

35966

T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
NÜKLEER BİLİMLER ANABİLİM DALI

KOD: 10.8888.6700 000

**İZMİR İLİ İÇME ve KULLANIM SULARINDA  
RADYOAKTİVİTE ve VERİLER ARASINDA  
KORELASYON ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZIRLAYAN

**Müslüm SAÇ**

DANIŞMAN

**Doç.Dr. Mehmet N. KUMRU**

Bu tez,

Başkan: Öğ. Üye.Doç.Dr. Mehmet N. KUMRU

Üye : Öğ.Üye.Prof.Dr. Güngör YENER

Üye :Öğ Üye.Prof.Dr. H.Mümtaz KIZILYALLI'dan oluşan jüri tarafından  
oy birliği ile kabul edilmiştir.

BORNOVA-İZMİR  
1994

## ÖNSÖZ

Su, canlıların ve bitkilerin biyolojik yapısını oluşturan temel maddedir. Biyolojik organizmanın çalışması ve fonksiyonlarını yerine getirebilmesi, suyun katkısı ile mümkün olduğundan suyun insanlar tarafından alınması, içilmesi ve kullanılması sağlığa ilişkin bir güvence içinde olmalıdır. Bu güvence su içindeki canlı ve cansız bütün katkıların hijyenik, kimyasal ve radyoaktivite özellikleri yönünden belli ve kesin bir sınır altında tutulması ile sağlanabilir. Kamu sağlığı ile ilgili resmi kuruluşların bu sınırları saptaması ve bu yönde içme sularını sürekli analiz ederek denetlemesi gerekir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklidler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir.

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince her türlü desteği ve imkanı sağlayan ayrıca değerli bilgilerinden faydalandığım tez hocam Sayın Doç.Dr. Mehmet N.KUMRU'ya ; Her türlü çalışma imkanını sağlayan Enstitümüz Müdürü Sayın Prof. Dr. Güngör YENER'e; çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Ar. Gör. Sema AKYIL ve enstitü personeline; İZSU çalışanlarına; maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli Anneme ve Babama en içten tesekkürlerimi sunarım.

Müslüm SAÇ

## I Ç I N D E K I L E R

ABSTRAKT

ABSTRACT

	Sayfa No
1 GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	6
2.1 Radyum .....	6
2.2 Radon ve Ürünleri .....	8
2.3 Sularda Radyum Ölçüm Yöntemleri .....	11
2.4 Radyum ile Ürünleri Arasındaki Zamansal Denge ....	13
2.5 Potasyum .....	17
2.6 Sularda Radyoaktivite .....	18
2.7 Konsantrasyon Sınırlaması .....	21
2.8 Radyoaktif Ölçmelerin Statistiği .....	24
2.9 Regresyon ve Korelasyon Analizi .....	26
2.10 İzmir İli İçme ve Kullanım Suyu Kaynakları .....	29
3 DENEYSEL YÖNTEMLER .....	32
3.1 Arazi Çalışmaları .....	32
3.1.1 Örnek Alma İşlemleri .....	32
3.1.2 Sıcaklık ölçümleri .....	33
3.1.3 Yüzey Gama Ölçümleri .....	34
3.1.4 Radon Ölçümleri .....	34
3.2 Laboratuvar Çalışmaları .....	37
3.2.1 pH ve Eh Ölçümleri .....	37
3.2.2 İletkenlik Ölçümleri .....	38
3.2.3 Alkanite Ölçümleri .....	39
3.2.4 Radyum Ölçümleri .....	40

3.2.5	Alfa Sayım Cihazının Özellikleri .....	46
3.2.6	Toplam Radyasyon Ölçümleri .....	47
4	DENEYSEL SONUÇLAR ve VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	48
4.1	Arazi Ölçüm Sonuçları .....	48
4.1.1	Sıcaklık Ölçüm Sonuçları .....	48
4.1.2	Yüzey Gama Ölçüm Sonuçları .....	48
4.1.3	Radon Ölçüm Sonuçları .....	49
4.2	Laboratuvar Ölçüm Sonuçları .....	50
4.2.1	pH Ölçüm Sonuçları .....	50
4.1.2	Eh(mV) Ölçüm Sonuçları .....	50
4.2.3	İletkenlik Ölçüm Sonuçları .....	50
4.2.4	Alkalinite Ölçüm Sonuçları .....	51
4.2.5	Radyum Ölçüm Sonuçları .....	51
4.2.6	Toplam Radyasyon Ölçüm Sonuçları .....	53
4.3	Regrasyon ve Korelasyon Analiz Sonuçları .....	53
5	TARTIŞMA .....	59
6	ÖZET .....	61
7	SUMMARY .....	63
8	KAYNAKLAR .....	65

## TABLolar ve ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Radium ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri ....	7
Tablo 2. Radon ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri .....	9
Tablo 3. Radon ve Radon Ürünlerinin Radyoaktivite Özellikleri .....	10
Tablo 4. K-40'a Ait Radyoaktif Bozunum Zinciri .....	17
Tablo 5. İstanbul İçme Suyu Kaynakları Radyoaktivite Konsantrasyonları (pCi/l) .....	20
Tablo 6. Bazı Ulusal ve Uluslararası Kuruluşlarca Radyoaktif Kirleticiler İçin Kabul Edilmiş Tavsiye ve Üst Limitler .....	22
Tablo 7. Ra-226 ve Ra-228 İzotoplarının Organlardaki Ortalama Aktivite Konsantrasyonları (pCi/l) .....	24
Tablo 8. Değişik Ülkelerde İnsanların Diyet Yoluyla Aldıkları Radium Aktivitesi (pCi/gün) .....	24
Tablo 9. Radyoaktif Maddelerin İnsanlara Geçiş Yolları ....	25
Tablo 10. IZSU Tarafından 20 Sondaj Kuyusunda Ekim 1993 Tarihinde Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	30
Tablo 11. IZSU'nun 20 Sondaj Kuyusunda Şubat-Ocak 1994 Tarihinde Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları .....	52
Tablo 12. IZSU'nun 20 sondaj Kuyusunda Ölçülen Radyoaktivite Sonuçları .....	54
Tablo 13. Ölçümler arası korelasyon Katsayıları .....	55

Şekil 1.	Radyum ile Radon Arasındaki Zamansal Denge .....	14
Şekil 2.	Radon ile Radon Ürünleri Arasındaki Zamansal Denge .....	14
Şekil 3.	Regrasyon Doğrusu .....	28
Şekil 4.	Örnekleme İstasyonları ve İzmir Su Kaynaklarının İzmir Kentine İletim ve Alternatif Güzergahları ..	31
Şekil 5.	Radyum'un Cam ve Polietilen Üzerinde Absorbsiyonuna pH'ın Etkisi .....	33
Şekil 6.	Radon Ölçümlerinde Kullanılan Kollektör Yöntemi Deney Düzenegi .....	35
Şekil 7.	Radyum Ölçümlerinde Kullanılan Kollektör Yöntemi Deney Düzenegi .....	41
Şekil 8.	Kolektör Yönteminde Uygulanan Voltaj ve Sayım Düzenegi .....	44
Şekil 9.	Kalibrasyon Grafiği .....	45
Şekil 10.	Yüzey Gama Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	49
Şekil 11.	pH ile Eh Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	56
Şekil 12.	Eh ile Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	57
Şekil 13.	İletkenlik ve Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	57
Şekil 14.	Radon ile Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	58
Şekil 15.	Radyum ile Radon Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği .....	58

## ABSTRAKT

Bu çalışmada İzmir ili içmesuyu ihtiyaçlarının karşılandığı 5 farklı (Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen ve Gaziemir) bölgedeki sondaj kuyularının 20 tanesinden alınan su örneklerinin sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, Eh(mV), iletkenlik ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinite (mg/l) değerleri, radon (pCi/l) ve radyum (pCi/l) konsantrasyonları, su tortularının toplam aktivitesi (pCi/l) ile sondaj kuyusu çevresinde yüzey gama ( $\mu\text{R/h}$  ve cps) değerleri ölçülmüştür.

## ABSTRACT

In this research, temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, Eh(mV), conductivity ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinity (mg/l), radon (pCi/l) and radium concentrations (pCi/l) water deposits total activity (pCi/l) were studied; along with the gamma ( $\mu\text{R/h}$  and cps) values of the surface area present in the vicinity of these drilling wells by collecting the water samples from twenty different drilling wells located in 5 different regions (Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen and Gaziemir) which meet the drinking water requirements of İzmir province.

## 1 GİRİŞ

Yeryüzünde yaşayan bütün canlılar, çeşitli kaynaklardan yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadır. Bu kaynaklardan biride canlıların doğal çevresidir. İnsan kendi doğal çevresinde yaşamak ve çalışmalarını bu çevre içinde yürütmek zorundadır.

Su, canlıların ve bitkilerin biyolojik yapısını oluşturan temel maddedir. Biyolojik organizmanın çalışması ve fonksiyonlarını yerine getirebilmesi, suyun katkısı ile mümkün olduğundan suyun insanlar tarafından alınması, içilmesi ve kullanılması sağlığa ilişkin bir güvence içinde olmalıdır. Bu güvence su içindeki canlı ve cansız bütün katkıların hijyenik, kimyasal ve radyoaktivite özellikleri yönünden belli ve kesin bir sınır altında tutulması ile sağlanabilir. Kamu sağlığı ile ilgili resmi kuruluşların bu sınırları saptaması ve bu yönde içme sularını sürekli analiz ederek denetlemesi gerekir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklidler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir.

İçme sularında gerek radyoaktif elementler gerekse metal ve ağır metaller bakımından ulusal veya uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş limitlerin altında bulunması istenir. Radyoaktivite ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmiş düzeylerin üzerinde bulunması ve bu suların uzun süreler kullanılması halinde toplum sağlığı olumsuz yönde etkilenebilir (ICRP-26,1977; UNSCEAR,1977).

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), içme

sularında Ra-226 konsantrasyonu için müsaade edilebilir üst sınırı 5 pCi/l, toplam beta konsantrasyonunu ise 1000 pCi/l olarak (U.S.EPA, 1976) ve Rn-222 konsantrasyonu için ise 200-600 pCi/l değerini kabul etmiştir (U.S.EPA, 1991).

Finlandiya'nın Helsinki bölgesinde bulunan sondaj kuyularında 1198.8 pCi/l'ye varan Rn-222 konsantrasyonları ölçülmüştür (Asikainen, 1980; Prichard, 1983). Çesme suyu örneklerinde ortalama olarak Rn-222 için 67 pCi/l ve Ra-226 için 0.1pCi/l konsantrasyonları elde edilmiştir (Asikainen, 1980). Finlandiya'da maden sularında yapılan bir çalışmada ise Ra-226 konsantrasyonu 27 pCi/l değerinde bulunmuştur (Salonen, 1993).

Batı Almanya'nın Black Forest Bölgesindeki 526 su örneğinde ölçülen Ra-226 konsantrasyonlarının 0.1-5.0 pCi/l arasında değiştiği görülmüştür (Schuttelkopf ve Kiefer, 1980).

İsviçre'nin Upper Valais Bölgesine bağlı Nidervald köyü çesme sularında yapılan bir çalışmada Rn-222 konsantrasyonu 10206 pCi/l, Upper Rhire Bölgesi Rueun köyünde ise 4860 pCi/l değeri elde edilmiştir (Buchli, 1989). İsviçre'de 19 maden suyu örneği için yapılan çalışmada Ra-226 konsantrasyonu 0.14-9.90 pCi/l arasında değiştiği bulunmuştur (Aellen, 1993).

Atlanta'nın batısında 283 kadar kuyu sularında yapılan Rn-222 konsantrasyon ortalaması 2970 pCi/l olarak belirlenmiştir (Dillon ve ark., 1991).

Yugoslavya'da Slovenia Bölgesinde Sava Irmağı sularında Ra-226 konsantrasyonu 0.01-3.10 pCi/l arasında değiştiği

bulunmaktadır (Kobal ve ark., 1978).

Amerika California Eyaleti'nin Fish Hatchery pınar sularında 1983 Kasım'da 550 pCi/l, 1983 Nisan'da 950 pCi/l olarak radon konsantrasyon değerleri elde edilmiş ve Rn-222 dalgalanması ile yerkabuğunun hareketi arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır (Wollenberg, 1984/1985).

Amerikanın Texas Eyaletine bağlı kuyu sularında Ra-226 konsantrasyonları 1.11-15.69 pCi/l değerleri arasında bulunmuştur (Loyd, 1989).

Maden suyundaki Ra-226 konsantrasyonunu belirlemek üzere çoğu Almanya'da olmak üzere, birçok farklı merkezden 71 adet su örneği alınarak yapılan ölçümlerde en yüksek değer olarak 1.8 pCi/l sonucu elde edilmiştir (Kiefer, 1989).

Portekiz'de ticari olarak satılan 55 civarında maden suyu, termal ve içme suları üzerinde yapılan ölçümlerde Ra-226 konsantrasyonunun 0.7-54.0 pCi/l arasında değiştiği belirlenmiş Rn-222 için ise 459 pCi/l olarak geometrik ortalama ölçülmüştür (Bettencourt ve ark., 1988).

Brezilya maden sularında 20'den fazla maden suyu örneğinde Ra-226 konsantrasyonu ortalama 0.72 pCi/l değerinde bulunmuştur (Piresdo Rio ve ark., 1988).

Amerika nüfusunun yarısından çoğu kullanım suyunu kuyulardan elde etmektedir. Bu kuyularda bulunan Rn-222 konsantrasyonu ortalama olarak 1080 pCi/l ölçülmüştür (Gosink ve ark., 1990).

Almanya'da yapılan bir çalışmada içme suları için Ra-226 konsantrasyonu 0.02-11.60 pCi/l ve yüzey suları için

0.03-1.55 pCi/l olarak bulunmuştur (Schüttelkopf, 1980).

Istanbul Bölgesindeki yüzeysel sularda Rn-222 konsantrasyonu 2.7-8.1 pCi/l değerleri arasında değiştiği (Alkan ve ark., 1984) ve daha sonraki yapılan bir çalışmada yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarında Ra-226 konsantrasyonu 0.2-1.2 pCi/l ve beta aktiviteleri 2.1-5.6 pCi/l arasında değiştiği belirlenmiştir (Alkan ve ark., 1987).

Istanbul Halkalı çöplüğü çevresinde yer alan 11 adet kuyu suyu örneğinde yapılan Ra-226 konsantrasyonu sonucunda radyum değerinin 0.27-1.89 pCi/l ve toplam beta aktivite değerlerinin 0.81-5.67 pCi/l arasında değiştiği bulunmuştur (Alkan ve ark., 1990).

Büyük Menderes Nehri akıntı sularında ölçülen radyum aktivitelerinin 0.44-20.32 pCi/l, sıcaklığın 19-22 °C, pH'ın 7.80-8.02, iletkenliğin 390-4650  $\mu\text{mho/cm}$ , Eh(mV) -152 ile -103, alkalinitenin 200-290 mg/l, yüzey gama ölçümlerinin 60-298 cps ve 6.0-26.8  $\mu\text{R/h}$  arasında değiştiği belirlenmiştir (Kumru, 1990)

Büyük Menderes Nehrine dökülen Çine Çayı çevresindeki pınar, sondaj kuyularından ve çay içindeki birikinti sularından toplanan 22 su örneğinde radyum konsantrasyonlarının DA-7.02 pCi/l, yüzey gama değerlerinin ise 96-154 cps değerleri arasında değiştiği bulunmuştur (Bakaç ve ark., 1993).

Izmir ili Kiraz ilçesi köyleri çalışma alanı olarak seçilerek, 21 köyün içme ve kullanma sularında Ra-226 konsantrasyonu tayin edilmiş ve bu köylerin %60 gibi büyük çoğunluğunda Ra-226 konsantrasyonu 2.7-16.2 pCi/l arasında değiştiği görülmüştür (Altas, 1988).

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından yapılan bir çalışmada İzmir ili Kiraz ilçesi ve köylerinde bulunan 40 kadar içme ve kullanma kuyu suyu örneğinde, Ra-226 konsantrasyonları 0.27-1.89 pCi/l, toplam beta aktiviteleri 0.81-7.02 pCi/l arasında değiştiği bulunmuştur (Alkan ve ark., 1990).

Küçük Menderes Havzasında yer alan Kiraz ilçesindeki 100 kadar köyün içme ve sulama sularındaki Ra-226 konsantrasyonu, daha sonraki bir çalışmada ise 0.27-17.55 pCi/l arasında değiştiği ölçülmüştür (Altas, 1990).

İzmir ili Bornova ilçesi Çamiçi köyü ve Karşıyaka ilçesi Büyük Yamanlar'da bulunan 10 adet kaynak suyunda toplam alfa aktiviteleri 0.10-0.25 pCi/l ve toplam beta aktiviteleri 0.62-4.00 pCi/l arasında değiştiği bulunmuştur (Dökmen, 1990).

İzmir Çevre köylerinden alınan içme, kullanım ve kuyu suyu olmak üzere toplam 500 örnekte Ra-226 konsantrasyonun 1.32-8.88 pCi/l ve iletkenlik değerlerindeki 170-3450  $\mu\text{mho/cm}$  arasında değiştiği belirlenmiştir (Atalay, 1990).

Ege Bölgesinde bulunan ve bir kısmı ticari olarak siselenip piyasaya sunulan toplam 11 tane maden suyu örneğinde radyum konsantrasyonları 0.88-9.71 pCi/l arasında değiştiği bulunmuştur (Çelik, 1992).

Kütahya'ya bağlı Simav ve Emet yörelerinin köy içme ve kullanım sularında Ra-226 konsantrasyonu DA-29.59 pCi/l ve pH değerlerinin 6.36-8.47 arasında değiştiği belirlenmiştir (Türker, 1994).

## 2 GENEL BİLGİLER

### 2.1 Radyum

1898'de Marie ve Pierre Curie tarafından keşfedilen radyum, periyodik tablonun II-A grubunda yer alır ve bir toprak alkali elementtir. Doğal ve yapay olarak 13 izotopu olduğu bilinen radyumun atom numarası 88, kütle numarası 210'dan 230'a ve yarı-ömrü  $10^{-3}$ 'sn'den 1620 yıla kadar değişmektedir. Doğal olarak 4 izotopu vardır. U-238 ve Th-232 bozunma serilerinin birer üyesi olan Ra-226 ve Ra-228, doğada en çok bulunan radyum izotoplarıdır. Radyum ve izotoplarının radyoaktif özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Toprak alkali bir element olan radyumun, kimyasal davranışı baryum'a benzer. Sularda çözünebilir tuzları  $\text{RaCl}_2$ ,  $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$  ve  $\text{RaS}$  'dür. Az çözünebilir bileşikleri ise  $\text{RaSO}_4$ ,  $\text{Ra}(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{RaCrO}_4$ ,  $\text{RaBeF}_4$ ,  $\text{Ra}(\text{IO}_3)_2$  ve  $\text{RaF}_2$  'dür. Ra-226, küçük miktarlarda olsa bile detekte edilebilir. Ra-223 daha yüksek spesifik aktivitesi olmasına rağmen, seri başı elementi U-235'in doğadaki relatif bolluğunun düşük olmasında dolayı, oluşturabileceği sağlık riski, diğer radyum izotoplarına göre ihmal edilebilir. U-238'in doğadaki bolluk oranı %99,238 ve U-235'in doğadaki bolluk oranı % 0,711'dir. Ra-224 izotopu, Ra-228 izotopu ile aynı bozunma serisinde bulunduğu için, birlikte analiz edilebilir. Ancak Ra-224'in yarı-ömrü çok kısa (3,66 gün) olduğu için önemi azdır.

Tablo 1. Radyum ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri

İZOTOP	BOZUNMA SERİSİ	ANA ELEMENT	ÜRÜN ELEMENT	YARI-ÖMÜR	RADYASYON CİNSİ ENERJİSİ(MeV)İNTENSİTESİ
228 Ra 88	Th-232	232 Th 90	228 Ac 89	5.8 yıl	$\beta$ : 0.024 (%30) 0.055 (%70) $\delta$ : 0.0103 (%20) 0.0253
226 Ra 88	U-238	230 Th 90	222 Rn 86	1600 yıl	$\alpha$ : 4.60 (%6) 4.78 (%94) $\delta$ : 0.186 (%4)
224 Ra 88	Th-232	228 Th 90	220 Rn 86	3.66 gün	$\alpha$ : 5.45 (%6) 5.63 (%94) $\delta$ : 0.241 (%3.9)
223 Ra 88	U-235	227 Th 90	219 Rn 86	11.4 gün	$\alpha$ : 5.54 (%9)-5.505 (%26) 5.714 (%53.7) $\delta$ : 0.144 (%39)-0.154 (%52) 0.158 (%9)

## 2.2 Radon ve Ürünleri

Radon, 1900 yılında F.Ernst Born tarafından keşfedilmiştir. Bir soygaz olan radon doğada saf olarak bulunur ve kimyasal reaksiyonlara girmez. Radon'un doğal olarak üç izotopu vardır. Bunlar; U-238 zincirindeki Rn-222 (Radon), Th-232 zincirindeki Rn-220 (Toron), U-235 zincirindeki Rn-219 (Aktinon)'dur. Radon ve izotoplarının radyoaktif özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Aktinon (Rn-219): Yarı ömrü çok kısa olduğu için ( $t = 3,98s$ ) ve seri başı elementi U-235'in doğadaki bolluğunun azalacağından dolayı doğal çevrede az bulunur. Hemen bozunmaya uğradığından atmosfere karışma ve atmosferde bir yoğunluk meydana getirme olasılığı zayıftır.

Toron (Rn-220): Yarı ömrü Rn-219'a göre daha uzundur. ( $t = 54.5s$ ). Toprak gazında ve yer atmosferinde bir yoğunluk oluşturabilir. Th/U oranı 4/1-3/1 olduğunda Rn-220'nin Rn-222 aktivitesine önemli bir katkı yapmaktadır.

Radon(Rn-222): Radon izotopları arasında en uzun yarı ömürlüsü ( $t = 3,85gün$ ) Rn-222 izotopudur. Uranyum bozunma zincirinde bulunan Ra-226, 1620 yıllık yarı-ömürle bozunarak radonu oluşturur. Uranyum bozunma zincirinde radondan sonra gelen Po-218 (RaA), Pb-214 (RaB), Bi-214 (RaC), Po-214 (RaC') radonun bozunma ürünleridir. Radon ve radon ürünlerinin radyoaktivite özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablodan açıkça görüldüğü gibi RaC (Bi-214)'nin beta bozunumu sonucunda oluşan RaC' (Po-214) çok kısa bir ömre sahiptir ve alfa yayını yapar. Bu nedenle RaC doğrudan alfa yayınlayıcısı

Tablo 2. Radon ve İzotoplarının Radyoaktif Özellikleri

İZOTOP	TARİHSEL ADI	SERİ BAŞI	ANA ELEMENT	KIZ ELEMENT	YARI ÖMÜR	RADYASYON CİNSİ VE ENERJİSİ (MeV)
$^{222}_{86}\text{Rn}$	Radon	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{218}_{84}\text{Po}$	3.82 g	$\alpha$ : 5.49 (%.100) $\gamma$ : 0.51 (%.0,07)
$^{220}_{86}\text{Rn}$	Thoron	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{224}_{88}\text{Ra}$	$^{216}_{84}\text{Po}$	55.3 sn	$\alpha$ : 6.29 (%.100) $\gamma$ : 0.55 (%.0,07)
$^{219}_{86}\text{Rn}$	Aktinon	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{223}_{88}\text{Ra}$	$^{215}_{84}\text{Po}$	4.0 sn	$\alpha$ : 6.82 (%.81) 6.55 (%.11) 6.42 (%.8) $\gamma$ : 0.272 (%.9) 0.401 (%.5)

Tablo 3. Radon ve Radon Ürünlerinin Radyoaktivite Özellikleri

ELEMENT	SEMBOL	YARI ÖMÜR	DOZUNMA SABİTİ, $\lambda$ dak <sup>-1</sup>	RADYASYON TÜRÜ VE ENERJİSİ (MeV)				
				$\alpha$ %	$\beta$ %	$\gamma$ %	$\gamma$ %	
<sup>222</sup> Rn 86	Rn	3.82 gün	$126 \times 10^{-4}$	100		0.51	0.07	
<sup>218</sup> Po 84	RaA	305 dak	0.2276	100	0.33	19		
<sup>214</sup> Pb 82	RaB	268 dak	0.02586		0.65	50	0.29	19
					0.71	40	0.355	36
<sup>214</sup> Bi 83	RaC	19.7 dak	0.03518		1.0	23	0.609	47
					1.51	4	1.12	17
<sup>214</sup> Po 84	RaC'	$164 \times 10^{-4}$ sn	$254 \times 10^5$	100			0.799	0.14
<sup>210</sup> Pb 82		21 yıl			0.015	81.	0.047	4.
					0.061	19.		
<sup>210</sup> Bi 83		5.01 gün			1.161	~100.		
<sup>210</sup> Po 84		138.4 gün	5.305	100			0.803	0.0012

olarak kabul edilebilir. Bazı radon ölçümlerinde ürünlerinden soyutlanmış olarak elde edilen radon, belli bir süre bekletilerek radon ve ürünleri arasında radyoaktif denge oluşturulması sağlanır. Radyoaktif denge kısaca ürün nüklidlerin ömrünün ana nüklide göre çok kısa olması durumunda, belli bir süre sonra ürün aktivitesinin ana aktiviteye eşit olmasıdır. Radon, ürünleri ile maksimum dengeye yaklaşık 4 saat içinde ulaşır.

### 2.3 Sularda Radium Ölçüm Yöntemleri

Radium ile bozunum ürünleri arasındaki radyoaktif den- genin kesri biliniyorsa, radium aktivitesini belirlemek için, ürünlerden herhangi birinin ölçümü yeterli olabilir. Böylece radium ölçümü için pek çok analitik yöntem ortaya konabilir. Ölçüm yöntemlerini başlıca üç grupta toplayabiliriz.

a-Radiumun direk ölçümü

b-Radiumun bozunum ürünlerinin ölçümü

c-Radiumun bozunum ürünleri ile birlikte veya sadece bozunma ürünlerinin toplam-alfa, beta ve gama aktivitelerinin ölçümü.

Ra-226 aktivitesi direkt olarak alfa ve gama spektrometrik yöntemlerle belirlenebilir. Alfa spektrometride Ra-226'ın 4.78 MeV enerjili alfa ışınları analizlenir. Gama spektrometride Ra-226'nın 186 keV'lik gama piki kullanılır.

Genellikle izole edilen radium-baryum çökeltilerinde, radiumun bozunma ürünlerinin alfa aktivitesi belirlenir. Gama spektrometride aktif radium örneklerinin ölçümü için, radiumun

bozunma ürünü Bi-214'ün 1.76 MeV enerjili gama ışınlarından yararlanılır.

Radyum çökeltilerinin toplam aktivitesi ölçülerek konsantrasyonu belirlenebilir. Çökeltilerin alfa aktivitesi ZnS(Ag) veya yüzey engelli dedektörler kullanılarak ölçülür.

Radyum ölçümü için çok kullanılan yöntemlerden biride, radon emanasyon yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak radyumdan oluşan radon ve radonun bozunma ürünlerinin alfa aktivitesi ölçülür. Alfa aktivitesi ölçümleri için;

-Sintilasyon sayacı (Lucas Hücresi)

-İyonizasyon odası

-Sıvı Sintilatör

-Kollektör Yöntemi kullanılır.

Çevresel su örneklerinin genellikle düşük radyum konsantrasyonu içermeleri radyumun bir ön konsantre etme işleminden sonra belirlenmesini gerektirir. Bu amaçla radyum daha büyük hacimlerdeki sulardan, küçük hacimlere konsantre edilir. Radyumun ön konsantresi aşağıdaki yöntemlerle yapılır.

1-Buharlaştırma

2-İyon değiştirici reçinelerle absorpsiyon

3-Birlikte çöktürme ( $BaSO_4$ ,  $PbSO_4$ ,  $CaCO_3$  ile)

4-Mangan yüklenmiş akrilik fiberler ile absorpsiyon

## 2.4 Radyum ile Ürünleri Arasındaki Zamansal Denge

Radyoaktif serilerde rastlandığı gibi bir radyoaktif izotopun bozunmasından meydana gelen ürünler radyoaktif ise, ürün izotopunun atomları sayısının zamanla değişimini gösteren bağıntıyı  $dN/dt = -\lambda N$  (1) denkleminde çıkarılabilir.

Ra-226 ile Rn-222 arasında zamansal denge oluşumu (1) bağıntısından faydalanarak

$$N_{10} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} N_0 (e^{-\lambda_0 t} - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2)$$

olarak elde edilir.

$N_0$  = Başlangıçtaki Ra-226 atom sayısı

$\lambda_0$  = Ra-226'nın bozunma sabiti

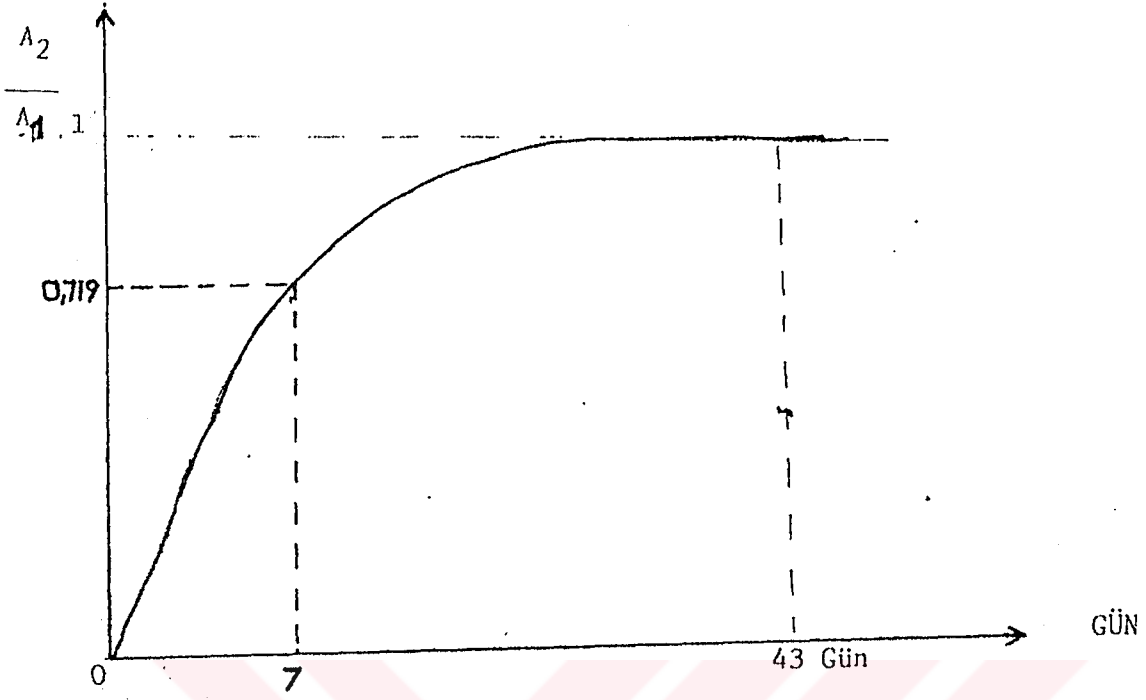
$N_{10}$  = t süresinde Ra-226'nın bozunumuyla oluşan Rn-222'nin atom sayısı

$\lambda_1$  = Rn-222'nin bozunma sabiti

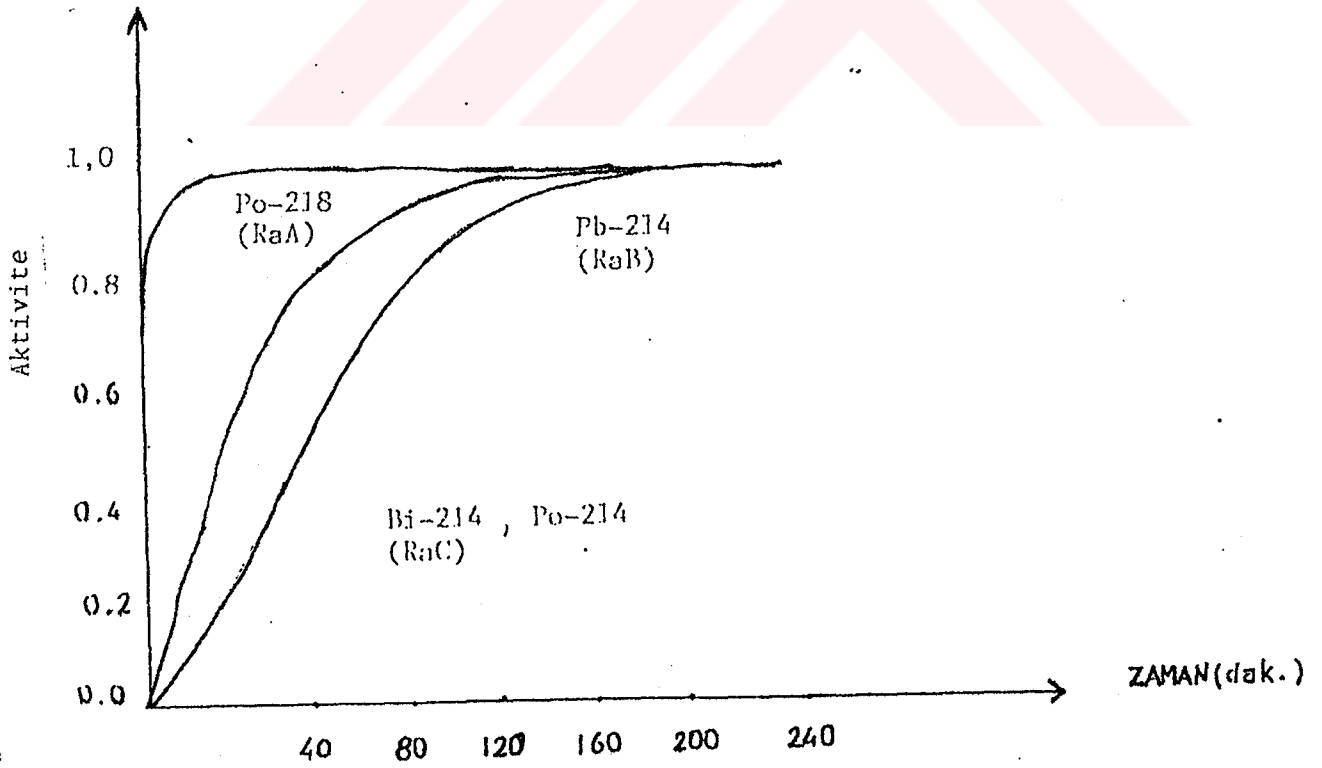
Kapalı bir ortamdaki radyum ile radon arasındaki zamansal denge eğrisi, Şekil 1'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi Radium ile Radon arasındaki denge, 7 gün sonunda %71.9 olmaktadır.

Örneğin;  $1pCi = 3.7 \times 10^2$  dps için  $t = 7$  gün sonra kapalı ortamda oluşacak Rn-222 atomları sayısı, (2) formülüne göre  $N_{10} = 12670.038530$  atom olarak elde edilir.

Radyum ile radon arasında oluşturulan belli bir zamansal denge sonucunda, radon gazı başka bir kapalı ortama aktarılırsa, radon ile radon ürünleri arasındaki zamansal denge eğrisi her bir ürünün yarı ömrüne bağlı olarak değişecektir. Şekil 2'de radon ile radon ürünlerinden RaA, RaB ve RaC arasındaki zamansal denge eğrisi verilmiştir.



Sekil 1. Radium ile Radon Arasındaki Zamansal Denge



Sekil 2. Radon ile Radon Ürünleri Arasındaki Zamansal Denge

Radon ile bozunum ürünleri yaklaşık 240 dk (4 saat) sonra dengeye ulaşmaktadır. Bu zaman süresince kapalı ortama yeterli bir voltaj uygulanırsa, pozitif yüklü olarak oluşan radon ürünlerinin, negatif kutup (kollektör) üzerinde toplanması sağlanabilir. Toplanan atomların zamana göre değişimi, aşağıdaki genel bir diferansiyel denklem ile gösterilebilir.

$$(dN_n/dt) = \lambda_{n-1}N_{n-1} - \lambda_n N_n \quad n=2,3,4,\dots \quad (3)$$

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t} \quad (4)$$

$$N_{10} \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}$$

$$C_n = \frac{N_{10} \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)}$$

$N_n = n$ 'inci ürünün atom sayısı

$\lambda_n = n$ 'inci ürünün bozunma sabiti ( $s^{-1}$ )

$n=2$  RaA  $N_2$ ,  $n=3$  için RaB  $N_3$ ,  $n=4$  için RaC  $N_4$  için

$t_1 = 4$  saat = 14400 s.

$N_2 = 6.820$  RaA

$N_3 = 60.1579$  RaB

$N_4 = 44.0689$  RaC atom sayıları bulunur.

Eğer toplanan ürünler 1 dakikalık bir gecikme ile sayıma alındığı kabul edilirse, bu zaman süresince kollektör üzerinde bulunan RaA, RaB ve RaC atomları bozunarak azalacaktır.

$t = 1$  dak = 60 s sonucu kalan RaA, RaB ve RaC değerleri

$N_2' = 5.434028$

$N_3' = 59.99196$

$N_4^1 = 44.07019$  olarak elde edilir.

$t_3$  sayım süresince alfa yayınlamaya uğrayan RaA atomları sayısı

$$D_1 = \int_0^{t_3} \lambda_2 N_2'' dt \quad \text{integrali ile bulunur.} \quad (5)$$

$$N_2'' = N_2^1 e^{-\lambda_2 t_3} dt$$

$t_3 = 0$  anında kapalı ortamda bulunan RaC atomlarının alfa yayınlamaya uğrayan atom sayısı;

$$D_2 = \int_0^{t_3} \lambda_4 N_4'' dt \quad (6)$$

$$N_4'' = N_4^1 e^{-\lambda_4 t_3} dt$$

RaA  $\rightarrow$  RaB  $\rightarrow$  RaC sonucu oluşan RaC ve RaB  $\rightarrow$  RaC bozunum sonucu oluşan RaC atomlarının kollektör üzerinde alfa bozunarak oluşturacağı katkılar  $D_3$  ve  $D_4$ 'tür.

Sayım süresince kollektör üzerinde bulunan RaB'nin RaB  $\rightarrow$  RaC bozunumuyla oluşan RaC'nin bozunarak oluşturacağı katkı  $D_4$  hesaplanır.

$t_3 = 20$  dak. sayım süresinin kollektör üzerinde bulunan toplam alfa aktivitesi

$$D_T = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad \text{ise}$$

$$t_3 = 20 \text{ dak} = 600 \text{ s}^{-1}$$

$$N_2^1 = 5.434028$$

$$N_3^1 = 59.99196$$

$$N_4^1 = 44.07019$$

bu değerler  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ , ve  $D_4$  'ün bulunan bağıntılarında yerlerine koyularak

$$D_1 = 5.3763 \text{ boz/20 dak}$$

$$D_2 = 21.8037 \text{ boz/20 dak}$$

$$D_3 = 0.4601 \text{ boz/20 dak}$$

$$D_4 = 7.3428 \text{ boz/20 dak}$$

$$D_1 = 34.9830$$

$$t = 1 \text{ dak sonucu}$$

$$D = (D_1) / 20 \text{ dak. dpm}$$

1 pCi için  $D = 1.749$  dpm olarak elde edilir.

## 2.5 Potasyum

Potasyum'un birkaç doğal izotopundan yalnızca K-40 radyoaktiftir ve K-40 doğal potasyum içinde %0.0118 gibi küçük bir düzeyde bulunmaktadır. Yarı ömrü  $1.3 \times 10^9$  yıl olan K-40'ın her koşulda oran konsantrasyonu sabittir. Bozunum semasının basit olması nedeniyle 1.46 MeV'lik tek bir gama enerjisi ile karakterize edilir. Bozunumun tek enerjili olduğu söylenebilir ve potasyum gram başına saniyede 3.3 gama verir. Tablo 4'de K-40'a ait radyoaktif bozunum zinciri gösterilmiştir.

Tablo 4. K-40'a Ait Radyoaktif Bozunum Zinciri

İzotop	Yarı Ömrü	Radyasyon	Gama Enerjisi (MeV)
K-40 (%89), $^{40}\text{Ca} + \beta$ (%11), $^{40}\text{Ar} + \gamma$	$1.3 \times 10^9$ yıl Kararlı Kararlı	$\beta, \gamma$	1.4608

## 2.6 Sularda Radyoaktivite

Sularda radyoaktivite; doğal radyoaktif elemanlar, radyoaktif yağışlar, nükleer ve radyolojik tesisler olmak üzere başlıca üç kaynaktan meydana gelmektedir.

Doğal Radyoaktivite; Sularda birçok radyoaktif eleman bulunmaktadır. Ancak bunlardan bazıları sularda radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda bulunmamaktadır. Yeraltı sularının doğal radyoaktiviteleri, içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütleler veya minerallerden gelmektedir.

Sularda radyoaktif K-40 dışında en fazla uranyum ailesi elemanları olan U-238, Ra-226 ve Rn-222 gibi radyoaktif elementler bulunmaktadır. Ra-226'nın bozulma ürünü olan radyoaktif radon gazı özellikle sondaj kuyularında olmak üzere çok yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir.

Sularda Ra-226 ve Ra-228 dağılımı yeraltı, su ortamlarının uranyum ve toryum dağılımına, her bir izotopun yarı-ömrüne ve yeraltı su ortamlarının jeokimyasal yapısına bağlıdır.

Yeraltı su ortamlarındaki uranyum ve toryum dağılımı, özel jeolojik ve kimyasal proseslerle tayin edilebilir. Tek oksidant durumuna sahip toryum; düşük sıcaklıklarda hareketsizdir. Uranyum ise iki oksidant durumuna sahip olup, suda yüksek çözünabilir +6 formunda (Uranil), iken +4 formuna veya adsorbsiyon yoluyla sulu ortamdan uzaklaşana kadar, yeraltı sularında uzun mesafe taşınabilir. Sudaki çözünürlüğünü sadece redoks potansiyeli etkilemez. Ayrıca pH'ında

bir fonksiyonudur. Asidik ortamlarda radyumun daha fazla çözüldüğü bilinmektedir.

Zenginleştirme veya azaltma olmadan yer kabuğunda tahmin edilen Th/U aktivite oranı ortalama 1.2-1.5'dir. Fakat bazı jeokimyasal koşullar altında uranyum, zenginleşme eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde radyum aktivite konsantrasyonu daha yüksektir.

Topraktaki katı maddelerin yeraltı sularında çözünmesiyle, katı-sıvı sınırında, katıda bulunan ana radyo elementin radyoaktif bozunumu sırasında alfa geri tepme mekanizması ve deasorbisyon ile radyum yeraltı sularına geçer. Ayrıca ana-ürün çiftinin oluşumu esnasında jeokimyasal faktörlerinde relatif çözünebilirliklerini kontrol eder. Uranyum ve Toryum serisi radyoizotoplarının farklı çözünebilirlikleri nedeniyle yeraltı sularında yaygın olarak dengede bulunmaz. Karbonatlı yapılarda uranyum komplekslerinin yüksek çözünebilirlikleri nedeniyle Ra-226 dağılımı daha çok değişkendir.

Radyoaktif Yağışlar; İçme ve kulanma sularına bir başka radyoaktif katkıda radyoaktif yağışlardır. Havada yapılan ve geçmişte yapılmış nükleer testler nedeniyle atmosfer ve stratosfere yerleşmiş Sr-90, Cs-137 gibi radyoaktif fisyon ürünleri ile, kontamine olmuş toz bulutlarının radyoaktif yağışlar halinde yavaş yavaş yeryüzüne inerek çevrenin özellikle yüzey sularının kirlenmesine yol açmaktadır. Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar 1970 yılından beri azalmaya başlamıştır (Alkan ve ark., 1987).

Nükleer ve Radyolojik Tesisler; Nükleer ve Radyolojik tesislerden çıkan radyoaktif atıklar için, gerekli önlemlerin alınmaması ve bunların denetimsiz çevreye verilmesi ve kaza hallerinde radyoaktif sızıntı meydana gelmesi durumunda, çevre kirlenmesine neden olmakta ve içme suyu kaynakları da bundan payını almaktadır. Örneğin; Çernobil kazası sonrasında İstanbul yüzeysel su kaynaklarında radyoaktivite değerlerinin yükselmeğe başladığı tesbit edilmiştir (Alkan ve ark., 1988).

İstanbul şehrine içme suyu sağlayan su kaynaklarında, toplam beta, Ra-226, K-40 ve Rn-222 gibi doğal radyoaktivite konsantrasyonları ile, radyoaktif yağışlarla yeryüzüne düşen en önemli fisyon ürünü olan Sr-90 konsantrasyonları tayin edilmiş olup, sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. İstanbul İçme Suyu Kaynakları Radyoaktivite Konsantrasyonları (pCi/l)

Kaynağın Adı YÜZEYSEL KAY.	Toplam Beta	Ra-226	Sr-90	K-40	Rn-222
Terkos Gölü	3.70 ± 0.89	0.4	0.03	2.80	2.7
Alibey Barajı	2.90 ± 0.03	0.6	0.69	2.30	-
Elmalı Barajı	3.59 ± 0.99	0.4	0.79	2.40	4.8
Ömerli Barajı	2.51 ± 0.70	0.3	0.79	1.90	2.8
B.Çekmece Gölü	104.80 ± 12.60	0.5	0.79	79.90	-
B.Çekmece Barajı	41.90 ± 8.10	0.4	0.79	34.90	-
B.Ç.G. Besleyen Aks.	4.99 ± 1.10	0.5	0.69	3.60	-
K.Çekmece Gölü	74.90 ± 12.20	0.5	0.79	65.28	8.1
K.Ç.G. Besleyen Aks.	4.80 ± 1.18	0.8	0.29	3.80	-
YERALTI SULARI					
Zeytinburnu kyl.	3.40 ± 0.70	1.2	-	-	764.0
Osmaniye-Çirpıcı	2.88 ± 0.81	0.9	-	-	205.0
Florya Kuyuları	2.59 ± 0.81	0.5	-	-	107.0
Uzuncadere kyl.	3.88 ± 1.52	1.8	-	-	272.0

Buna göre toplam beta aktiviteleri, 2.5-3.8 pCi/l. Ra-226 0.29-1.20 pCi/l ve Sr-90 konsantrasyonları ise 0.3-0.8 pCi/l arasında değistiği bulunmuştur.

## 2.7 Konsantrasyon Sınırlaması

Canlıların yaşam kaynağı olan su; hayatın devamı için ne kadar gerekli ise radyolojik güvenlik açısından içme sularındaki konsantrasyonu ölçmek ve şehirlere sağlanan sulardaki düzeyini belirlemek ve bir sınırlama getirmek de o kadar önemlidir. Belirlenmesi gerekli olan radyasyon kaynaklarından en önemli katkıda bulunan alfa yayınlayıcısı izotop Ra-226'dır.

Avustralya, Fransa, Japonya ve Hollanda içme sularında Ra-226 için, maksimum müsaade edilebilir konsantrasyonu 10 pCi/l olarak belirlemişlerdir. A.B.D'de çevre kurallarını düzenleyen ve uygulayan EPA'nın (Çevre Korunum Ajansı) içme sularında radyum konsantrasyonuna yaklaşımı, biraz daha değişiktir. Ra-226 aktivitesi 3 pCi/l düzeyinden yüksek ise Ra-228 analizi yapılmaktadır. A.B.D'de içme sularında radyum (Ra-226 ve Ra-228 birlikte) için 5 pCi/l ve toplam alfa aktivite sınırı 15 pCi/l kabul edilmiştir (USEPA, 1976).

Tablo 6'da bazı ulusal ve uluslararası kuruluşlarca radyoaktif kirleticiler için kabul edilmiş, tavsiye ve üst limitler gösterilmiştir.

Genelde, insan vücudunun dışarıdan alabileceği doz oranı deneylerle oldukça duyarlı olarak tayin edilebildiğinden insan sağlığına zarar vermeyecek olan doz oranı belirlenebilir

Tablo 6. Bazı Ulusal ve Uluslararası Kuruluşlarca Radyoaktif Kirleticiler İçin Kabul Edilmiş Tavsiye ve Üst. Limitler

KİRLETİCİ	WHO			USEPA	USPH	US.CAL	TSE	İSKİ
	1984	1971	1971	1976	1962	1972	1965	1984
	TEÜS	TEÜS	MEÜS	MEÜS	MEÜS	MEÜS	MEÜS	MEÜS
T.Alfa	2.7	3	10	15	-	-	1	1
T.Beta	27	30	100	-	1000	1000	10	10
Ra-226	-	3	-	*5	3	3	-	-
Sr-90	-	30	-	-	-	-	-	-

1Bq=27 pCi

\*Ra-226 ve Ra-228 toplamı

MEÜS:Müsaade Edilen Üst Sınır

TEÜS:Tavsiye Edilen Üst Sınır

WHO:Dünya Sağlık Teskilati

USEPA:A.B.D. Çevre Ajansı Korunması

USPH:A.B.D. Halk Sağlığı

US.CAL.:A.B.D.California

TSE:Türk Standartları Enstitüsü

İSKİ:Türkiye İstanbul İçme ve Kanalizasyon İdaresi

Gerçekte radyoaktivitenin varlığını bile tayin etmek çok duyarlı çalışmayı gerektirmektedir. İçsel alınabilecek doz oranının belirlenmesinde indirekt yöntem olarak radyum etkisi temel alınır ve karşılaştırma ile veya dıstan maruz kalma limitlerinden ekstrapolasyon ile izin verilen üst limit bulunmaya çalışılır.

Radyoaktif bir element olan radyum, vücuda alındığında, temel metabolik işlevi kalsiyuma benzerliğinden dolayı kalsiyum metabolizmasını izleyerek kemiklerde ve aktif kemik iliği alanlarında depolanır. Sonuçta, Radon ve bir dizi kısa yarı ömürlü radon ürünlerine bozunarak vücudu önemli dozda radyasyona maruz bırakır. Alınan radyumun %70-90'ı

kemikte toplanır, geriye kalan kısmı yumuşak dokuların absorpsiyonuna bağlı olarak depolanır veya vücut dışına atılır. Tablo 7'de Ra-226 ve Ra-228 izotoplarının organlardaki ortalama aktivite konsantrasyonları verilmiştir. Radyum'un biyolojik yarı ömrü (kemikte) 44 yıldır. Normal radyasyon art-ortam alanlarında kemikteki Ra-226 konsantrasyonları 1.9-19.9 pCi/kg aralığında değişir. Radyum için izin verilen vücut yükü ise 0.1 mCi'dir (UNSCEAR, 1977).

Normal radyasyon çevre alanlarında diyetel olarak Ra-226 alımı, ortalama 1 pCi/gün'dür. Çoğu diyet bileşenlerinde Ra-226 aktivite konsantrasyonu, 0.1-5.0 pCi/kg arasında değişir. Değişik ülkelerde insanların diyet yoluyla aldıkları Ra-226 aktivitesi Tablo 8'de verilmiştir (UNSCEAR, 1977).

Birleşmiş Milletler Teşkilatı'nın yayınladığı UNSCEAR 77 raporu için Asikainen ve Kahlos'un (Asikainen, 1980) Finlandiya toplumu için yaptığı hesaplamalara göre, 109.9 pCi/l'lik Radon içeren musluk suyunun evlerde kullanılması durumunda, radonun havaya kaçması sonucu solunum yolu ile akciğer bronşları mukozası duvarlarına, yılda 2 mSv, yine aynı sudan günde 300 ml içilmesi halinde ise mide duvarlarına 0.26-0.42 mSv'lik bir eşdeğer doz vereceğini hesaplanmıştır.

Radyoaktif suların insan sağlığını olumsuz yönde etkilemesinin aksine, olumlu yönde de etkilediğinden hiç şüphe yoktur. Radyum emanasyonu içme kurlerinde bağırsak yoluyla, bonyoda ciltten ve teneffüs edildiğinde akciğerler yoluyla bünyeye girer. Dolayısıyla radyoaktif sular endokrin sistem üzerinde tesir gösterirler (Yenal, 1975).

Tablo 7. Ra-226 ve Ra-228 İzotoplarının Organlardaki Ortalama Aktivite Konsantrasyonları (pCi/l)

ORGAN veya Doku	Ra-226	Ra-228
Gonadlar	0.073	0.11
Meme Dokusu	0.073	0.11
Akciğerler	0.073	0.11
Kortikal Kemik	170	50
Trabeküler Kemik	170	50
Kırmızı Kemik	0.073	0.11
Troid	0.073	0.11
Diğer Dokular	0.073	0.11

Tablo 8. Değişik Ülkelerde İnsanların Diyet Yoluyla Aldıkları Radyum Aktivitesi (pCi/gün)

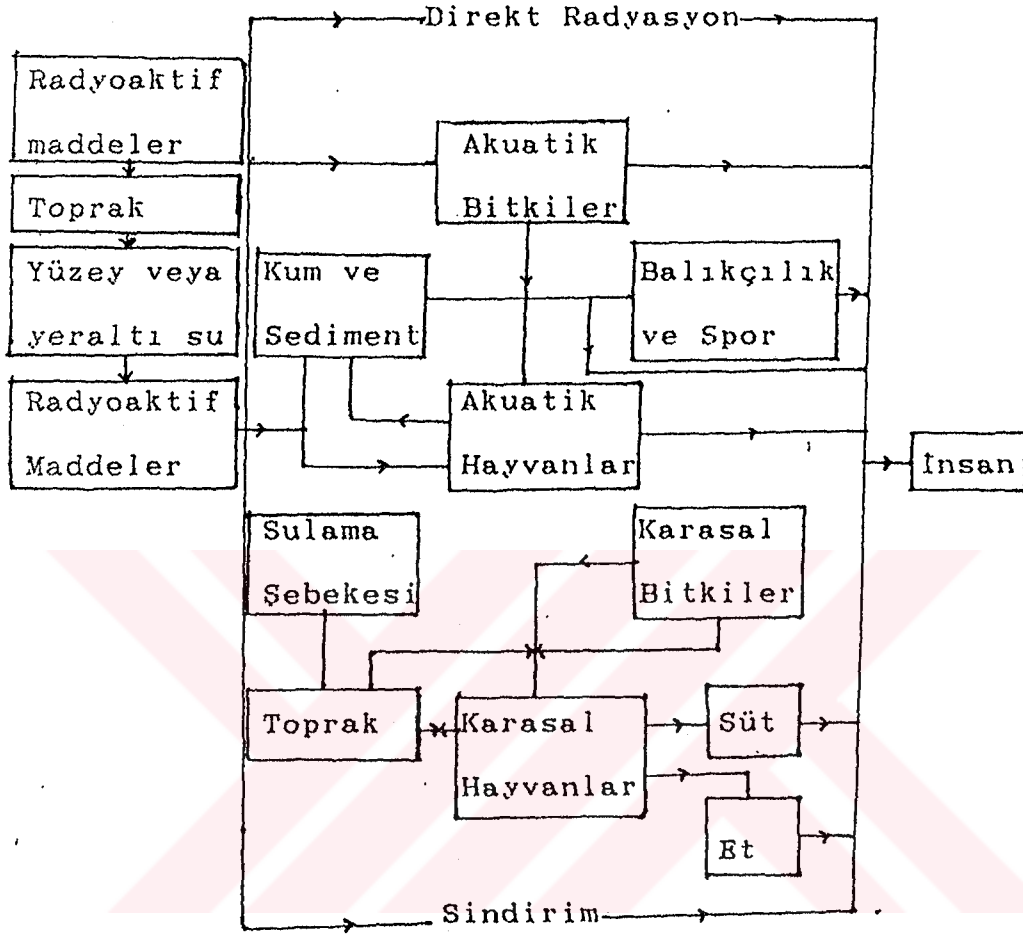
ÜLKE	Ra-226 Alımı (pCi/gün)
A.B.D.	1.35
İngiltere	2.70
Almanya	2.97
İtalya	1.35
Belçika	1.35
S.S.C.B.	8.10
Polonya	0.54
Brezilya (Aroxa-Topira)	10.80-121.50
Hindistan	2.70
Hindistan (Kerala)	32.94
Dünya Ortalaması	0.92

Radyoaktif maddelerin insanlara geçiş yolları yalnız sularla kalmayıp, çeşitli yollarla geçmektedir. Tablo 9'da bu durum sematik olarak ifade edilmiştir.

## 2.8 Radyoaktif Ölçmelerin Statistiği

Radyoaktif bir kaynaktaki herhangi bir atomun bozunumu tesadüfe bağlıdır. Rastgele ve kaynaktaki öteki atomların parçalanmasına bağlı bulunmaz. Bu sebeple yayınlanan yüklü parçacıkların veya fotonların sayısında zamana göre rastgele

Tablo 9. Radyoaktif Maddelerin İnsanlara Geçiş Yolları



olur. Uzun yarı ömürlü bir kaynaktan çıkan parçacıklar, esit sartla altında, ayrı ayrı bir çok kere sayıldığında gözlenen değerler, ortalama bir değer etrafında belli bir dağılım gösterir. Gözlemlerin sayısı sonsuz büyük bir değere çıkarılırsa, gözlenen ortalama, gerçek ortalamaya eşit olur. Eğer gerçek ortalama  $m$  ise, bir tek ölçmede  $n$  tane parçacık sayma ihtimali;

$$P_n = \frac{m^n}{n!} e^{-m} \text{ bağıntısı ile verilmiştir.}$$

Bu frekans dağılımı yada ihtimaliyet fonksiyonuna poisson dağılımı adı verilir.  $m$ 'in küçük değerleri için bu

fonksiyonu gösteren eğri simetrik değildir.  $m$  büyüdükçe eğri simetrik şekil alır ve dağılım normal Gauss dağılımı haline dönüşür.

Zamanla şiddeti değişmeyecek kadar çok uzun yarı ömürlü bir kaynakla yapılan  $n$  sayıda ölçüde elde edilen değerler  $N_1, N_2, \dots, N_n$  ise, gerçek değere en yakın değer olarak bunların ortalaması  $\bar{N}$  alınır.

$$\bar{m} \approx \bar{N} = \left( \sum_{i=0}^n N_i / n \right)$$

$n$  (deneme sayısı) ne kadar büyük olursa aritmetik ortalama  $\bar{N}$ , gerçek ortalama  $m$ 'ye o kadar yakındır.

#### a. Standart Sapma

Ölçülen saymaların gerçek ortalama etrafında gösterdikleri statistiksiz oynamaların büyüklüğü standart sapma ile ifade edilir. Standart sapma,

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^n (m - N_i)^2 / n} \quad \text{bağıntısı ile verilir.}$$

Pratikte,  $m$  bilinmediği için standart sapma yaklaşık olarak

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^n (\bar{N} - N_i)^2 / (n-1)} \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Radyoaktiflik olayı gibi Poisson dağılımı gösteren bir olayda, bir tek ölçüdeki sayma sayısı  $N$  ise, standart sapma

$$\sigma = \sqrt{N} \quad \text{ile verilir.}$$

## 2.9 Regresyon ve Korelasyon Analizi

Radyoaktif ölçümlerde elde edilen,  $N$  adet ölçüm noktasının ölçüm değerleri sırasıyla  $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_n; \dots$  şeklinde gösterilebilir. Daha sonra her bir  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  gibi değişken çifti değerleri dik

koordinat sisteminde işaretlenerek serpm diyagramı elde edilir.

Şekil 3'de görülen  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  notasyonu ile tanımlanan noktalar gözönüne alındığında, her bir  $x_i$  değeri için iki  $y_i$  değeri vardır.  $D_i$  ile gösterilen sapmalar pozitif negatif veya sıfır olabilir. Her bir  $x_i$  değeri için tek bir  $D_i$  sapma değeri vardır.

Bu nedenle N sayıdaki nokta için  $D_1, D_2, \dots, D_n$  olmak üzere N adet sapma değeri vardır. Hata kareler toplamı olarak

$S = \sum_{i=0}^n D_i^2$  denklemi ile herhangi bir regrasyon doğrusu için S değeri elde edilir. Regrasyon doğrusunun katsayılarını bulma işlemine en küçük kareler adı verilir. S eşitliği;

$S = \sum_{i=0}^n (\bar{y}_i - y_i)^2 = \sum_{i=0}^n (a_0 + a_1 x_i - y_i)^2$  ifadesinde açık olarak yazılır. Burada fonksiyonun a ve a değişken değerlerine göre türevini alarak sıfıra eşitlenir. Denklem çözülür ve düzenlenirse

$$Na_0 + (\sum x_i) a_1 = \sum y_i$$

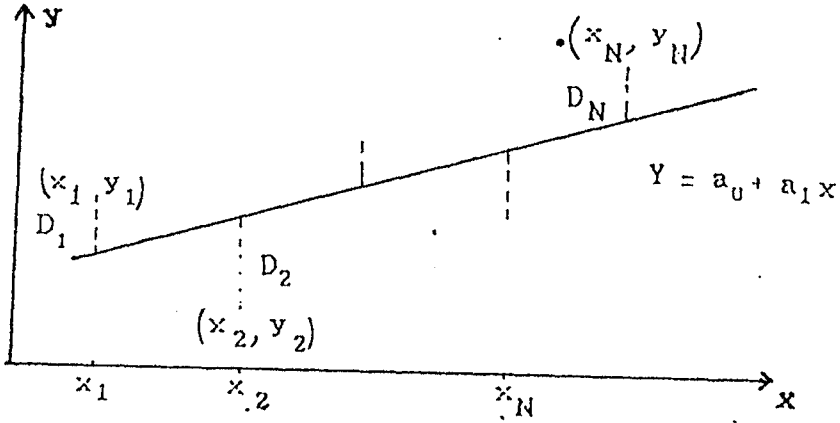
$$(\sum x_i) a_0 + (\sum x_i^2) a_1 = \sum x_i y_i \text{ denklem sistemi elde edilir.}$$

Denklem sistemi matris notasyonu ile gösterilirse

$$\underbrace{\begin{pmatrix} N \sum x_i \\ \sum x_i^2 \end{pmatrix}}_M \underbrace{\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \end{pmatrix}}_N = \underbrace{\begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \end{pmatrix}}_K \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ ve } Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

$MN=K$

matrisi elde edilir.



Şekil 3. Regrasyon Doğrusu

$M = X^T X$  ve  $K = X^T Y$  olduğu görülür.

$MN = K$  denklemi  $(X^T X)N = X^T Y$  sekline dönüşür. Denklemin heriki tarafı  $(X^T X)^{-1}$  ile çarpılarak

$$(X^T X)^{-1} (X^T X)N = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

$IN = (X^T X)^{-1} X^T Y$  denklemi elde edilir.

Denklemin sağ tarafındaki matris işlemi tamamlandığında  $N$  kolon matris elemanları olarak regrasyon doğrusuna ait regrasyon katsayıları hesaplanmış olur.

Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini tanımlayan korelasyon, korelasyon katsayısı adı verilen

$r = \pm \sqrt{\frac{\sum(\bar{y}_i - \bar{y}_0)^2}{\sum(y_i - y_0)^2}}$  denklemi ile tanımlanan katsayı ile ölçülür.

$r$ ,  $+1$  ve  $-1$  aralığında değişik değerler alabilir.  $r$ 'nin  $+1$  ve  $-1$  alması halinde değişkenler arasında mükemmel bir korelasyon olduğu,  $r$ 'nin sıfıra eşit olması halinde ise değişkenler arasında herhangi bir korelasyon olmadığı ve değişkenler arasında kurulacak ilişkinin anlamsız olduğu söylenebilir.

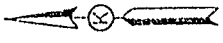
## 2.10 İzmir İli İçme ve Kullanım Suyu Kaynakları

İzmir ilinin su ihtiyacının karşılanmasında Devlet Su İşleri Tarafından (DSİ) işletmeye hazır hale getirilerek İzmir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresine (İZSU) devredilen toplam 105 kadar sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyular, Halkapınar (18 Adet), Manisa Sarıkız (24 Adet), Manisa Göksu (18 Adet), Menemen Acil kuyular (14 Adet), Menemen Çavuşköy (8 Adet), Güzelbahçe (4 Adet), Buca (4 Adet), Pınarbaşı (3 Adet), Çamdibi (2 Adet), Abdi İpekçi (1 Adet) ve Çimentas (3 Adet) yörelerinde bulunmaktadır. Bu kuyular için ölçülen toplam debi miktarları ortalama 6000 l/s olarak verilmiştir.

Su örnekleri; Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen ve Gaziemir Sarnıç olmak üzere 5 farklı bölgeden alındı. İZSU'nun bu kuyulara ait Ekim 1993 tarihinde yapmış olduğu pH, iletkenlik ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinite ( $\text{mg/l}$ ) ölçümleri ve kuyuların debileri ( $\text{l/s}$ ) Tablo 10'da verilmiştir. Debi sonuçları İZSU tarafından Orifis sistemi ile ölçülmüştür. (Kocabas, 1994). Örneklem istasyonları ve İzmir su kaynaklarının İzmir kentine iletim ve alternatif güzergahları Şekil 4'te verilmiştir (DSİ, 1986).

Tablo 10. İZSU Tarafından 20 Sondaj Kuyusunda Ekim 1993  
Tarihinde Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Analiz  
Sonuçları

Su Örneği Alınan Yer	Sondaj Kuyu No	pH	İlet. $\mu\text{mho/cm}$	Alkl. mg/l	Debi l/s
Halkapınar	3	7.2	500	327	80
	4	7.2	480	322	85
	5	7.3	460	322	80
	16	7.4	420	283	110
Manisa Sarıkız	7	7.3	450	346	70
	11	7.4	560	361	70
	16	7.3	400	351	70
	20	7.4	450	346	90
Manisa Göksu	3	7.4	450	346	90
	8	7.4	450	356	90
	9	7.3	450	410	95
	17	7.5	450	400	85
Menemen Acil Kuyl.	11	7.3	1100	512	50
	13	7.6	600	317	50
Menemen Çavuşköy	3	7.6	600	337	50
	7	7.7	400	298	50
Gaziemir Sarnıç	1-2	7.0	500	404	3-5
	3-4	7.1	500	415	3-5
	5-6	7.1	500	420	3-5
Pınarbaşı Çınaraltı	4	7.5	400	302	50



LEGEND

BARAJ

DEPO

POMPA İSTASYONU

KAYNAKLAR

KUYULAR

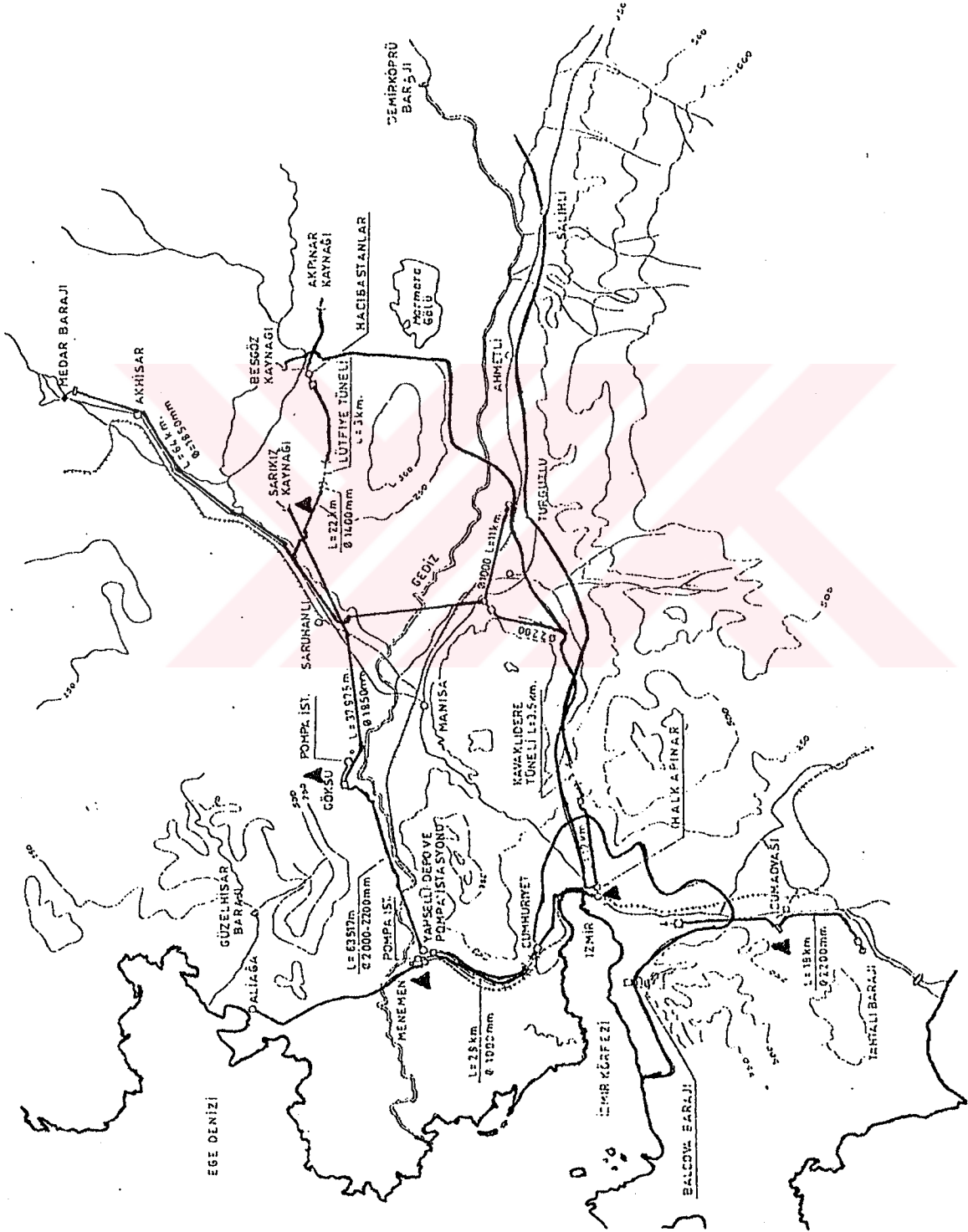
TÜNEL

DEMİRYOLU

ANA YOL

▲ Su örneği

alınan bölge



Sekil 4. Örneklemeye İstasyonları ve Izmir Su Kaynaklarının

Izmir Kentine İletim ve Alternatif Güzergahları

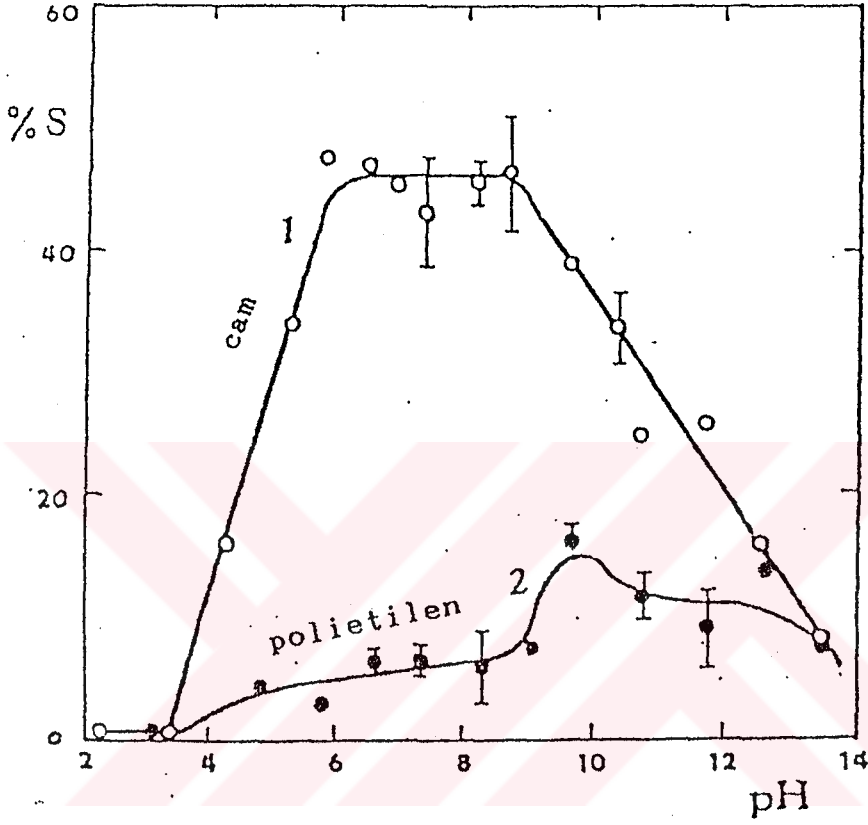
### 3 DENEYSEL YÖNTEMLER

#### 3.1 Arazi Çalışmaları

##### 3.1.1 Örnek Alma İşlemleri

Su örneklemeleri; Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen ve Gaziemir yörelerinde bulunan 5 farklı bölgedeki sondaj kuyularından seçildi ve örnekleme işlemi Ocak 1994 tarihinde başlayıp, Şubat 1994 tarihinde bitirildi. Her bir bölgede örnekleme yapılırken, sondaj kuyularının arasındaki uzaklığın maksimum olmasına dikkat edilerek, her bölgedeki 4 tane sondaj kuyusundan, daha önce cam ve polietilen şişeler için yapılan çalışmalarda elde edilmiş veriler dikkate alınarak, polietilen maddesinden yapılmış, contalı ve vidalı kapakları olan renksiz 1 litrelik şişeler kullanıldı. Şekil 5'de su içeriğinde bulunan radyumun, örnek kab (cam ve polietilen) duvarlarındaki absorpsiyonun suyun pH'ına göre değişimini göstermektedir (Sebesta, 1980). Örnekleme, sondaj kuyularının üst kısmındaki su çekim motoruna bağlantılı borunun yan tarafında bulunan muslukta bir süre su akıtıldıktan sonra pet şişeler su örneği ile birkaç defa çalkalanarak her bir örnekleme istasyonundan 3 şişe alınarak yapıldı.

Su örneklerinin 2 tanesine suyu bazı kimyasal değişimlerine karşı korumak için,  $\text{pH} \leq 2$  olacak şekilde, örnekleme noktasında 0.5 ml 1 N Nitrik Asit ilave edilerek asitlendi. Diğer şişe pH, Eh, iletkenlik ve alkalinite ölçümleri için 2-3 saat içerisinde laboratuvara getirildi. Analizleri için kullanılan örneklerin artan kısmı asitlendirildi.



Sekil 5. Radyum'un Cam ve Polietilen Üzerinde Absorbsiyonuna pH'in Etkisi

### 3.1.2 Sıcaklık ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri; örneklemelerin yapıldığı anda termometre su içinde 2-3 dakika bekletilerek, dengeye geldiği nokta tamsayıya yaklaştırılarak kaydedildi. Arazi çalışmamız süresince tek tip termometre (Laborterm'N Skalenwert 1K) kullanılarak, sıcaklık ölçümlerinde standartlık sağlandı.

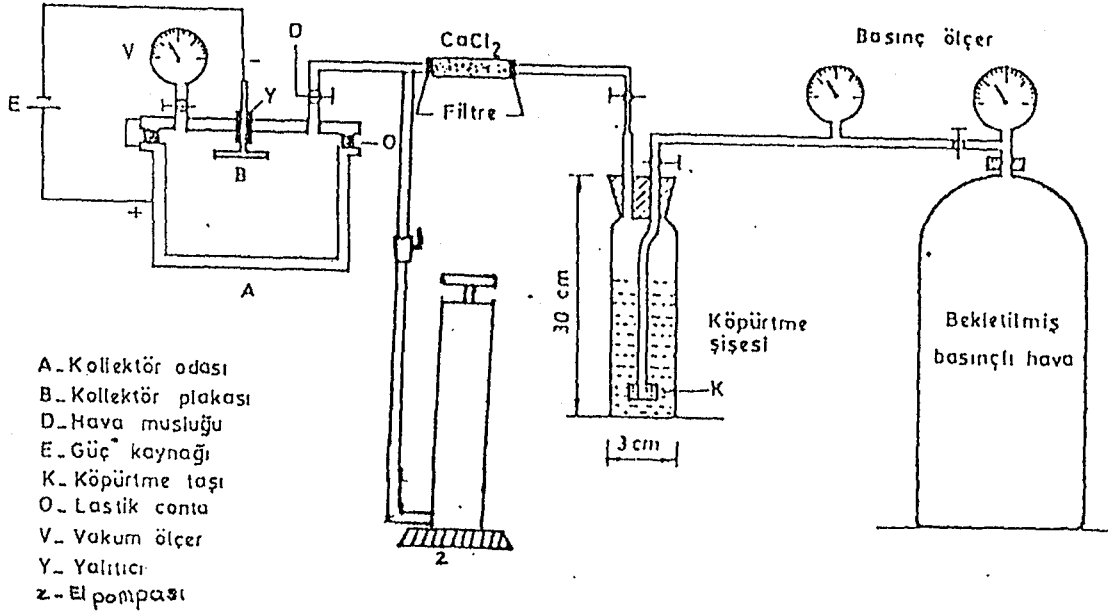
### 3.1.3 Yüzey Gama Ölçümleri

Yüzey gama ölçümleri; toplam gama radyasyon ölçümleri şeklinde yapıldı. Arazi çalışmalarımızda iki tür gama gözlem cihazı (Scintrex BGS-4 ve Ludlum  $\mu$ R meter) kullanıldı. Bu cihazlardan birincisi, sonuçları saniyede sayım, (cps) diğeri ise; saatte mikroröntgen( $\mu$ R/h) olarak vermektedir.

Yüzey gama ölçümlerinin yapıldığı sahalar; su örneklerinin alındığı sondaj kuyusunun etrafındaki, yapay olarak doldurulmuş kum ve çakıldan uzakta ve çevrenin genel özelliklerini taşıyan yerler olarak seçildi. Bu yerlerdeki organik kalıntı maddeler temizlenerek düz bir zemin üzerine cihazların konulması ve 30 saniye süresince göstergedeki değişimler takip edilerek ortalama bir değer yüzey ölçüm değerleri olarak kayıt edildi.

### 3.1.4 Radon Ölçümleri

Sudaki radon konsantrasyonu; Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen kollektör yöntemi kullanılarak belirlendi (Kumru,1992). Yöntemin temel prensibi, vakum yapılmış bir sise içersine çekilen 100 ml sudaki radon gazının, yaşlı hava ile köpürtülerek kollektör odasına aktarılması ve radon gazının bozunumu ile oluşan radon ürünlerinin, kollektör odası ve kollektör plakası arasına uygulanan voltaj ile, kollektör plakası yüzeyine toplanması ve toplanan ürünlerin toplam alfa aktivitesi ölçümüne dayanır. Bu çalışmada kullandığımız radon gazı, ölçüm sisteminin basitleştirilmiş seması Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Radon Ölçümlerinde Kullanılan Kolektör Yöntemi Deney Düzenegi

Sistem genel olarak  $h=8.7$  cm  $r=9.5$  ( $V=2.47$  l) boyutlu paslanmaz çelikten yapılmış silindirik şekilde kolektör odası ve bundan izole edilmiş şekilde önyüzü iletken (Bakır) arka yüzü yalıtkan 4.5cm çaplı dairesel kolektör plakası, 30cm yükseklik ve 3cm genişlikte cam sise, yüksek voltaj kaynağı ve alfa sayım cihazından oluşan elektronik sistemdir.

Arazide yapılan sudaki radon gazı ölçümlerinde, araziye çıkmadan önce temizlemiş köpürtme siseleri kontrol edildi. Ölçümler için temizlenmiş olan kolektör plakaları ön yüzeyine değmeden yerine takılarak kolektör sistemi ölçümlere hazır hale getirildi. Sistem, arazide araç içinde düzenli olarak kurulan ve bir el pompası yardımı ile vakum edildi. Köpürtme şisesi, vakum yapılarak köpürtme şisesine su örneğinden 100 ml çekildi. Daha sonra bir ay bekletilmiş hava

tüpünün vanası açılarak, radon gazının kurutucu (CaCl<sub>2</sub>) içeren bir tüpten geçirilerek kollektör odasına aktarımı yapıldı. Vakum göstergesi sürekli kontrol edilerek sıfırı gösterdiğinde kollektör odası kapağındaki vanalar derhal kapatılarak ölçüme geçildi.

Radon ve ürünlerinin dengeye gelmesi için 4 saat süreyle bekletilmiş ve bu sürede kollektör odası pozitif, kollektör plakası negatif olmak üzere, sisteme araç içinde bulunan yükseltici ile 600 VDC uygulanmıştır. Radon'un bozunumu sonucu oluşan ürünleri, voltajın etkisi ile kollektör plakasının ön yüzeyine toplandı. Çünkü alfa parçacıklarının çekirdekten çıkışları sırasında, yörünge elektronlarını götürmesinden dolayı radonun bozunum ürünlerinin büyük bir kısmı pozitif iyonlar olarak oluşur (ANC, 1981).

Arazide yapılan çalışma sonucu, 4 tane su örneğinden elde edilen radon gazının bulunduğu voltaja bağlanmış kollektör kapları, araçla laboratuvar yakınına getirildi. Alfa sayım cihazı araca en yakın laboratuvara koyularak kollektör kapları ile arasındaki uzaklık en aza indirildi. Bu işlem, ölçümlerde aynı koşulların sağlanması ile voltaj süresi sonunda kollektör plakaların aynı sürede (1 dak.) sayım sistemindeki yerine yerleştirilmesi ve toplam alfa aktivitelerinin ölçümleri için yapıldı. Kollektör plakalarının toplam alfa ölçümleri 20 dakika süre ile alfa sayım cihazı (Eberline Model SAC-4) kullanılarak ölçüldü. Önceden hazırlanan kalibrasyon katsayıları kullanılarak suların radon konsantrasyonları belirlendi.

## 3.2 Laboratuvar Çalışmaları

### 3.2.1 pH ve Eh Ölçümleri

Bir çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonunun logaritmasının ( $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ) negatif değeri çözeltinin pH'ı olarak tanımlanır. Nötr bir suyun pH'ı 7'dir. pH değeri 7'den düşük olan sular asidik, büyük olan sular bazik olarak tanımlanır. pH ölçümlerinde kalorimetrik ve elektrometrik yöntemler kullanılır.

Sulu çözeltilerdeki bir çok kimyasal olayda hidrojen iyonları aktivitesi çok önemli bir rol oynar ve redoks potansiyelleri volt veya milivolt olarak ifade edilir. Ancak bir elektrodun potansiyeli tek başına ölçülemediğinden, sisteme redoks potansiyeli kesinlikle bilinen bir elektrodun bağlanması gerekir. Referans elektroda göre E altında indis olarak belirtilir.

Örneklemelemlerin yapıldığı zamandan 3-4 saat sonra, laboratuvara getirilen suların pH ve Eh değerleri ölçümünde digital pH ölçüm cihazı (HI 8314 Membrane pH Meter) kullanıldı. Cihaz her ölçüm günü  $\text{pH}=4$  ve  $\text{pH}=7$  tampon çözeltileri ile kalibre edildi. pH metrenin elektrodu safsu ile temizlendikten sonra 100 ml kadar su örneğinin bulunduğu behere koyuldu. Elektrodlar bir su içine daldırıldığı zaman hidrojen iyonları konsantrasyonu ile ilgili olarak meydana gelen elektriki potansiyel farkına göre, ayarlanmış alet üzerindeki göstergeden doğrudan doğruya suyun pH değeri ve Eh değeri okundu.

### 3.2.2. İletkenlik Ölçümleri

Elektriki iletkenlik, çözeltilinin elektrik akımını geçirmeğe karşı gösterdiği direnç veya akımı geçirme kabiliyetidir. Öz direnci  $\rho$ , kesiti  $S(\text{cm}^2)$  ve boyu  $L(\text{cm})$  olan bir iletkenin direnci;  $R = \rho x(L/S)$  formülü ile ifade edilir. Öz direncin tersine öz iletkenlik veya spesifik iletkenlik denir.  $\sigma = (1/\rho)$  olup, birimi  $1/\text{ohm} \times \text{cm}'\text{dir}$  veya kısaca  $\text{mho}/\text{cm}'\text{dir}$ .

Suda çözünen tuzların konsantrasyonunun az olması nedeniyle ölçülecek elektriki iletkenlik değeri çok küçük olacaktır. Bu nedenle elektriki iletkenlik  $10^{-6}$  ile çarpılarak  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  cinsinden ifade edilir. Ölçülen elektriki iletkenlik, suda çözünmüş olan madde miktarı ile ilgilidir. Suda çözünen tuzun cinsi değişirse, elektriki iletkenliği de değişir. Sıcaklık yükseldikçe anyon ve katyonların kinetik enerjileri arttığı için iyonik iletkenlik artar.

Ölçümlerimiz için standart olarak  $1413 \mu\text{mho}/\text{cm}$  iletkenlik değeri veren  $0,7456$  gram  $\text{KCl}$   $1000$  ml deiyonize suda çözülerek hazırlanan  $0,01\text{M}$   $\text{KCl}$  tampon çözeltisi hazırlandı. Laboratuvar iletkenlik ölçüm cihazı kalibre edildikten sonra cam elektrod saf su ile temizlendi ve su örneğine daldırıldı.  $1-2$  dakika bekletilerek göstergeden iletkenlik değerleri okundu. Ölçümlerimizde Chemtrix type 700 iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak suların iletkenliği belirlendi. Elektrod ve beher saf su ile temizlendikten sonra ikinci bir ölçüme hazır hale getirildi.

### 3.2.3. Alkanite Ölçümleri

Alkililik suyun proton alabilme kapasitesidir. Suyun alkaliniteliğini özellikle kapsamındaki karbonat, bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve hidroksil iyonları meydana getirir. Bu iyonlar arasındaki bağlantı ve iyon konsantrasyonları, sıcaklık, pH ve çözülmüş diğer katı maddelerin miktarına bağlıdır. Sudaki miktarları az olmakla beraber, borik asit, fosforik asit ve silikat asidi gibi organik bileşikler veya inorganik zayıf asitlerde suyun alkaliliğini etkiler.

Bu çalışmada suların alkaliniteleri titrasyon metodu kullanılarak belilendi. Yöntemde 50 ml su örneği bir erlen içersine kondu. 0,1 ml (2-3damla) fenolftalein çözeltisi ilave edildi. Renk pembeleşirse beyaz bir zemin üzerinde 0,02N ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) standart asit çözeltisi ile renk gidinceye kadar (pH=8,5) titre edildi. Böylece fenolftalein alkanitesi tayin edildi. Fenolftalein alkanitesi tayin edilmiş su örneğine 0.1 ml (2-3damla) metiloranj indikatörü ilave edildi. Beyaz bir zemin üzerinde rengin portakal sarısından tuğla kırmızısına döndüğü pH=4,6 değerine kadar asit (0.02N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ile titre edildi.

Titrasyonda asit sarfiyatı; fenolftalein alkanitesi tayini için kullanılan asit ile metiloranj alkanitesi tayini için kullanılan asit miktarının toplamı olarak verildi.

Fenolftalein alkanitesi:

$$\text{mgr/l } (\text{CO}_3^{2-} \text{ cinsinden}) = (\text{AxNxFx50x1000}) / \text{ml}(\text{örnek})$$

ve Metiloranj alkalinitesi:

$$\text{mgr/l } (\text{HCO}_3^- \text{ cinsinden}) = (\text{BxNxFx50x1000}) / \text{ml}(\text{örnek})$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplandı. Bu eşitliklerde;

A: Örneğin fenolftaleinin son noktasına erişinceye kadar harcanan asit miktarı (ml)

B: Örneğin metiloranjdan sonra son noktasına erişinceye kadar harcanan asit miktarı (ml)

N: Asit çözeltisinin molaritesi

F: Çözelti faktörü

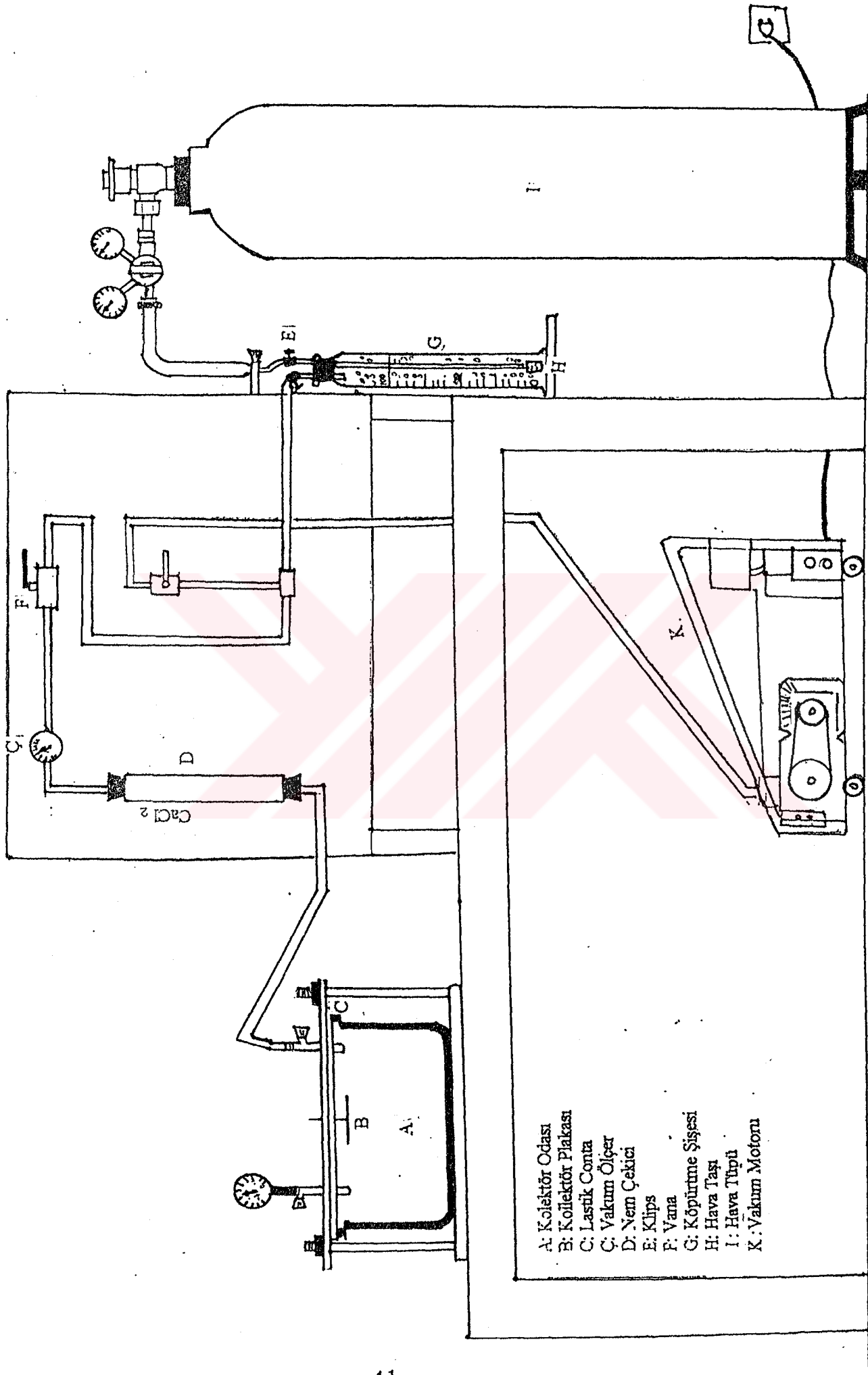
Toplam Alkalinite= Fenolftalein alk.+ Metiloranj alk. olarak hesaplandı. Analizlerimizde kullanılan asidin çözelti faktörü 1.0288 olarak belirlendi.

#### 3.2.4. Radyum Ölçümleri

Radyum ölçümleri için, Nükleer Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen kollektör yöntemi kullanıldı. Bu yöntem geliştirilmesi açısından yapılan bir çalışmada, parametre olarak; kollektör çapı, cinsi, kollektör odası hacmi ve uygulanan voltaj değişimlerine göre verimler incelenmiş ve optimum kollektör çapının R=4.5 cm, kollektör cinsinin Bakır, h=8.7cm, r=9.5cm boyutlu kollektör odası (V=2.47 l) ve uygulanan voltaj 600 VDC olarak elde edilmiştir (Öznur, 1993).

Çevresel su örnekleri genellikle çözünmüş olarak radyum ve radon içerir. Bununla beraber yaygın olarak radyoaktif dengede bulunmaz. Doğal sularda radon içeriği radyumdan daha fazladır. Bu nedenle radyum ve radon konsantrasyonları ayrı ayrı ölçülür.

Kollektör yöntemi ile sularda radyum konsantrasyonunu belirlemek için Şekil 7'de verilen deney düzeneği kullanıldı.



- A: Kolektör Odası
- B: Kolektör Plakası
- C: Lastik Conta
- D: Vakum Ölçer
- E: Nem Çekici
- F: Klips
- G: Vana
- H: Köpürme Şişesi
- I: Hava Taşı
- J: Hava Tüpü
- K: Vakum Motoru

Sekil 7. Radyum Ölçümlerinde Kullanılan Kolektör Yöntemi.

Deney Düzenegi

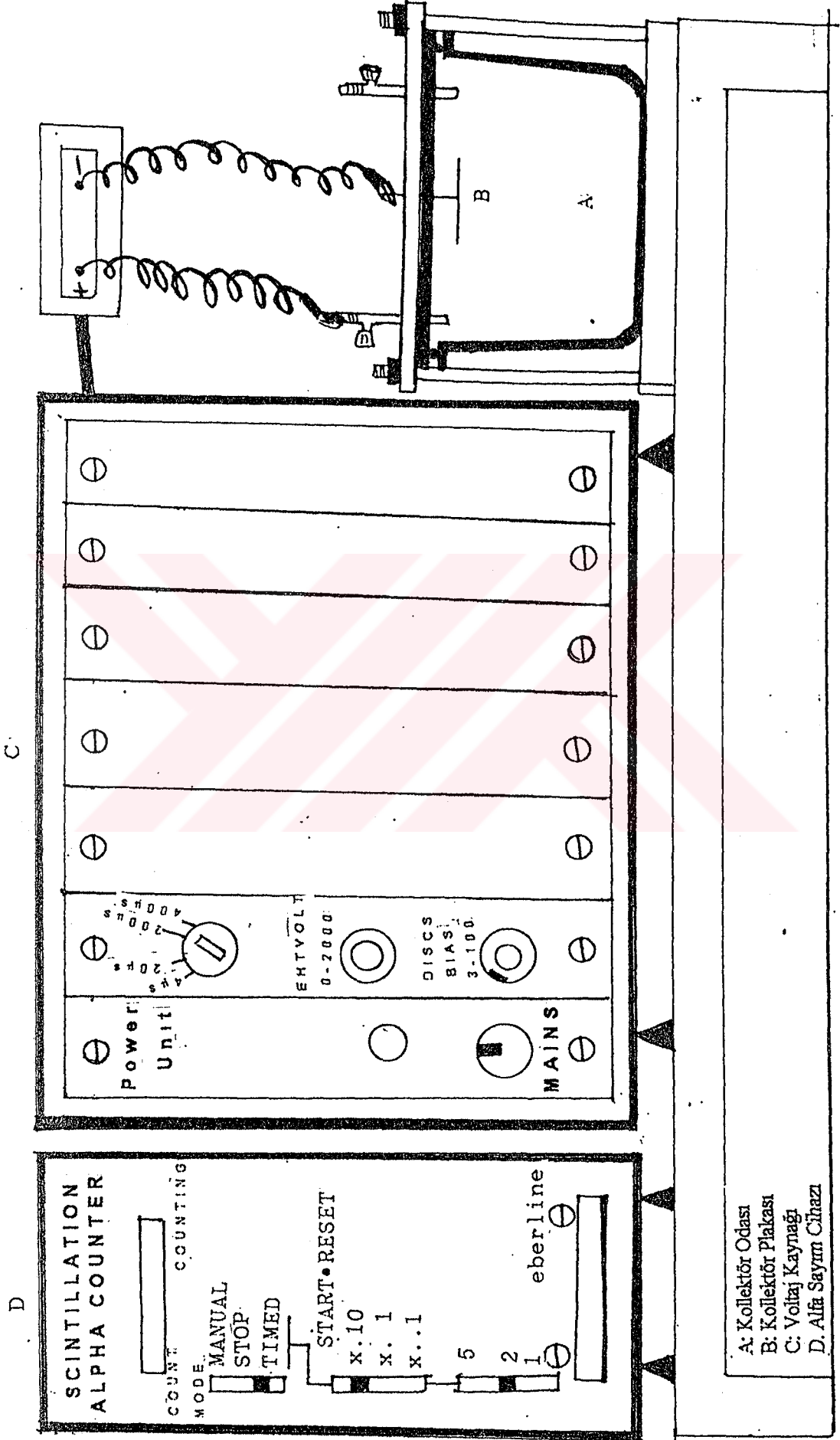
Köpürtme şisesi içersine konulan 100ml su örneği içindeki radon gazı, ölçüm sonuçlarını etkilememesi için içersinde radon gazı bulunmayan taşıyıcı bir gaz yardımıyla uzaklaştırıldı. Bu yöntemde taşıyıcı gaz olarak en az bir ay süre dinlendirilmiş hava kullanıldı. Bu sürede tüpe sıkıştırılan hava içindeki radon gazı bozunarak limit düzeye iner. Köpürtme işleminden sonra su örneğinde radyum-radon dengesinin oluşması için köpürtme şisesi, vakum yapılarak giriş ve çıkış uçları klisplerle sıkıca kapatıldı ve zaman not edildi.

Denge süresi yaklaşık 43 gün'dür. Bu sürenin bitiminde köpürtme şisesindeki radon konsantrasyonu maksimumdur. Ölçüm süresini kısaltmak için su örneğinin köpürtme şisesinde bekleme süresi 7 gün olarak alınır. Bu süre sonunda denge kesri 0.719 olarak oluşur. Sistemi çalıştırmadan önce kollektör odasının kapak ve gövde arasına, gaz sızıntısını önlemek için lastik conta yerleştirilip vakum yapıldı. Vakum işlemi bittikten sonra her iki musluk kapatıldı ve kollektör kabının üst tarafındaki vida somunu kuvvetlice sıkıldı. Daha sonra kapatılmış şise açılarak ve bekletilmiş hava su içersinden geçirilerek köpürtme ile oluşmuş radon gazı kollektör odasına aktarıldı. Aktarma işleminde, su içersinden geçirilen gaz nemli olacağından, kollektör odasına alınmazdan önce nem çekici  $\text{CaCl}_2$  kristali ile doldurulmuş bir tüp nem çekici olarak kullanıldı. Deney esnasında kollektör odası ve köpürtme şisesi arasındaki bağlantılar radon gazının kaçışının önlenmesi için çok iyi izole edildi. Aktarma süresi,

kollektör odasının basıncı açık hava basıncına eşit olana kadar sürdürüldü. Bu ise vakum metrenin sıfırını göstermesiyle anlaşıldı.

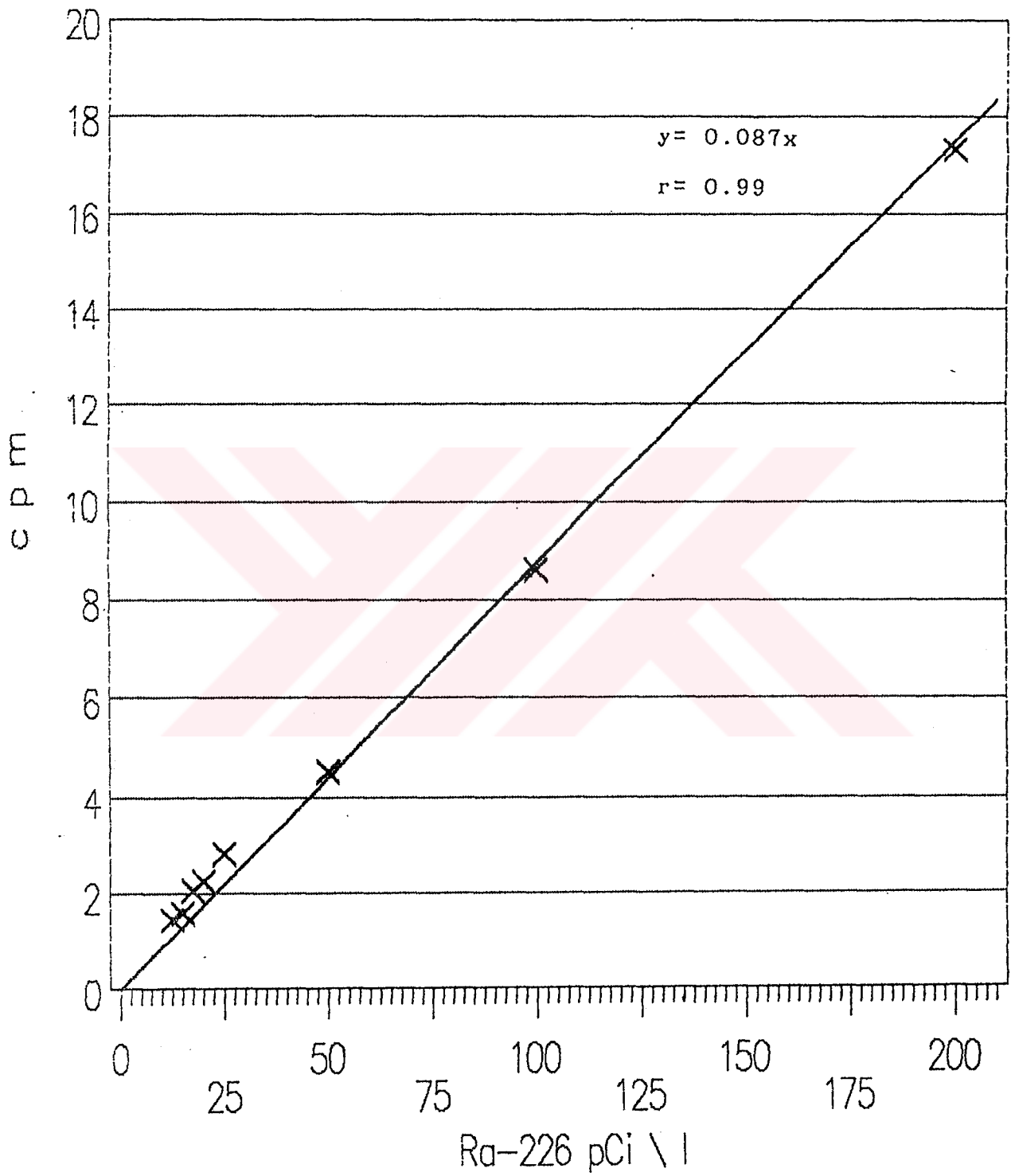
Aktarma işlemi bittiği anda kollektör odasının giriş ve çıkış muslukları kapatıldı ve kollektör plakasına negatif kollektör odası pozitif olacak şekilde 600 VDC gerilim uygulandı. Radon ve bozunum ürünleri arasında maksimum denge- nin oluşması için gerekli süre 4 saat boyunca, gerilim tatbik edildi. Bu sürede pozitif iyonize olan radon ürünleri kollektör üzerinde toplanır. Bu zaman periyodunun sonunda voltaj bağlantısı kesilerek kollektör plakası çok kısa bir sürede (1 dak.) kollektör odasından bir alfa sayım sistemine (Eberline Model SAC-4) taşınarak, toplam alfa parçacık aktivitesi sayıldı. Kollektör yönteminde uygulanan voltaj ve sayım düzeneği Şekil 8'de verilmiştir.

Sistemin artortam tayini köpürtme sisesine 100 ml deiyonize su koyulup örnekler için yapılan işlemler aynen tekrar edilerek, on ölçüm sonucunda belirlendi. Sistemin kalibrasyonu için, aynı sistem kullanılarak yapılmış bir çalışmada (Atalay,1990) kullanılan 12.5, 15, 17.5 ve 20 pCi/l'lik radyum standartlarına ilaveten olarak hazırlanan 25, 50, 100, 200 pCi/l'lik radyum standartlarından elde edilen sayımlar, kalibrasyon katsayısının saptanmasında kullanıldı. Böylece dört farklı konsantrasyondaki standarttan elde edilmiş olan kalibrasyon eğrisi, sekiz standarta yükseltilmiş oldu. Şekil 9'da elde edilen kalibrasyon grafiği verilmiştir. Sekiz



Sekil 8. Kolektör Yönteminde Uygulanan Voltaj ve Sayım

Düzenegi



Sekil 9. Kalibrasyon Grafiği.

radyum standartı kullanılarak elde edilen kalibrasyon katsayısı (0.087 cpm/pCi/l) kullanılarak su örnekleri içersindeki radyum konsantrasyonları belirlendi.

### 3.2.5 Alfa Sayım Cihazının Özellikleri

Kollektör yönteminde kullanılan alfa sayım cihazı model SAC-4 Eberline Sintilasyon Alfa Sayacıdır. Cihaz;

#### 1. Dedektör

a: Örnek Boyutu:Maksimum 21/32 inç çapx3/8 inç kalınlık.

b: Sintilasyon Fosforu:Plastik boru üzerinde ZnS(Ag) tozu.

c: Verim:1 inç çaplı Pu-239 kaynağı  $2\pi$  sayım geometresi ile %80.

d: Plato:200 volt uzunluk, her volt'da %1'den daha az eğim.

e: Artortam:0.3 cpm'den daha düşük.

#### 2. Rezülasyon:Yaklaşık 7 $\mu$ s.

3. Diskriminasyon:1.25'de içten beslemeli, 1.25-0.25 pc arasında duyarlılık veren ayırım gücü.

4. Yüksek Voltaj:Arka panelden yaklaşık 1500 V'a kadar ayarlanabilen regüleli voltaj.

5. Yükseltici:Çok iyi gürültü önleyici ve yüksek hassasiyetle yüke dayalı girişi, kararlılık ve kontrol için geri beslemeli DC bağlamalı yükseltici izler.

### 3.2.5 Toplam Radyasyon Ölçümleri

Su örnekleri 0.5 gramdan fazla bir tortu bırakacak şekilde hacmi büyük bir behere aktarıldı. Daha sonra çekerocaklı fırında beher içinde bir miktar su kalacak şekilde buharlaştırıldı. Kalan su, hassas bir terazide darası alınmış ve hacmi daha küçük olan beherlere aktarıldı. Beher içindeki suyun tamamı kuru tortu elde edilinceye kadar buharlaştırıldı. Buharlaşma işleminden sonra beher içindeki su tortusunun çabuk nemleneceği dikkate alınarak beher soğutulup hassas terazide hemen tartıldı. Toplam ağırlıktan beher ağırlığı çıkarılınca belli bir litreye karşı gelen su tortusu ağırlığı bulunmuş oldu. Su tortusundan 0.5 gramı numaralandırılmış ve darası alınmış planşetlere, hassas terazide tartılarak koyuldu. Planşet içindeki su tortusu ölçümlerin duyarlılıktan sapmaması için yüzeye üniform olarak dağılması gerektiğinden, bir kaç damla alkol damlatılarak etüvde kurutulmasıyla üniform hale getirildi. Planşet etüvde çıkartılıp soğutulduktan sonra etrafı 3.5 cm kurşun bir blok ile çevrilmiş GM dedektör (Ludlum Model 44-7 hacim=325.45cm<sup>3</sup>, Plato bölgesi=1100 V) ve sayım cihazı (Scaler Timer ST7) kullanılarak örneklerin toplam aktiviteleri ölçüldü.

Su tortusunun toplam aktivite yoğunluğu pCi/l olarak  $C=B/2.22 \times V \times H$  formülünden hesaplandı. Burada;

B: Toplam Aktivitenin net sayım oranı (cpm)

V: Sayacın toplam aktivite verim faktörü (cpm/dpm)

H: Planşete koyulan tortu miktarına karşı gelen su hacmi (l)

2.22: Bozunma oranını aktiviteye dönüştürme faktörü (dpm/pCi)

#### 4 DENEYSEL SONUÇLAR ve VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

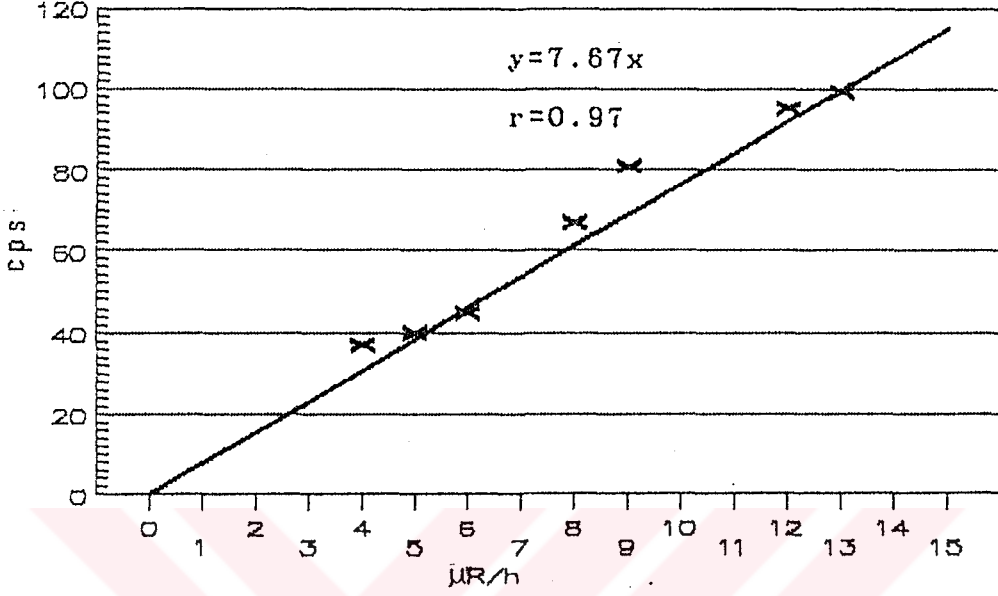
##### 4.1 Arazi Ölçüm Sonuçları

###### 4.1.1 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmada suların oksijen miktarı ve çözgenliğini etkileyen sıcaklık ölçüm sonuçları Tablo 11'de verildi. Buna göre maksimum sıcaklık değeri, Halkapınar 3 nolu sondaj kuyusunda 26°C, minimum sıcaklık değeri Gaziemir (1-2) ve (5-6) nolu sondaj kuyularında 18°C ve ortalama olarak 22.3°C bulundu.

###### 4.1.2 Yüzey Gama Ölçüm Sonuçları

Örnekleme yerlerinde gama ölçüm cihazları sondaj kuyularının yakınında çevre özelliklerini taşıyan, düz bir zemin üzerine koyularak ölçümler yapıldı. Sonuçları cps ve  $\mu\text{R/h}$  olarak veren Scintrex ve Ludlum olmak üzere iki tür gama ölçüm cihazı kullanıldı. Her iki alet ile alınan sonuçlar bir kaç dakikalık sayımların ortalaması olarak Tablo 12'de verildi. Tablo 12'de belirtildiği gibi  $\mu\text{R/h}$  değerinde maksimum 13  $\mu\text{R/h}$  sonucu Halkapınar 3, Menemen Acil Kuyular 13, Çavuşköy 7 nolu sondaj kuyularında, minimum 4  $\mu\text{R/h}$  değeri Manisa Sarıkız 11 nolu sondaj kuyusunda ve ortalama olarak 9  $\mu\text{R/h}$  değeri elde edildi. İkinci cihazla yapılan ölçümlerde cps değerlerde maksimum 103 cps Halkapınar 4 nolu sondaj kuyusunda, minimum 35 cps sonucu ise Manisa Sarıkız 7 nolu sondaj kuyusunda ve ortalama olarak 68 cps sonucu elde edildi. Her iki ölçüm cihazından elde sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da



Şekil 10. Yüzey Gama Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği

verilmiştir. cps sonuçları ile  $\mu\text{R/h}$  ölçüm sonuçları birbirini desteklemekte ve aynı yerlerde maksimum ve minimum değerleri vermektedir.

#### 4.1.3 Radon Ölçüm Sonuçları

Bir asal gaz olması nedeniyle su yüzeyinden kolayca havaya kaçabildiğinden dolayı konsantrasyon belirlenmesinde zorluk çekilen radon gazı ölçüm sonuçları Tablo 12'de sunulmuştur. Toplam 20 sondaj kuyusunda DA-155.7 pCi/l arasında değişmekte olan radon konsantrasyonları maksimum Menemen Acil kuyular 7 nolu sondaj kuyusunda, minimum değer Manisa Göksu 17-3 ve Menemen Acil kuyular 11 nolu sondaj kuyularında ölçüldü ve ortalama olarak 44.9 pCi/l değeri elde edildi.

## 4.2 Laboratuvar Ölçüm Sonuçları

### 4.2.1 pH Ölçüm Sonuçları

pH değerleri, su örneklemeleri yapıldıktan ortalama 2-3 saat sonra laboratuvarda, tampon çözeltiler ile kalibre edilen pH metre kullanılarak belirlendi.

IZSU'ya bağlı çeşitli bölgelerdeki sondaj kuyulardan seçilen 20 tanesinden alınan su örneklerinin ölçülen, pH değerleri Tablo 11'de verildi. Bu sonuçlara göre pH değerlerinde aşırı bir değişme olmadığı gözlemlendi. Yaptığımız ölçümlerde pH'ın maksimum değeri (pH=7.51) Manisa Sarıkız bölgesi 16 nolu sondaj kuyusunda, minimum değeri (pH=6.56) Gaziemir Sarnıç bölgesi (1-2) nolu sondaj kuyularında elde edildi ve ortalama olarak pH=7.00 değeri hesaplandı.

### 4.2.2 Eh(mV) Ölçüm Sonuçları

Toplam 20 su örneklemelerinin yapıldığı sondaj kuyularında ölçtüğümüz Eh değerleri Tablo 11'de verildi. Buna göre Eh'in bulunan maksimum değeri 55 mV Gaziemir Sarnıç (1-2) nolu sondaj kuyusunda, minimum değeri 1 mV Manisa Sarıkız 16 nolu sondaj kuyusunda elde edildi ve ortalama olarak 30.25 mV değeri bulundu.

### 4.2.3 İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Toplam iyon konsantrasyonu ile ilişkili ve yaklaşık olarak çözünmüş katı madde miktarı ile doğru orantılı olan iletkenlik değerleri Tablo 11'de verildi. Bu sonuçlara göre maksimum iletkenlik değeri 1400µmho/cm Menemen Acil Kuyular 11

nolu sondaj kuyusunda, minimum 520 $\mu$ mho/cm ile Menemen Çavuşköy 7 nolu sondaj kuyusunda ölçüldü ve ortalama 717.7 $\mu$ mho/cm değeri elde edildi.

#### 4.2.4 Alkalinite Ölçüm Sonuçları

Suyun içeriğinde bulunan karbonat, bikarbonat ve hidroksil iyonlarını meydana getiren toplam alkalinite sonuçları Tablo 11'de verildi. Buna göre maksimum alkalinite 462.6 mg/l olarak Menemen 11 nolu sondaj kuyusunda, minimum 261.1 mg/l olarak Menemen Çavuşköy 7 ve Pınarbaşı Çınaraltı 4 nolu sondaj kuyularında elde edildi ve ortalama olarak 326.7 mg/l değeri hesaplandı.

#### 4.2.5 Radyum Ölçüm Sonuçları

Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen ve Gaziemir bölgelerindeki 20 sondaj kuyusundan toplanan su örneklerinin içerdikleri radyum konsantrasyon değerleri Tablo 11'de verildi. Tablodaki her bir sonuç en az beş ölçüm sonucunun ortalamasıdır. Ayrıca ölçümler, kollektör sisteminde sayımları etkileyebilecek kollektör kabı, köpürtme siseleri vs. her bir ölçümde değiştirilerek tekrarlandı. Buna göre Radyum konsantrasyonunun maksimum değerleri 22.2 pCi/l olarak Halkapınar 16 nolu sondaj kuyusunda ve 17.7 pCi/l değeri Manisa Göksu 9 nolu sondaj kuyusunda, minimum değerler Manisa Sarıkız 20-16, Manisa Göksu 12, Menemen Acil kuyular 13 ve Pınarbaşı Çınaraltı 4 nolu sondaj kuyularında düşük aktivite (DA) ve ortalama olarak 4.6 pCi/l değeri elde edildi.

Tablo 11. İZSU'nun 20 Sondaj Kuyusunda Şubat-Ocak 1994  
Tarihinde Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Analiz  
Sonuçları

Su Örneği Alınan Yer	Sondaj Kuyu No	Sıc. °C	pH	Eh mV	İlet. µmho/cm	Alkl. mg/l
Halkapınar	3	26	6.81	36	590	277.77
	4	25	6.87	33	600	279.83
	5	24	6.85	34	560	288.06
	16	24	6.81	36	590	298.35
Manisa Sarıkız	7	23	7.39	8	610	318.68
	11	24	7.35	12	600	320.73
	16	24	7.51	1	580	308.40
	20	23	7.50	2	620	306.44
Manisa Göksu	3	23	6.97	35	650	355.68
	8	24	6.88	40	575	349.52
	9	24	6.86	41	650	357.74
	17	25	6.95	36	670	361.85
Menemen Acilkyl.	11	20	6.86	39	1400	462.60
	13	19	7.12	23	890	284.84
Menemen Çavuşköy	3	21	7.13	22	760	308.40
	67	22	7.18	19	520	261.11
Gaziemir Sarnıç	1-2	20	6.56	55	750	411.20
	3-4	18	6.74	48	660	359.80
	5-6	18	6.67	52	625	361.85
Pınarbaşı Çınaraltı Ege Ün.v.Çes.Su.	4	18	6.99	33	550	261.11
		16	7.07	17	440	320.90

Halkapınar 5, Manisa Sarıkız 7-11, Menemen Çavuşköy 3-7 nolu sondaj kuyuları Dünya Sağlık Teskilatının belirlediği maksimum sınır düzeyindedir.

#### 4.3 Toplam Radyasyon Ölçüm Sonuçları

Toplam radyasyon ölçümleri işlemi sırasında sarfedilen toplam su örneği, elde edilen toplam su tortusu, 0.5 gram'a karşılık gelen su örneği miktarları ve toplam radyasyon ölçüm sonuçları Tablo 12'de verilmiştir. Toplam radyasyon ölçümleri DA-629.5 pCi/l değerleri aralığında değiştiği ve ortalama 111 pCi/l değeri hesaplandı. Maksimum değer Halkapınar 5 nolu sondaj kuyusunda ve minimum değerler ise Halkapınar 3, Manisa Sarıkız 7,11, Manisa Göksu 3,8, Menemen Acilkuyular 11, 13 ve Pınarbaşı Çınaraltı 4 nolu sondaj kuyularında elde edildi.

#### 4.4 Regrasyon ve Korelasyon Analizleri

Veriler arasında hesaplanan regrasyon korelasyon katsayıları Tablo 13'de verilmiştir. Buna göre sıcaklık ile pH ve radyum konsantrasyonu arasında pozitif, Eh, iletkenlik, alkalinite ve radon konsantrasyonu arasında negatif korelasyon olduğu bulundu. pH ve Eh değerleri arasında dikkate değer bir negatif korelasyon olduğu hesaplandı. pH ile iletkenlik değerleri arasında negatif bir korelasyon sonucunda, pH'ın artmasıyla suda  $\text{CO}_3^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonunun arttığı,  $\text{CO}_3^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonları büyük yarıçaplı olduğundan çözeltideki hareketleri yavaşlamakta dolayısıyla iletkenliğin düştüğü söylenebilir. pH ile alkalinite arasında negatif bir korelasyon olduğu ve

Tablo 12. IZSU'nun 20 sondaj Kuyusunda Ölçülen Radyoaktivite Sonuçları

Su Örneği Alınan Yer	Sondaj Kuyu No	Gama $\mu\text{R/h}$	Gama cps	Rn-222 pCi/l	Ra-226 pCi/l	Toplam Radyasyon Ölçümleri			
						T.Su (litre)	T.Tortu Ağır(gr)	0.5 gram Karşı.Su(l)	pCi/l
Halkapınar	3	13	103	50.0	3.9	2.5	3.62	0.345	DA
	4	9	78	47.1	1.7	2.5	4.17	0.302	141.7
	5	9	83	53.5	5.7	2.5	4.21	0.297	629.3
	16	10	75	84.5	22.2	2.5	3.59	0.348	304.0
Manisa Sarıkız	7	5	35	15.0	5.7	2.5	2.78	0.450	DA
	11	4	37	38.0	5.1	2.5	3.20	0.390	DA
	16	5	37	50.0	DA	2.5	2.69	0.465	072.7
	20	6	46	25.3	DA	2.5	4.05	0.309	138.6
Manisa Göksu	3	8	70	DA	DA	2.5	4.15	0.180	DA
	8	8	67	9.7	2.8	2.5	3.12	0.235	DA
	9	8	64	8.6	17.7	1.5	3.30	0.379	160.6
	17	8	65	DA	3.4	1.5	3.60	0.347	019.5
Menemen Acilkyl.	11	12	100	DA	3.4	1.5	3.31	0.226	DA
	13	13	100	149.4	DA	1.5	2.72	0.276	DA
Menemen Çavuşköy	3	13	95	89.6	6.8	1.5	4.13	0.182	136.5
	7	13	98	155.7	6.5	1.5	4.19	0.179	188.9
Gaziemir Sarnıç	1-2	6	44	13.2	4.5	1.5	4.16	0.179	239.2
	3-4	5	49	16.1	2.3	1.5	3.30	0.228	148.3
	5-6	7	45	12.1	0.5	1.5	4.09	0.183	036.8
Pınarbaşı Çınaraltı Ege Ün.v.Çes.Su.	4	8	69	80.5	DA	1.5	3.59	0.209	DA
				19.5	DA	1.3	0.49	1.300	DA

DA:Düşük Aktivite

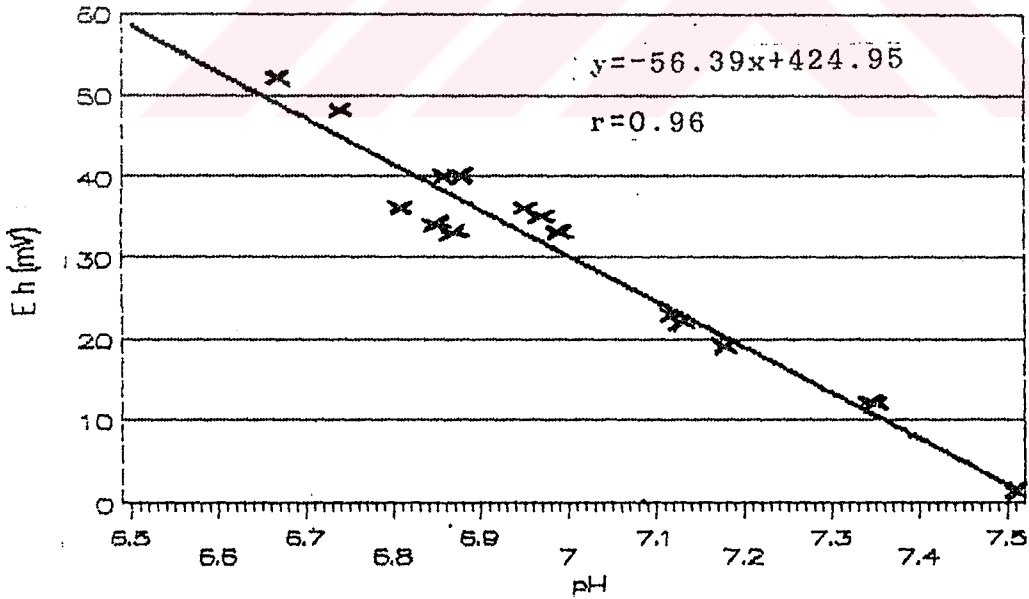
buna dayanarak, alkalilik suyun proton alabilme kapasitesi olduğundan su örneklerinin pH değeri arttıkça ortamda bulunan proton miktarı azalacağından alkalinite değerlerindeki düşmesi beklenir. pH ile radon konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon hesaplandı. pH'ın radyum konsantrasyonu ile arasında görülen negatif korelasyonun Amerika'nın 8 batı eyaletinde maden suları için yapılan bir çalışmada aynı korelasyonun görülmesiyle desteklendiği söylenebilir (Felmlee, 1978).

Tablo 13. Ölçümler arası korelasyon katsayıları

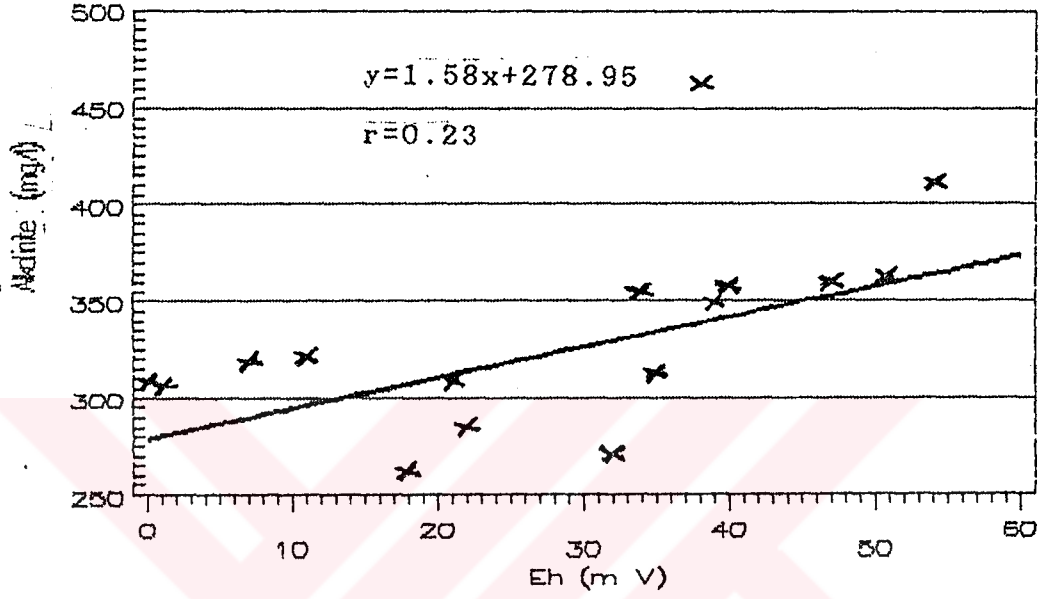
	Sıc. °C	pH	Eh mV	İlet. µmho/cm	Alk. mg/l	Radon pCi/l	Radyum pCi/l
Sıc. °C	1	0.07 P	0.11 N	0.14 N	0.08 N	0.02 N	0.08 P
pH		1	0.96 N	0.03 N	0.15 N	0.02 P	0.11 N
Eh mV			1	0.03 P	0.23 P	0.1 N	0.01 P
İletk µmho/cm				1	0.45 P	0.02 N	0.01 N
Alkal mg/l					1	0.49 N	0
Radon pCi/l						1	0.01 P
Radyum pCi/l							1

P:Pozitif Korelasyon  
N:Negatif Korelasyon

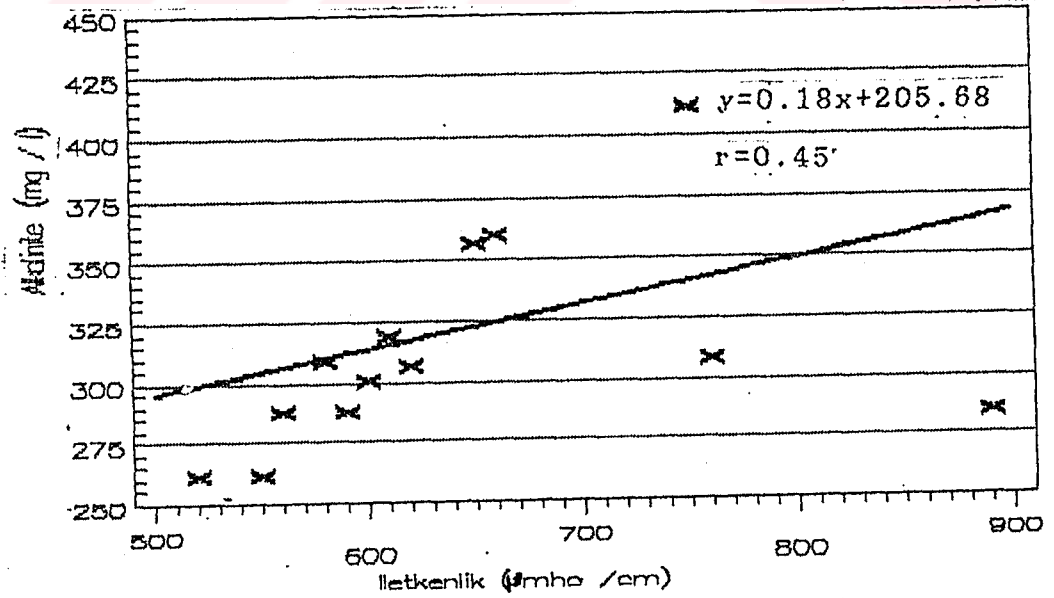
Eh değerleri ile iletkenlik, alkalinite ve radyum konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon, radon konsantrasyonu ile negatif bir korelasyon hesaplandı. Iletkenlik ve alkalinite arasında görülen pozitif korelasyon neticesinde, ortamdaki znms tuzların fazlalaşması alkaliniteyi ve yüklü iyonlardan dolayı iletkenliği arttırdığı söylenebilir. Iletkenlik ile radon ve radyum konsantrasyonu arasında önemsiz bir negatif korelasyon görüldü. Alkalinite değerleri ile radon konsantrasyonu arasında negatif, radyum konsantrasyonu ile arasında yok denilir bir korelasyon olduğu hesaplandı. Radon ile radyum arasında pozitif bir korelasyonun olduğu hesaplandı. Bazı dikkate değer ölçümler arası korelasyon grafikleri Şekil 11-12-13-14-15'de verilmistir.



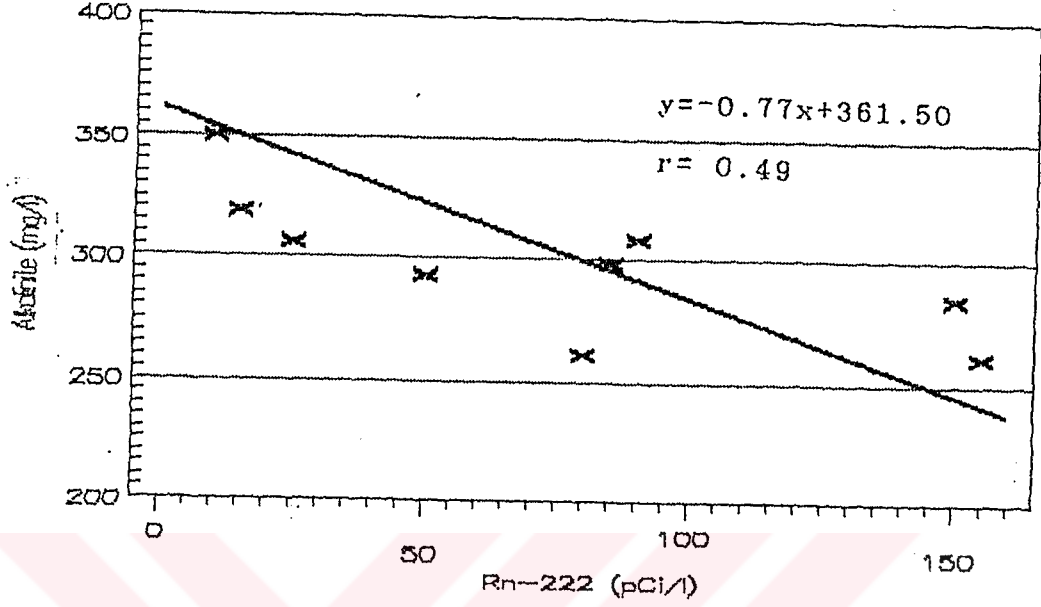
Şekil 11. pH ile Eh lmleri Arasındaki Korelasyon Grafiği



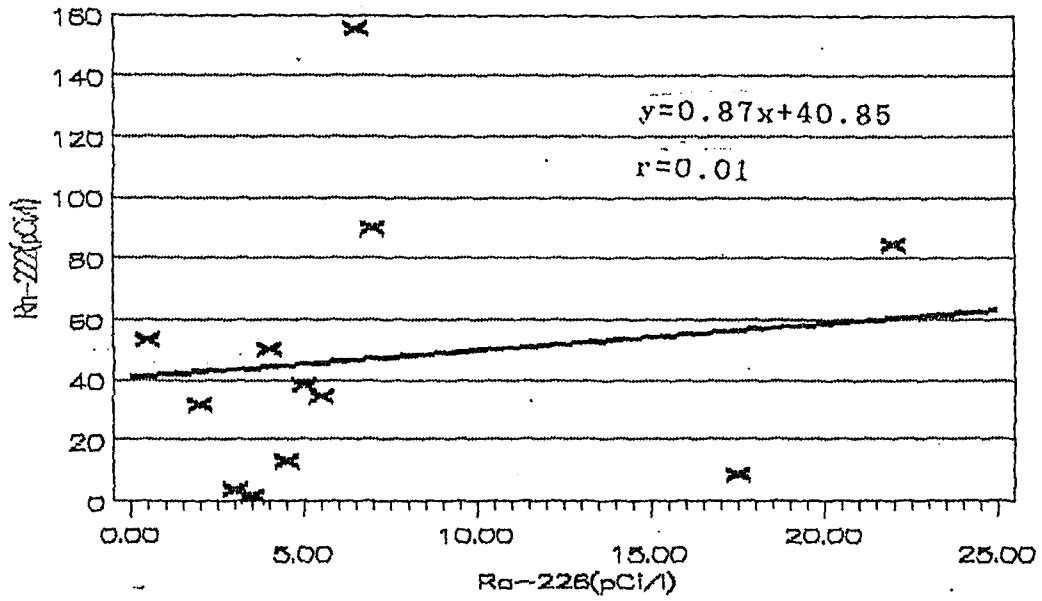
Sekil 12. Eh ile Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği



Sekil 13. İletkenlik ve Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği



Sekil 14. Radon ile Alkalinite Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği



Sekil 15. Radyum ile Radon Ölçümleri Arasındaki Korelasyon Grafiği

Izmir içme ve kullanım suyu ihtiyacının büyük bir bölümünün karşılandığı 5 farklı bölgedeki (Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen, Gaziemir) sondaj kuyularından her birinden 4 örnek almak üzere toplam 20 tanesinden toplanan su örneklerinin sıcaklık( $^{\circ}\text{C}$ ), Eh(mV), iletkenlik ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinite(mg/l), yüzey gama( $\mu\text{R/l}$  ve cps), radon (pCi/l), radyum(pCi/l) ve toplam radyasyon aktivitesi(pCi/l) değerleri ölçülerek veriler arasında regrasyon korelasyon analizleri tablo ve grafikler halinde verildi.

Elde edilen sonuçlara göre pH değerlerinde (6.56-7.51) aşırı bir değişim gözlenmediği ve IZSU tarafından ölçülen pH değerleri (7.0-7.7) ile uyum içinde olduğu bulundu. Eh sonuçlarının 1-55 mV arasında bir değişim gösterdiği ölçüldü. İletkenlik değerleri (520-1400 $\mu\text{mho/cm}$ ) ile IZSU tarafından bulunan iletkenlik değerleri (400-1100 $\mu\text{mho/cm}$ ) arasında yakın ilişki olduğu belirlendi. Alkalinite sonuçlarının 261.1-462.6 mg/l arasında ölçülen değişimin, IZSU tarafından bulunan 283-512mg/l değerleri ile desteklendiği gözlemlendi.

Yüzey gama ölçümleri 4-13 $\mu\text{R/h}$  ve 35-103cps değerleri arasında değişmektedir. Enstitümüzde yapılan çeşitli yüzey gama ölçüm sonuçları ile bu değerlerin çevrenin normal artortamı seviyesinde olduğu sonucuna varıldı. Radon konsantrasyon değerleri DA-155.7 pCi/l arasındaki değerler USEPA'nın içme suları için kabul ettiği 200-600pCi/l değerinin altında olduğu görüldü.

İnsan vücuduna alındığında diğer radyoaktif element-

lere göre önemli sağlık riski olusturabilen radyum için bulunan DA-22.2pCi/l değerlerinden iki tanesinin USEP'nin müsaade ettiği üst limit sınırını aştığı gözlemlendi. Burada bütün sondaj kuyularının birbirleri ile olan bağlantıları ve debileri dikkate alındığında ortalama radyum konsantrasyonunda düşüş olabilmektedir. 18 tane sondaj kuyusu bulunan Halkapınar'daki 4 sondaj kuyusu için ölçülen radyum konsantrasyonları ve debi ölçümleri sırasıyla 3.9, 1.7, 5.7, 22.2 pCi/l ve 80, 85, 80, 110 l/s ise ortalama radyum konsantrasyonu 9.46 pCi/l olarak yüksek bir değerde hesaplandı ve bundan dolayı diğer 14 kuyusunda incelenmesi gerekir. 24 tane sondaj kuyusu bulunan Manisa Göksu'da ise radyum konsantrasyonları ve debi ölçümleri sırasıyla DA, 2.8, 17.7, 3.4 pCi/l ve 90, 90, 95, 85 l/s ise ortalama radyum konsantrasyonu 6.3 pCi/l olarak hesaplanır. Bu sonuçlar WHO'nun ve USEPA'nın verdiği üst limit sınırını asmaktadır. Yeraltı sularında bulunan yüksek radyoaktivite konsantrasyonları bu bölgelerde uranyum yataklarının varlığını ortaya koyar. Kesin bir sonuç bu bölgelerdeki sularda radyoaktivite konsantrasyonu belli aralıklarda yapılarak elde edilebilir.

Toplam radyasyon ölçümlerinin DA-629.3 pCi/l arasında değiştirdiği ve tavsiye edilen limitin altında bulunduğu görüldü.

Bir insanın sadece biyolojik ihtiyaçları için günde yaklaşık iki litresine ihtiyaç duyduğu su, canlıların yaşamları için gerekli olan maddelerin basında gelir. Yeryüzünde bol miktarda ( $\approx 2 \times 10^{18}$  ton) su vardır. Ancak, içme suyu azdır. Mevcut içme suyu kaynakları hızla artan nüfus, plansız gelişen endüstri ve yok edilen ormanlar nedeniyle günden güne ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmektedir. İzmir ili içme ve kullanım su ihtiyacının büyük bir kısmı yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yeraltı suları yeryüzü sularına nazaran daha fazla radyoaktivite içerebilmektedir.

Bu çalışmada İzmir ili içmesuyu ihtiyaçlarının karşılandığı 5 farklı (Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen ve Gaziemir) bölgedeki sondaj kuyularının 20 tanesinden alınan su örneklerinin sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, Eh(mV), iletkenlik ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinite (mg/l) değerleri, radon (pCi/l) ve radyum (pCi/l) konsantrasyonları, su tortularının toplam aktivitesi (pCi/l) ile sondaj kuyusu çevresinde yüzey gama ( $\mu\text{R/h}$  ve cps) değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre; sıcaklığın  $18-26^{\circ}\text{C}$  ve ortalama  $22.3^{\circ}\text{C}$ , pH'ın  $6.56-7.51$  ve ortalama  $7.00$ , Eh'in  $1-55\text{mV}$  ve ortalama  $30.3\text{mV}$ , iletkenliğin  $520-1400 \mu\text{mho/cm}$  ve ortalama  $717.8 \mu\text{mho/cm}$ , titrasyon metodu kullanılarak belirlenen alkalinitenin  $261.1-462.6 \text{ mg/l}$  ve ortalama  $326.7 \text{ mg/l}$ , yüzey gama radyasyon ölçümlerinin sırasıyla  $4-13 \mu\text{R/h}$ ,  $35-103\text{cps}$  ve ortalamalarının  $9\mu\text{R/h}$  ve  $68\text{cps}$ , kollektör yöntemi kullanılarak ölçülen radon konsantrasyonunun DA(Düşük Aktivite)-  $155.7 \text{ pCi/l}$  ortalama  $44.9$

pCi/l, aynı yöntemle radyum konsantrasyonun DA-22.2 pCi/l ortalama 4.6 pCi/l, su tortusunun toplam aktivitesinin DA-629.3 pCi/l ve ortalama 111 pCi/l olduğu bulunmuştur.

Bulunan bu sonuçlar tablolar halinde, ve ölçüm sonuçlarının regresyon ve korelasyon analizleri tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.



Exaggerately, water being at the top of the vital materials for the living beings, approximately two litres of water are needed by every human being only to meet its daily metabolic requirements. There are vast sources of water ( $\approx 2 \times 10^{18}$  ton) present on the earth's surface, however there is shortage drinking water. The available resources of water with growing population, unplanned rapidly increasing industry and destruction of forest are being depleted and unable to suffice day to day needs. The major part of the drinking water requirements, in Izmir province; is being met through underground water resources. Generally underground water has more radioactivity concentration as compared to surface water.

In this research, temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, Eh (mV), conductivity ( $\mu\text{mho/cm}$ ), alkalinity (mg/l), radon (pCi/l) and radium concentrations (pCi/l) water deposits total activity (pCi/l) were studied; along with the gamma ( $\mu\text{R/h}$  and cps) values of the surface area present in the vicinity of these drilling wells by collecting the water samples from twenty different drilling wells located in 5 different regions (Halkapınar, Manisa Sarıkız, Manisa Göksu, Menemen and Gaziemir) which meet the drinking water requirements of Izmir province. According to the results of these measurements, temperature ranged  $18\text{-}26^{\circ}\text{C}$  with an average of  $22.3^{\circ}\text{C}$ , pH varied from 6.56 to 7.51 with an average of 7, Eh varied from 1 to 55 mV with an average of 30.3 mV, conductivity ranged  $520\text{-}1400 \mu\text{mho/cm}$  having an average  $717.8 \mu\text{mho/cm}$ , alkalinity

determined by applying titratium method ranged between 261.1 - 462.6 mg/l with an average of 326.7 mg/l where as the gamma radiation measurements were 4-13  $\mu$ R/h and 35-103 cps, having an average 9 $\mu$ R/l and 68 cps respectively. The radon concentration determined by the collector chamber method varied from LDL(Lower Detection Limit) to 155.7pCi/l with an average of 44.9 pCi/l. By applying the same method, the radium concentration of the water ranged from LDL to 22.2 pCi/l having an average of 4.6 pCi/l. Total activity of water deposits was found as DA-629.3 pCi/l with an average of 111 pCi/l.

The results in the form of tables and regression correlation analysis of the measurements derived from these results were presented in the form of tables as well as grafhics.

- Aellen. T.C.;Umbricht, O. and Georlicch, W. (1993) " The Analysis of Naturally Occurring Radionuclides from Uranium and Thorium Decay Series in Table Mineral Waters" The Science of the Total Environment 130/131 253-259.
- Alkan, H.; Türer, A.; Göksel, A.; Sönmez M.; Dengizek J.; (1984) "İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Radyoaktivite Düzeyleri" TBTA Ulusal Çevre Sempozyumu, Adana.
- Alkan, H.; Bilge, A.N.; Türer, A; Göksel, S.A.; Yaşar, S.; Sönmez, M.; Kut, D.; Erantür, N; Yılmaz, Y.Z. ve Esen N. (1987) "İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri: Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirlilikleri" Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Çevre, 3, 15-22.
- Alkan, H.; Türer A.; Sönmez, M.; Esen, N. ve Kut, D.; (1988) "İstanbul Yüzeysel Su Kaynaklarında Radyoaktivite ve Ağır Metal Analizleri ile Çernobil Nükleer Kazasının Etkileri" Çevre'88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi 5-9 Haziran 1988- İzmir.
- Alkan, H.;Türer, A.; Sönmez, M. ve Yaşar, S.; (22 Mayıs 1990) "İstanbul ve İzmir Yörelerinde Bulunan Bazı Yeraltı Sularında Radyoaktivite Kirliliklerinin Araştırılması" İstanbul Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı 2'inci Ulusal Halk Sağlığı Kongresi, Serbest Bildiri Özet Formu İstanbul.
- Altas, Y. (1988) "Mn-Fiber Yöntemi ile Sularda Radyum Absorpsiyonunu Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi ve Doğal Sularda Radyum Ölçümü" Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst.

Bornova-Izmir.

Altas, Y. (1990) "Mangan-Fiber Yöntemi ile Sularda Radyum Tayini ve Küçük Menderes Havzasındaki 100 Köyün İçme ve Sulama Sularında Uygulanması" Proje No:1987 NBE 008 Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Bornova-Izmir.

Alpha Nuclear Company(ANC). (1981) "The Alphacard System of Radon Measurement, Product description report" Canada.

Arthur, W.R.; David, W. and Arthur, T.S. (1983) "Ground Water Geochemistry of Uranium and Other Elements Monticelle Area New."Journal of Geochemical Exploration 19-163-186.

Asikainen, M. and Kahlos, H. (1980) "Natural Radioactivity of Drinking Water in Finland" Healt Phys., 39, 77-83.

Atalay, E. (1990) "Izmir Çevre Köylerinin İçme ve Kullanma Sularında, Radyum Konsantrasyonu Ölçümleri" Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi Bornova- Izmir.

Bakaç, M. ve Kumru, M.N. (1993) "Radioactivity Measurements in The Çine Steam for Uranium Reconma Issance" Turkish Journal of Nuclear Sciences Vol.20 No.1 june 1993.

Bell, K. and Card, J.W. (1980) "Further Investigation of Radon Decay Product Collektor Method of Uranium Exploration Ontario Geological Survey Miscelloneous" Paper 93 E.G.(Edit) 24-38

Bettencourt, A.D.; Teixeira, M.M.G.I.R.; Faisca, M.C.; Viera, I.A. and Ferrador, G.C.; (1988) "Detpartamento de Protecçaoe Sequrance Radiologica Estrada Nacional" No.10, 2685 Sacavem, Portucal.

Buchli, R.and Burkart, W. (1989) "Correlation Among the Ter-

- restrial Gama Radiation the indoor Air Rn-222. and The Top Water Rn-222 in Switzerland"Health Physics Vol. 57 No.5 (November) pp. 753-759
- Çelik, R. (1992) "Sise Maden Sularında Radyum Konsantrasyonu Tayini ve Tüketim Arastırması" Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi Bornova-Izmir.
- Dillon, M.E.; Carter, G.L.; Arora, R and Kahn, B.; (1991) "Radon Concentrations in Ground Water of the Georgia Predmont"Health Physics Vol.60 No.2
- Dökmen, M. (1990) "Ç.N.A.E.M. Tarafından Izmir Ili Sağlık Müd. Gıda ve Çevre Kont. Müd.'lüğünün 2.5.1990 gün ve 5210-335-13381 sayılı yazı üzerine Radyoaktiivite Analizleri Hakkındaki Raporu" Sayı:Saf:157-689-90 Istanbul.
- DSİ (Devlet Su İşleri) (1986) "Izmir Kenti İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temin ve Dağıtım Kat'i Proje Revizyonu Raporu" T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müd. İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı.
- Felmlee, J.K. and Cadigan, R.A. (1978) "Radium and Uranium Data for Mineral Springs in Eiht Western States United States Department of The Interior Geological Survey" Open-File Report 78-561.
- Gosink, T.A.; Baskaran, M. and Holleman, D.F. (1990) "Radon in the Human Body from Drinking Water" Health Phys. Vol 59 No.6 (December), pp.919-92.
- ICRP, (1977) "International Commission on Radiological Protection Publication" No.26 (Oxford, pergomanpress).
- Kobal, I.and Kristian, J. (1973) "Extension of Raghavayya's

- Method for the Determination of Radon in Water" *Microchimica Acta Wien* 1973 219-224, Springer-Verlag .
- Kocabaş, S. (1994) " İz.Su Debi Ölçüm Sonuçları" İz.Su Pompaj Atölye Şefi Yenisehir-Izmir.
- Kumru, M.N. (1990) "Bölgesel Hidrojeokimyasal ve Jeokimyasal Uranyum Kesif Yöntemlerinin Kombinasyonu, Bu Yöntemlerin Büyük Menderes Nehri Bölgesinde Uygulanması ve Verilerin İstatiksel Analizi" Doktora Tezi Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Bornova-Izmir.
- Kumru, M.N. (1992) "Determination of Radium-226 in Environment Samples by the Collector Chamber Method" *Appl. Radiat. Isot.* Vol.43, No.8, pp. 1031-1034.
- Loyd, D.H. and Drake, E.N. (1989) "An Alternative Method for Ra Determinations in Water" *Health Physics* Vol.57 No.1 (July) pp. 71-77.
- Öznur, Ö. (1993) "Kollektör Yönteminin Gelistirilmesi ve Optimum Koşulların Araştırılması" Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi Bornova- Izmir.
- Pires do Rio, M.A.; Gody, J.M.; Amaral E.C.S. (1988). Instituto de Radioprotecao e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brazil.
- Prichard, H.M. (1983) "Radon-222 in Municipal Water Supplies Central United States" *Health Phys.*, 45, 991-993 .
- Schüttelrope, H. and Kiefer, H.(1980) "The Ra-226 Contamination of The Black Forest and The Radioecological Behavior of Radium" Kortsrute Nuclear Research Center, Main Division of Safety/Radioecology, Federal Republic of Germany, IAEA-SM- 257/38p.

- Türker, J. (1994) "Simav ve Emet Köylerinin İçme ve Kullanım Sularında Kollektör Yöntemi ile Radyum Tayini" Ege Üniversitesi Nükleer Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi Bornova- İzmir.
- Salonen, L. (1993) "A Rapid Method for Monitoring of Uranium and Radium in Drinking Water" The Science of the Total Environment 130/131 23-53.
- Sebesta, F.; Sedlacek J. and Benes P. (1980) "Scintillation Emanometrik Determination of Ra-226 in Waters Using a New Method of Radium Preconcentration" Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol.59 No.1 45-33
- UNSCEAR (1977) "Sources Effects Ofionizing Ratiation" 1977 Report to the General Assambly, United Nations.
- USEPA (1976) "Determination of Radium Removal Efficiencies in Water Treatment Processes" Tecnical Note ORP/TAD-76-5, Illinois EPA, Sprigfield.
- USEPA (1976)"National interim Primary Drinking Water Regulations" Washington, D.C.;EPA; EPA-570/9-76-003.
- USEPA (1991) "National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides " Washington DC: U.S. Goverment Printing Office; EPA/570/9-91/700
- Wollenberg, H.A.; Smitha, R.; Mosier, D.F.; Flekser, S. and Clark M. (1984/1985) "Radon-222 in Groundwater of the Long Valley Caldera California" Pageoph, Vol.122.
- Yenal, O. (1975) "Türkiye Maden Suları Cilt 1-2-3-4" Istanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, Hidroklimatoloji Kürsüsü.