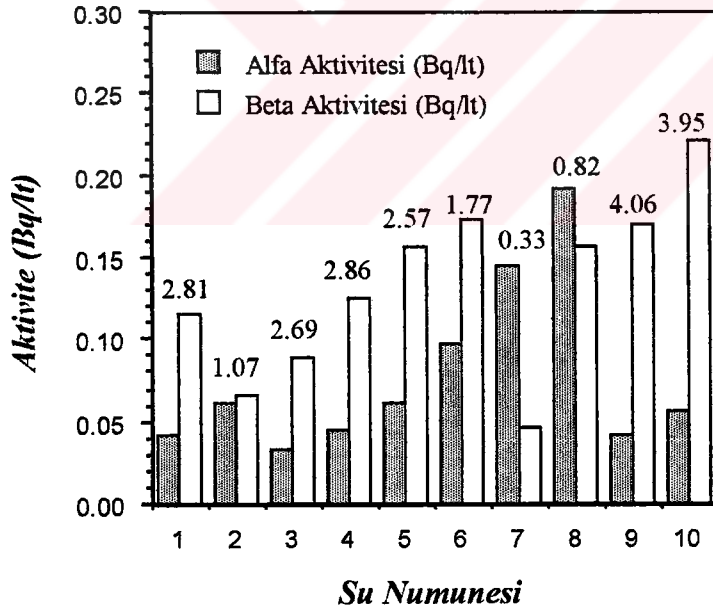
6.2.2. Kurşun, çinko, demir, krom yatakları açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Bu kısımda toplam 10 adet su numunesi incelenmiştir. Bu su numunelerinin alfa aktiviteleri 0.0331 ± 0.0252 Bq/l ile 0.1913 ± 0.0601 Bq/l arasında değişme gösterirler. Numunelerin beta aktivitesi ise 0.0469 ± 0.0293 Bq/l'den 0.2213 ± 0.0218 Bq/l'ye

kadar değişme göstermektedir. Su numunelerinin %20'lik bir kısmına tekabül eden 7 ve 8 nolu numunelerin aktiviteleri 0.1 Bq/lt değerinden yüksek çıkmıştır. 7 ve 8 nolu numunelerin beta aktivitelerinin, alfa aktivitesinden sırası ile 0.33 kat ve 0.82 kat küçük olduğu bulunmuştur.

Şekil 6.7'de beta/alfa aktivite oranı 0.33 ile 4.06 arasında değişmektedir. Beta aktivitesi alfa aktivitesinden %80 oranında büyük olmasına rağmen üst limit değeri olan 1 Bq/lt'yi aşan numune aktivitesi yoktur.

Gerekli hesaplamalar yapıldığında ortalama alfa aktivitesi 0.077 Bq/lt, ortalama beta aktivitesi 0.1321 Bq/lt olarak bulunur. Şekil 6.7'den hesaplanmış olan bu aktivite değerleri, Şekil 6.6'daki bütün numunelerin hesaplanmış olan 0.0880 Bq/lt ortalama alfa aktivitesi ve 0.1419 Bq/lt ortalama beta aktivitesi değerleri ile karşılaştırıldığında; Şekil 6.6'daki alfa aktivitesi ortalamasınının 1.643 kat, ortalama beta aktivitesinin ise 1.09 kat büyük olduğu görülür.



Şekil 6.7: Kurşun, çinko, demir ve krom yatakları açısından zengin olan bölgelerin alfa ve beta radyoaktiviteleri. 1: Keban Barajı TEK nizamiyesi, 2: Keban Barajı 3 numaralı numune, 3: Keban Barajı 4 numaralı numune, 4: Keban SÜMYO altı, 5: Keban Barajı 2 numaralı numune, 6: Keban içme suyu, 7: F.Ü. Kampüs suyu, 8: Abdullahpaşa su deposu, 9: Maden şebeke suyu, 10: Palu.*

10 numaralı numune olan Palu ilçesi beta aktivitesinin diğer numunelerin beta aktivitesine göre daha yüksek çıkması, bu ilçede kömürün çıkarılmasından kaynaklanabilir. Çünkü kömür, radyum ve uranyum gibi doğal radyoaktif elementleri bünyesinde tutma özelliği gösterir [Sezginer, 1989]. Bu nedenle Palu ilçesinin toprağında ve dolayısıyla sulara diğer radyonüklidlere nazaran daha yüksek oranda ^{224}Ra , ^{228}Ra , ^{237}U , ^{239}U ve ^{240}U gibi beta aktif radyoaktif izotopların bulunma ihtimali vardır.

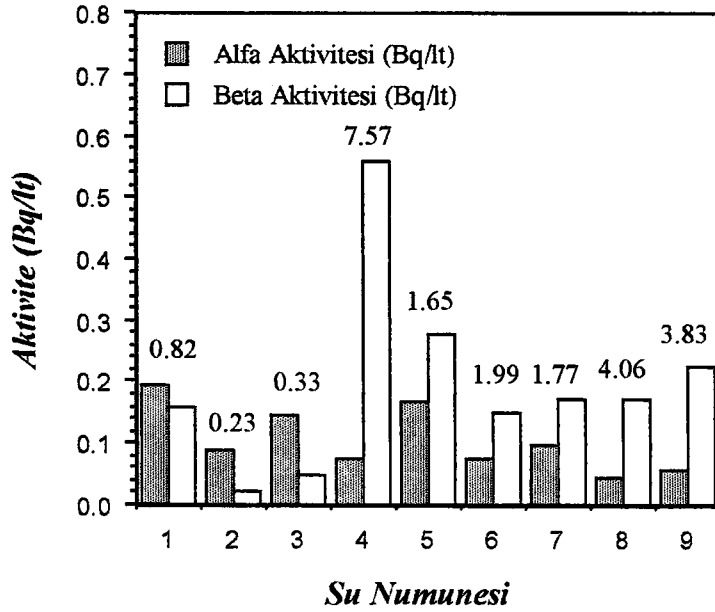
Şekil 6.6'da 0.2 Bq/l'ten daha yüksek aktivitelere beta aktiviteleri bir pik şeklinde göze çarptığından dolayı; bakır vb. madenlerin, suların beta aktivitelerini etkilediğini söylemek mümkün olur.

Sonuçta, suların etkileşimde bulunduğu toprağın fiziksel vb. özellikleri göz ardı edilirse bakır, bakırlı pirit gibi madenler açısından zengin olan bölgelerin, kurşun, çinko, demir, krom vb. madenler açısından zengin olan bölgelere nazaran daha yüksek beta aktivite değerlerine sahip olduğu görülür.

6.2.3. Manganez yatakları açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin radyoaktivite seviyeleri

Manganez açısından zengin olan bölgelerde toplam 9 tane su numunesi incelenmiştir. Bu su numunelerinin alfa aktiviteleri 0.0419 ± 0.0261 Bq/l ile 0.1913 ± 0.0601 Bq/l değerleri arasında değişir. Beta aktivitesi ise 0.0205 ± 0.0116 Bq/l ile 0.5576 ± 0.2243 Bq/l arasında değişmektedir. Beta/alfa oranı su numunelerinin %33'ünde 1'den küçüktür. Ayrıca bu oran 0.23 ile 7.57 arasındaki değerlerde değişme göstermektedir. Su numunelerinin %33'ünün alfa aktivitesinin 0.1 Bq/l değerini aştığı görülür.

Beta/alfa oranı 7.57 olan 4 numaralı numune Karaçalı suyudur ve Sivrice'den geldiği için beta aktivitesi yüksektir. Çünkü Sivrice'de beta aktivitesini etkileyecek bakır vb. madenler çıkarılmaktadır. Grafik incelendiğinde numunelerin %60'ının alfa aktivitelerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülür.



Şekil 6.8: Manganez yatakları açısından zengin olan bölgelerin alfa ve beta radyoaktivite seviyeleri. 1: Abdullahpaşa su deposu, 2: F.Ü. Araştırma Hastahanesi su deposu önü, 3: F.Ü. Kampüs suyu, 4: Karaçalı suyu (Şehit İlhanlar), 5: Baskil, 6: Karakoçan, 7: Keban, 8: Maden, 9: Sivrice.*

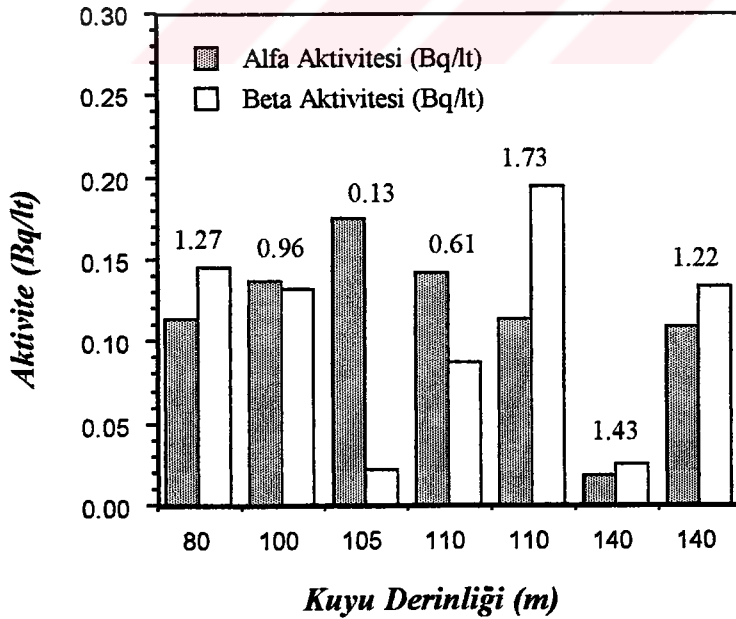
Grafikteki 4, 5 ve 9 numaralı numunelerin beta aktivitelerinin 0.2 Bq/l'ten yüksek çıktığı dikkat çekmektedir. Gerekli irdeme yapıldığında bu üç numunenin bakır açısından zengin olan yerlerden alınan sular olduğu görülür. Dolayısıyla beta aktivitesinin bu madenlerle yakından alakası vardır.

Manganez açısından zengin olan yerlerden alınan toplam 9 numunenin ortalama alfa aktivitesi 0.11 Bq/l, beta aktivitesi ise 0.18 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Maden yatakları açısından incelenen bu üç grafik irdelendiğinde manganez açısından zengin olan bölgelerdeki su numunelerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'deki ortalama alfa ve beta aktivitelerinden fazladır. Ortalama alfa ve beta aktivitelerinin yüksek çıkmasının sebebi bakır açısından zengin olan Sivrice, Baskil, Maden gibi ilçelerin manganez açısından da zengin olmasından kaynaklanır.

6.3. Elazığ ve Yöresindeki Bazı Su Numunelerinin Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Derinlik İle Değişimi

Şekil 6.9'da aktivite değerlerinin derinlik ile nasıl değiştiği hakkında bir fikir edinilmeye çalışılmıştır. Alfa aktiviteleri göz önünde bulundurulduğunda ilk üç numunenin alfa aktivitesinin derinlik ile artma gösterdiği ve daha sonra bir azalmaya uğradığı görülür.

Toprağın içerdiği radyonüklidlerin bitkilere veya suya geçmelerinin toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olduğunu gösteren pek çok çalışma yapılmıştır [Polar vd., 1989]. Bu geçişlerdeki diğer önemli etkenler, toprağın pH'ı ve içerdiği organik maddelerdir. Dolayısıyla, incelenen kuyuların jeolojik formasyonları birbirlerine yakınlık göstermesi şartıyla, derinlik ile aktivitenin nasıl değiştiği hakkında yorum yapılabilir. Bunun için ilk üç numunenin alındığı kuyuların jeolojik formasyonlarına bakılmış ve hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bunun yanında beta aktivitelerinin ise bir azalmaya uğradığı görülür. 105 m'den sonra derinlik arttıkça alfa aktivitesi azalma göstermektedir. Beta aktivitesi hakkında ise kesin bir yargıya varmak mümkün değildir.



Şekil 6.9: Alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin derinlik ile değişimi.*

110 m derinliğinde 28669 ve 39221 nolu kuyulardan alınan su numunelerinin farklı oranlarda aktivite değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu aktivite farklılığının sebebi kuyuların içerdiği kil oranlarının farklılığından kaynaklanabilir [Erten vd., 1989]. Çünkü, yapılan araştırmalarda radyoaktif maddelerin özellikle kil minerallerinde çok yüksek oranda tutulduğu saptanmıştır [Hatipoğlu vd., 1989]. Nitekim, beta aktivitesi fazla olan su kuyusunun kil oranının diğer kuyuya göre daha fazla olduğu görülür. Alfa aktivitesi hakkında ise bu konu ile ilgili olarak kesin bir yargıya varmak mümkün değildir.

6.4. Elazığ ve Yöresindeki Bazı Su Numunelerinin Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Kil Oranı İle Değişimi

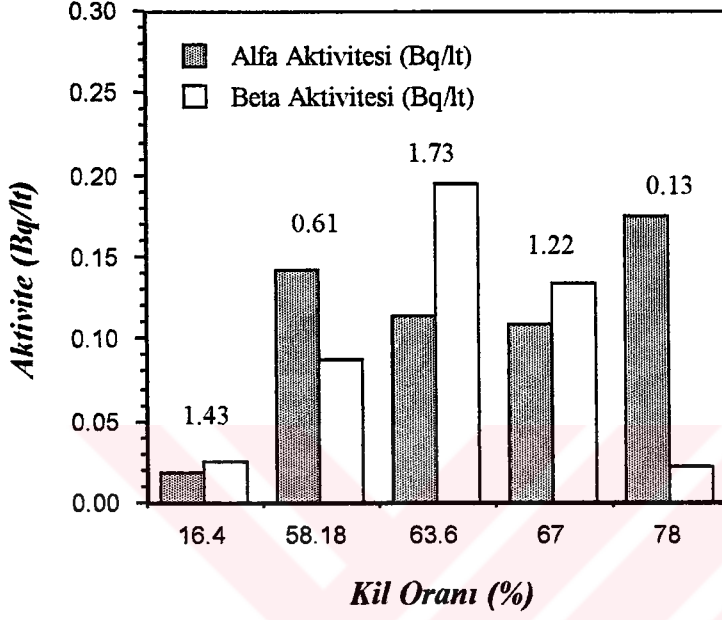
Şekil 6.10 incelendiğinde; kil oranı arttıkça alfa ve beta aktivitelerinin artması ve azalması hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Alfa aktivitesi %58.18 kil oranına kadar 0.15 Bq/lit değerine kadar ulaşmakta ve daha sonra %78'lik kil oranına kadar 0.10 ile 0.15 Bq/lit arasındaki bir değerde hemen hemen sabit kalmakta ve sonra tekrar artmaktadır. Beta aktivitesi ise %63.6 kil oranına kadar artmakta ve daha sonra düşme göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda baryum ve sezyum iyonlarının absorpsiyon eşsıcaklık (izoterm) eğrilerinin ters S şeklinde olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde aynı eğriler stronsiyum iyonlarında da görülmüştür. Bu tür eğriler, iyonları değişik mekanizmalar ile absorplayan kil bölgelerinin varlığını gösterir [Erten vd., 1989]. Dolayısıyla radyoaktif maddelerin absorplanması farklı oranlarda olmaktadır. Aktivite ile kil oranı arasındaki değişimleri tam bir şekilde ifade etmek mümkün değildir.

Yapılan araştırmalarda kil oranı yüksek olan toprakların Cs, Ba, Sr gibi beta yayıcı radyoaktif izotopları yüksek oranda tuttuğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla toprakta kilden dolayı diğer radyonüklidlere göre daha fazla absorplanan beta yayıcı radyoizotoplar olduğundan sular da kil oranı artması ile beta radyoaktif izotoplarının konsantrasyonları da artmaktadır [Erten vd., 1989].

Şekil 6.9 incelendiğinde 110 m ve 140 m derinliğindeki kuyuların jeolojik formasyonları hemen hemen aynıdır, fakat kil oranları değişiklik gösterir. Bu grafik

dikkatli bir şekilde incelendiğinde kil oranı arttıkça beta aktivitelerinin de arttığı gözlenir. Bu nedenle elde edilen sonuçların literatür ile uyum gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6.10: Alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin kil oranı ile değişimi.*

7. SONUÇLAR

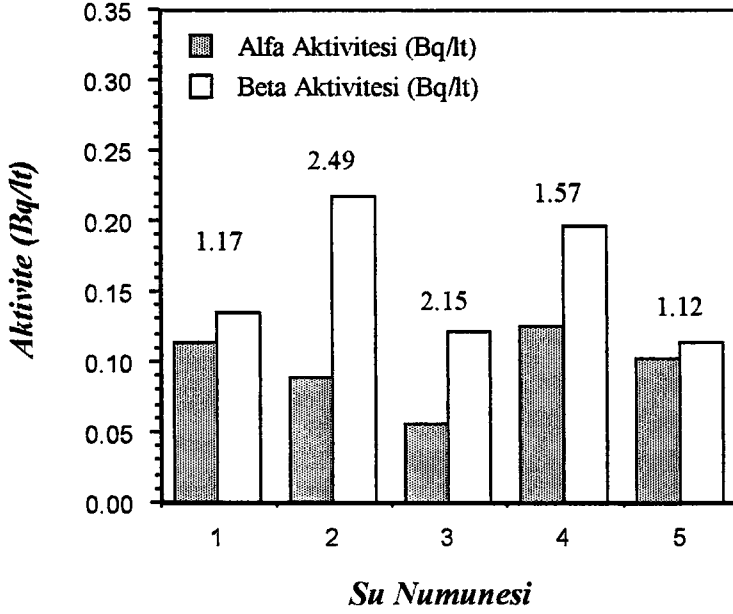
Bu tez çalışmasında Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım sularının gross alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan aktivite değerlerinin, toprağın kil oranı, derinlik ve maden yatakları gibi suların radyoaktivite seviyelerini etkileyen faktörler ile nasıl değiştiği irdelenmiştir.

Elde edilen aktivite değerlerinin Elazığ'ın güney-batı kesimi için ortalama alfa aktivitesinin 0.1143 ± 0.0280 Bq/Lt, ortalama beta aktivitesinin ise 0.1337 ± 0.0904 Bq/Lt; Elazığ'ın ilçelerinden alınan su numuneleri için ortalama alfa aktivitesi 0.0875 ± 0.0030 Bq/Lt, ortalama beta aktivitesi 0.2181 ± 0.1200 Bq/Lt; Elazığ'ın Keban ilçesinin ortalama alfa aktivitesi 0.0564 ± 0.0131 Bq/Lt, ortalama beta aktivitesi 0.1210 ± 0.0380 Bq/Lt; Elazığ merkezinin ortalama alfa aktivitesi 0.1248 ± 0.0594 Bq/Lt, ortalama beta aktivitesi 0.1953 ± 0.0289 Bq/Lt; Elazığ'ın güney-doğu kesiminin ortalama alfa aktivitesi 0.1011 ± 0.0262 Bq/Lt, ortalama beta aktivitesi ise 0.1129 ± 0.0080 Bq/Lt olarak hesaplanmıştır.

İncelenen bu bölgenin ortalama alfa aktivitelerine bakıldığında en yüksek alfa aktivitesinin Elazığ'ın merkezinde bulunan su kaynaklarında olduğu, en düşük alfa aktivitesinin ise 0.0564 ± 0.0131 Bq/Lt değeri ile Keban ilçesinde olduğu görülür. Bunu Şekil 7.1'den açıkça görmek mümkündür.

Bunun yanında Elazığ'ın ilçelerinin ortalama alfa aktivitesi 0.0875 ± 0.0030 Bq/Lt değeri, Elazığ'ın güney-doğu ve güney-batı kısımlarındaki su numunelerinin alfa aktivitelerinden daha küçüktür. En yüksek alfa aktivitesinin Elazığ'ın merkezinde çıkmasının sebebi, su depolarının bulunması ve bu su depolarına yöredeki kuyulardan gelen suyun bekletilmesi durumunda, depolarda radon gazının (^{222}Rn) birikme eğiliminin fazla olmasından kaynaklanmaktadır [Yu vd., 1994; Blackburn ve Al-Masri, 1993].

Elde edilen en yüksek beta aktivitelerinin 0.2181 ± 0.1200 Bq/Lt değeri ile Elazığ'ın ilçelerinde, diğer beta aktivitelerinin ise hemen hemen birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Beta aktivitelerinin Elazığ'ın ilçelerinde yüksek olmasının nedeni bakır, bakırlı pirit, bakır-çinko, kurşun-çinko, demir ve krom vb. madenlerin çıkarılması olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 7.1: Elazığ'ın genel alfa ve beta aktivite ortalaması. 1: Elazığ'ın güney-batı kesimi, 2: Elazığ'ın ilçeleri, 3: Elazığ'ın Keban ilçesi, 4: Elazığ şehir merkezi, 5: Elazığ'ın güney-doğu kesimi.*

Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım sularının genel ortalama alfa aktivitesi 0.0968 ± 0.0360 Bq/l, genel ortalama beta aktivitesi 0.1562 ± 0.0395 Bq/l olarak hesaplanmıştır. Bu aktivite değerlerinden alfa aktivitesi, WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı), TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) gibi yetkili kurumlar tarafından belirlenmiş olan üst limit değeri 0.1 Bq/l'ten küçüktür. Beta aktivitesi ise üst limit değeri olan 1 Bq/l'in çok daha altındadır.

Bu aktivite değerleri insan sağlığı açısından değerlendirilirse; ilk olarak Tablo 4.3'de görülen insan vücudundaki tabii radyonüklidlerin meydana getirdiği maksimum aktivite değerine bakmakta fayda vardır. Bu değer maksimum olarak 8000 Bq civarındadır. Bir kişinin 1 gün boyunca 5 litre su aldığı düşünülürse bu kişinin maruz kaldığı günlük alfa aktivitesi 0.484 Bq, beta aktivitesi ise 0.781 Bq olur. Kişinin 1 gün boyunca maruz kaldığı toplam radyasyon dozu 1.265 Bq'dir. Günlük olarak alınan bu

*: Sütun grafiği üzerindeki sayılar, her bir numunenin ayrı ayrı beta/alfa aktivite oranını göstermektedir.

radyasyon dozu, insan vücudundaki 8000 Bq'lık radyasyon dozunun 1.58×10^{-4} katı olup çok küçük olduğu görülmektedir.

Hesaplanan aktivite değerleri TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) tarafından yayınlanan çeşitli bültenlerdeki suların radyoaktivite seviyeleri ile karşılaştırıldığında yine çok küçük değerde kalmaktadır [TAEK Bültenleri, 1995,1996,1997]. Bunun yanısıra yapılan bir çalışmada, ^{226}Ra konsantrasyon değerlerinin 2 ile 892 mBq/l arasında, ^{224}Ra konsantrasyon değerlerinin ise 2 ile 200 mBq/l arasında değiştiği hesaplanmıştır [Duenas vd., 1993]. Ayrıca diğer bir çalışmada, ^{222}Rn konsantrasyonlarının 11.3 Bq/l'ten daha yüksek çıktığı görülmüş ve bu değerlerin üzerindeki aktivite değerlerinin insan sağlığı açısından zararsız olduğu ifade edilmiştir [Olguin vd., 1993].

Başka bir çalışmada ise, Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency), şayet 3 pCi/l veya 0.111 Bq/l'nin yukarısında bir aktiviteye rastlanırsa bütün içme sularının analiz edilmesini öngörmüştür [Tarela, 1994]. Bu durumda Elazığ ve yöresinin içme ve kullanım sularının, radyoaktiviteden korunma açısından sürekli (mevsimsel) olarak radyoaktiflik ölçümlerinin yapılması gereklidir.

Elazığ ve yöresinden alınan su numunelerinin hesaplanmış olan alfa ve beta aktivite değerlerinden faydalanılarak bölge sularının radyoaktivite haritası çıkarılmış (Şekil 7.2) ve bu aktivite değerlerinin değişimi, bölgenin jeolojik formasyonu esas alınarak yorumlanmıştır.

Harita incelendiğinde Elazığ'ın merkez, güney-doğu, güney-batı kesimlerinde ve Kovancılar, Ağın, Baskil gibi ilçelerinde su numunelerinin alfa aktivitelerinin yüksek değerde olduğu görülür. Bunun yanısıra Keban, Sivrice, Palu ve Karakoçan gibi ilçelerde ise alfa aktiviteleri üst limit değerinin altında, fakat bu değere hemen hemen yakındır. Beta aktiviteleri ise bölgenin her yerinde standartların çok çok altındadır.

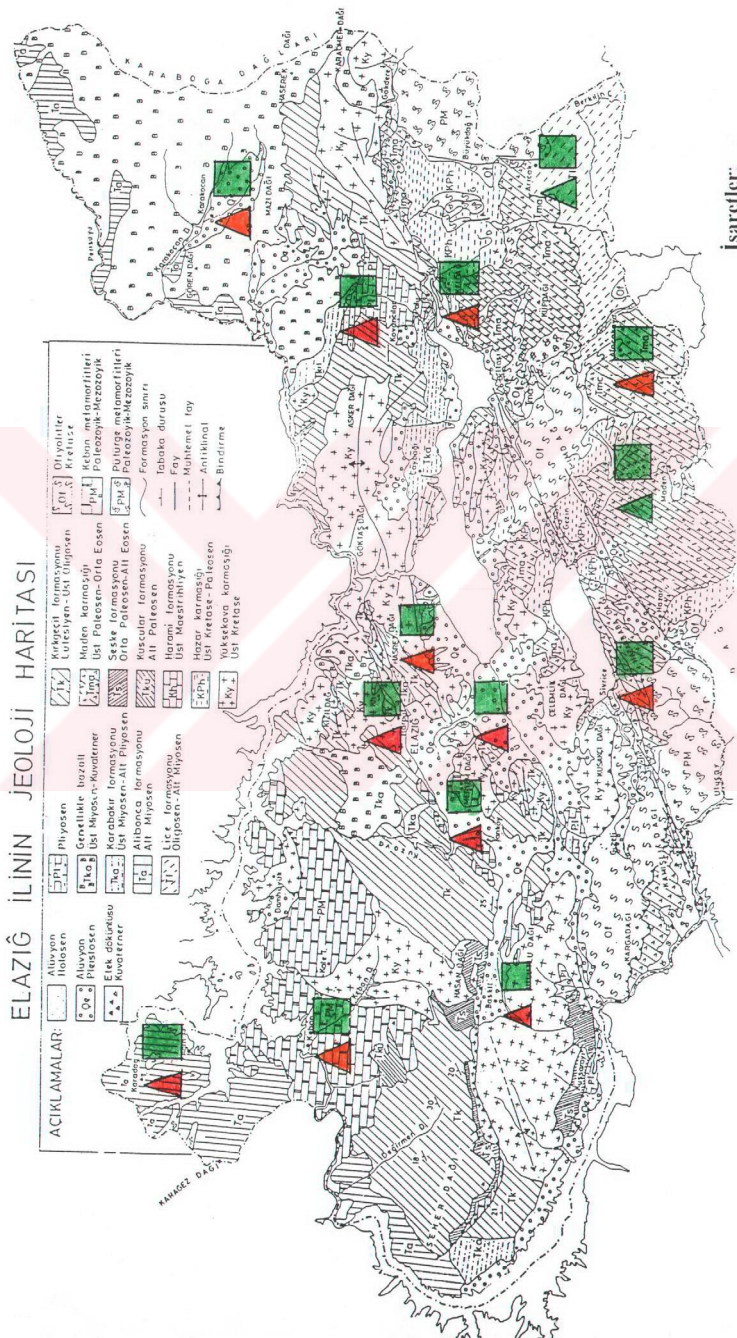
Bölgenin jeolojik formasyonu ile suların radyoaktivite seviyeleri arasındaki ilişki irdelendiğinde; volkanik kayaların çok olduğu yörelerde alfa aktivitelerinin yüksek, volkanik ile tortul kayaların geçiş bölgelerinde ise düşük değerde olduğu görülür. Daha detaylı inceleme yapıldığında bazı bölgelerdeki alfa aktivitelerinin yüksek oranda çıkması, bu bölgelerde volkanik kayalar türlerinden biri olan Bazalt'ın yoğun olarak bulunmasına dayandırılabilir [Özdemir, 1998]. Alfa aktivitelerinin çok düşük değerlerde hesaplandığı Maden, Alacakaya ve Arıcak bölgesi fay hattında olup, volkanik ve tortul kayalar ağırlıklıdır.

Bu bölge için alfa aktivitelerinin düşük değerde çıkmasının sebebi, demir-mağnezyum miktarının az olmasından kaynaklanabilir [Özdemir, 1998].

Sonuç olarak, Elazığ ve yöresindeki içme ve kullanım sularının alfa ve beta aktivitelerinin TAEK, WHO, İSKİ ve TSE gibi bu konuda yetkili kurumlar tarafından belirlenmiş üst konsantrasyon limitlerinden ve yurt dışında yapılan çalışmalarda bulunmuş olan aktivite değerlerinden düşük çıktığı, bu aktivite değerlerinin canlı organizmalar ve özellikle insan sağlığı açısından tehlike arz etmediğini söylemek mümkündür. Ancak, suların radyoaktifliğinin sürekli olarak taranması, oluşabilecek herhangi bir tehlikenin önceden haber alınmasında ve buna göre tedbir geliştirilmesinde önem taşımaktadır.



ELAZIĞ İLİNİN JEOLOJİ HARİTASI



Şekil 7.2: Elazığ ve yöresinin içme ve kullanılm sularının radyoaktivite seviyelerinin dağılımı.

8. KAYNAKLAR

- ALKAN, H., (1989). İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri, *Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirliliği*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- ANDERSON, H.L., (1989). *A Physicist's Desk Reference*, American Institute of Physics, New York.
- ARTHUR, R., (1983). *Basic Nuclear Engineering*, Foster, Robert L. Wright, Boston.
- BAARLI, J., (1977). *Health and Medical Physics*, Proceedings of the International School of Physics, Enrico Fermi, İtalya.
- BEAUMONT, S.P. vd., (1992). *Gallium Arsenide Microstrip Detectors for Charged Particles*, CERN-PPE, 92-51.
- BİLGE, A. ve TUĞRUL, B., (1990). *Endüstriyel Radyografinin Esasları*, İ.T.Ü. N.E.E., İstanbul.
- BİLGE, A.N., (1985). *Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması*, TAEK, ÇNAEM Matbaası, İstanbul.
- BLACKBURN, R. ve AL-MASRI, M.S., (1993). Determination of Radon-222 and Radium-226 in Water Samples by Cerenkov Counting, *Analyst*, 118, 873-876.
- CANBERRA INDUSTRIES INC., (1997). Product Catalog, Ed. Ten, Meriden, Connecticut 06450, USA.
- CHEREJI, I., (1993). Determination of Radioisotope Abundances, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 178, No:2, 291-299.

- CHEREJI, I., (1992). Rn-222 (Ra-226) Determination in Water by Scintillation Methods, *J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters*, 165, 4, 263-267.
- COTHERN, C.R., (1987). Estimating the Health Risks of Radon in Drinking Water, *J. Am. Water Works Assoc.*, 49, 4, 153-158.
- CUMMINGS, S.L., BANKERY, L., GARRET, A.R.Jr. ve REGNIER, J.E., (1969). Cs-137 Uptake by Oat Plants as Related to the Soil Fixing Capacity, *Health Physics*, 17, 145-148.
- D'AURIA, S. ve SMITH, K.M. (Editör) (1996). Proc. of the Fourth Int. Workshop on "GaAs Detectors and Related Compounds", Aberfoyle, Scotland, June 3-6, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 395 (1997), 1-156.
- DOĞRU, M., (1993). A Study of GaAs Microstrip and Pad Detectors for High Energy Physics, *PhD Thesis*, Sheffield University, İngiltere.
- DSİ 9 Bölge Müdürlüğü Yeraltı Suları Bölümü'ndeki yetkili personel ile sözlü görüşme, 1998.
- DUENAS, C., FERNANDEZ, M.C., GONZALEZ, J.A., CARRETERO, J. ve PEREZ, M., (1993). Ra-226 ve Ra-224 in Waters in Spain, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 39, 1-2, 71-79.
- Elazığ Belediyesi Sular İdaresi Müdürlüğü'ndeki yetkili personel ile sözlü görüşme, 1998.
- EL-DESSOUKY, M.M., (1991). Radiation Measurement of Some Materials in Egypt After Chernobyl Accident, *Isotopenpraxis*, 27, 8, 404-405.

- ERTEN, H.N., GÖKTÜRK, H., AKSOYOĞLU, Ş., HATIPOĞLU, S. ve EYLEM, C., (1989). Radyoaktif Cs+, Sr++ ve Ba++ İyonlarının Kil Mineralleri ve Toprak Fraksiyonları Tarafından Absorplanması, *Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 451-467.
- GILKESON, R.H., ve COWART, J.B., (1987). Radium, Radon and Uranium Isotopes in Ground Water from Cambrian Ordovician Sandstone Aquifer in Illinois, *In Proceedings of the NWWA Conference on Radon in Ground Water (Chelsea, MI: Lewis Publishers), Inc.*, 403-422.
- GÖKSEL, A.S., (1973). *Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması*, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- HATIPOĞLU, S., GÖKTÜRK, H. ve ERTEN, H.N., (1989). Ba⁺⁺ İyonunun Çeşitli Kaya ve Killerce Tutulmasının İncelenmesi, *Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 467-481.
- KARAHAN, G., (1997). *İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- KING, P., MICHEL, J. ve MOORE, W.S., (1982). Groundwater Geochemistry of Ra-228, Ra-226 and Rn-222, *Cosmochim. Acta*, 46, 1173-1182.
- KNOLL, G.F., (1979). *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley and Sons, New York.
- KORANDA, J., JOHN ve ROBINSON, WILLIAM, L., (1978). Accumulation of Radionuclides by Plants as a Monitor System, *Environmental Health Perspect.*, 27, 165-179.
- KRANE, K.S., (1988). *Introductory Nuclear Physics*, John Wiley and Sons, Singapore.

- LAWRENCE, E., (1994). The Determination of Radon Levels in Water, *An Environmental Chemistry Experiment*, 71, 6, 521-523.
- LEO, W.R., (1987). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- MARTINS, K.L., (1992). Practical Guide to Determine the Impact of Radon and Other Radionuclides on Water Treatment Processes, *Wat. Sci. Tech.*, 26, No: 5-6, 1255-1264.
- MELISSINOS, A.C., (1966). *Experiments in Modern Physics*, Academic Press, New York, 178.
- MOBIUS, S., KAMOLCHOTE, P. ve ROEKSBUTR, W., (1993). Use of Extractive Scintillation and Pulse Shape Analysis for Environmental Alpha-Assay, *The Science of the Total Environment*, 130/131, 467-471.
- MOSSMAN, M., (1994). The Determination of Radon Levels in Water, *An Environmental Chemistry Experiment*, 71, 6, 521-523.
- MENZEL, R.G., (1963). Factors Influencing the Biological Availability of Radionuclides for Plants, *Fed Proc.*, 22, 1398-1401.
- OLGUIN, M.T., SEGOVIA, N., TAMEZ, E., ALCANTARA, M. ve BULBULIAN, S., (1993). Radon Concentration Levels in Groundwater from Toluca, Mexico, *The Science of the Total Environment*, 130, 43-50.
- ORUÇ, N., (1989). Çernobil Kazası Sonrası Trakya'da Bazı Toprak Örneklerinde Cs-134 ve Cs-137 Dağılımı, *Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 201-213.

ÖZDEMİR, M.A. ile sözlü görüşme, Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, 1998.

ÖZGEN, S., TURGAY, Ö. ve TÜMER, L., (1980). *Türkiye Maden Envanteri (İllere Göre)*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, No: 179, Ankara.

POLAR, E. ve BAYÜLGEN, N., (1989). Çernobil Yağmuru İle Kirlenmiş Bir Toprağın İçerdiği Radyonüklidlerin Su ve Kara Bitkilerindeki Konsantrasyon Faktörleri Arasındaki Farklar, *Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 191-201.

POPE, J.A., (1989). *Medical Physics*, Heinemann Educational Books Ltd., London, England.

PURDOM, P.W., (1971). *Environmental Health*, Academic Press, New York.

SEZGINER, N., (1989). Radyoaktif Maddelerin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkinliği ve Rolü, *Radyoaktif Atıklar, Çevre ve Sağlık Sempozyumu Bildirileri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 83-93.

TAEK Bültenleri, (1997). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, ISSN: 1300-6797, Yıl: 5, Sayılar: 26-29.

TAEK Bülteni, (1995). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, ISSN: 1300-6797, Yıl: 3, Sayı: 17.

TAEK Bülteni, (1996). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, ISSN: 1300-6797, Yıl: 4, Sayı: 24.

TARELA, P.A., MARISCOTTI, M.A.J. ve PERONE, E.A., (1994). Method for Measuring Low Activity Extensive Samples, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 94, 511-515.

- TAYLOR, J.M., (1963). *Semiconductor Particle Detectors*, Butter Worth, New York.
- TUĞRUL, B., (1990). *İleri Nükleer Teknikler* (Basılmış Ders Notu), İ.T.Ü. N.E.E., İstanbul.
- TUNCER, S., TUĞRUL, B., (1991). Marmara Bölgesi İçme Sularında Radyoaktivite Seviyeleri Tayini, *III. Ulusal Medikal Fizik Kongresi Bildiri Kitabı*, 267-272.
- WILLIAMS, R.C., vd., (1962). Silicon Junction Nuclear Particle Detectors, *RCA Review*, 23, 29-46.
- YAŞAR, S., (1988). Sanayide Radyasyon Korunması Kurs Notları, Radyasyon Denetimi ve Ölçümlerinde Kullanılan Birimler, *Temel Radyasyon Korunması, Standartları ve Uygulamaları*, s. 69, ÇNAEM, İstanbul.
- YU, K.N., GUAN, Z.J., STOKES, M.J. ve YOUNG, E.C.M., (1994). A Preliminary Study on the Radon Concentrations in Water in Hong Kong and the Associated Health Effects, *Appl. Radiat. Isot.*, 45, 7, 809-810.