1.GİRİŞ

İnsanların yaşadıkları çevre içinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyondur. Bu kaynaklardan alınan dozun, insanların yaşam sürelerine olan etkilerinin ve oluşturacağı zararların araştırılması çevresel radyoaktivite çalışmalarında büyük bir önem taşımaktadır.

Dünya nüfusu tarafından alınan ortalama doza en büyük katkı doğal radyasyondan gelmektedir. Doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin doz 2,4 mSv'dır. Doğal radyasyon kozmik ve karasal orijinli olmak üzere ikiye ayrılır [1].

İnsanların maruz kaldığı karasal orijinli radyasyon Uranyum, Toryum, Aktinyum, Neptinyum radyoaktif seri elementleri ve bozunum ürünlerinden kaynaklanır. Radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi açısından, yaşadığımız çevreyi bir bütün olarak düşünürsek, bu bütünü oluşturan parçalardaki aktivite tayinleri ayrı ayrı yapılmalıdır. İnsanların yaşamları boyunca maruz kaldığı doğal radyasyonun önemli bir kısmını topraktaki radyonüklidler oluşturmaktadır. Bu radyasyonun karasal kaynakları dünyanın oluşumundan beri varolan radyonüklidlerdir. Bu radyonüklidlerin en önemlileri ^{40}K , ^{87}Rb , ^{238}U ve ^{232}Th' dir.

Bu nedenle, dünyanın çeşitli yerleşim alanlarında topraktaki radyonüklidlerden kaynaklanan karasal radyasyonun belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

N. Karunakara ve ekibi tarafından (2001) Hindistan'ın Güney Batısında Kaiga Bölgesindeki topraklarda yapılan çalışmada HPGe dedektörü kullanılarak topraktaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. K-40 aktivite konsantrasyonu 78,3-254,8 Bq/kg, Th-232 aktivite konsantrasyonu 11,4-41,9 Bq/kg ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu 15,5-61,2 Bq/kg aralığında ölçülmüştür [2].

M.Brai ve ekibi, (2001) Stromboli'de yaptıkları çalışmada toprak ve kaya örneklerindeki radyoaktiviteyi HPGe dedektörü kullanarak ölçmüşler ve K-40 aktivitesini 340-1427 Bq/kg, Bi-214 aktivitesini 31-112 Bq/kg ve Ac-228 aktivitesini 30-106 Bq/kg olarak bulmuşlardır [3].

2001 yılında Gana'da J.Yeboah ve ekibi tarafından yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki K-40,U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde K-40 aktivitesi 91,1-1395,9 Bq/kg; U-238 aktivitesi 2,4-62,7 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 3,2-145,7 Bq/kg aralığında değişirken kaya örneklerinde K-40 aktivitesi 9,0-1510,1 Bq/kg, U-238 aktivitesi 0,7-40,0 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi de 0,5-117,5

Bq/kg aralığındadır. 1 metre yükseklikte maruz kalma oranı toprakta 0,9-20,6 µR/h ve kayalarda 0,6-17,8 µR/h olarak hesaplanmıştır [4].

S. Singh ve ekibi tarafından 2003 yılında Hindistan'da yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak topraklardaki doğal radyoaktivite ölçülmüş ve sonuçta K-40 aktivite konsantrasyonu 143,7-228,9 Bq/kg; Th-232 aktivite konsantrasyonu 35,2-122,8 Bq/kg ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu 25,1-75,7 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler her bir örnekten 250 g tartılarak alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada Radyumun eşdeğer aktivitesi 90,88-275,33 Bq/kg aralığında hesaplanmıştır [5].

Hindistan'da S.Saravanan ve ekibi tarafından 2003 yılında NaI(Tl) dedektörü kullanılarak Tamilnadu bölgesi topraklarının doğal background radyasyonu ölçülmüştür. Toprakların aktivite düzeyleri: K-40 aktivitesi 73,1-120 Bq/kg aralığında ve ortalama 96,0 Bq/kg'dır; Th-232 aktivitesi 21,6-69,6 Bq/kg aralığında ve ortalama 43,9 Bq/kg'dır ve Ra-226 aktivitesi 31,8-52,0 Bq/kg aralığında ve ortalama 42,9 Bq/kg'dır. Radyumun eşdeğer aktivitesi 68,3-149,0 Bq/kg aralığında ortalama 113 Bq/kg olarak hesaplanmıştır [6].

Nijerya'da 2003 yılında M.K.Fasasi ve ekibi tarafından yapılan çalışmada katran kumundaki doğal radyoaktivite Coaxial Germanyum dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Bi-214 (U-238) aktivitesi 165,64 Bq/kg ve Tl-208 (Th-232) aktivitesi 150,25 Bq/kg olarak ölçülmüştür [7].

Polonya'da gama ışın spektrometresi kullanılarak kaya ve topraklardaki doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeyleri Malczewski ve ekibi tarafından incelenmiş ve sonuçta K-40 aktivitesinin 320-1200 Bq/kg aralığında, Ac-228 (Th-232 serisi) aktivitesinin 25-62 Bq/kg aralığında ve Ra-226 aktivitesinin 31-122 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur [8].

Türkiye'de Karakelle ve ekibi tarafından yapılan çalışmada Kocaeli toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. U-238 aktivitesi 11-49 Bq/kg, K-40 aktivitesi 161-964 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 11-65 Bq/kg olarak ölçülmüştür [9].

G.Karahan ve A.Bayulken tarafından 1999 yılında Türkiye-İstanbul yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu gama spektroskobisi yöntemini kullanılarak U-238, Th-232 ve K-40 için sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak ölçülmüştür [10].

İzmir'in yaklaşık 40 km kuzeydoğusunda bulunmakta olan Sarıcaoğlu (Bergama) tersiyer havzası kayaçlarındaki radyoaktivite incelenmiş ve kaya örneklerinde en düşük eU aktivitesi kireç taşlarında 2.35 ppm en yüksek 112 ppm olarak bulunmuştur. Manisa'nın Köprübaşı

ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresinde bulunan topraklarda radyoaktivite araştırılmış ve eU aktivitesi 37,75-88,00 Bq/kg, eTh aktivitesi 32,50-77,50 Bq/kg ve potasyum aktivitesi 296-888 Bq/kg arasında bulunmuştur [11].

2004 yılında Meksika'da yapılan çalışmada yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanılarak K^{40},U^{238} ve Th^{232} serilerinin konsantrasyonları toprak için belirlenmiştir.U-238 ve Th-232 serileri için değerler 30 Bq/kg civarındadır.Sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak içme suyunda ki radon konsantrasyonu 4.3-42 kBq/m^3 bulunmuştur [12].

2002 yılında Fiji'de yapılan çalışmada 50 toprak örneği toplanarak NaI(Tl) dedektörü ile K^{40},Th^{232} ve U^{238}'in ortalama aktiviteleri sırayla 160, 2.8 ve 3.6 Bq/kg bulunmuştur.[13].

İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyon dozuna önemli katkısı olan radyoaktif maddelerden biriside su ve gıda yoluyla alınan radyumdur. İçme sularının büyük bir kısmı yer altı sularından çekilir. Bu sular yer altı ortamını yıkayarak yüzeye çıktıkları için yüksek miktarda uranyum ve radyum içerirler. Yeryüzü sularında Ra-226 konsantrasyonu düşüktür ve 4-18 Bq/m^3 (0.1-0.5 pCi/L) civarındadır. Taşınarak oluşmuş derin kuyulardaki suları içeren sistemlerde, akifer kayaçları sebebi ile bu değer 40 Bq/m^3'dür [14].

Ortamın jeokimyasal yapı ve karakteristiklerini yeryüzüne yansıtarak bilgi veren en önemli kaynaklardan biriside termal sulardır. Su kaynakları arasında termal ve mineralli su membaları (ılıca,kaplıca ve maden suları) içerikleri bakımından uranyum araştırmaları için en uygun kaynaklardır. Çünkü bu sular hem yer altı ortamını yıkamış hemde büyük çoğunluğu magmaya yakın bölgelerden geçerlerken yer yüzeyine normalin üzerinde bir sıcaklığa erişmiş olarak çıkarlar ve yüksek yoğunlukta radyoaktif element taşırlar. Sıcak sularda daha fazla radyum çözünmesi radon yoğunluğunun artmasına neden olur. Böylelikle termal sular yer altı ortamına jeofiziksel ve jeokimyasal yapı ve karakteristiklerini yeryüzeyine yansıtır [15].

Dünyanın çeşitli alanlarında kullanım suları, kuyu suyu ve termal suların radyoaktivitesinin ölçümleri ve bunlardan kaynaklanan doz hesaplamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Brezilya'da 2004 yılında nükleer iz dedektörü kullanılarak yapılan bir çalışmada radon ölçüm sonuçları yer altı suları için 0.95-36.00 Bq/l, deniz suları için 0.30-0.54 Bq/l, musluk suları için 0.39-0.47 Bq/l, nehir suları için 0.43-2.40 Bq/l olarak ölçülmüştür. Brezilya devletinin koymuş olduğu sınır değer ise 2.35 Bq/l'dir [16].

2000 yılında Ürdün'de ki sıcak kaynak sulardan alınan örneklerin radyonüklid konsantrasyonları bir HPGe gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak Th^{234}, Ra^{226}, Pb^{214}, Bi^{214}, Ac^{228}, Th^{228}, Pb^{212}, Bi^{212}, Tl^{208}, U^{235} ve K^{40}'ın aktiviteleri 0.14 ile 34.8 Bq/l arasında değerleri kapsar. Ayrıca ana uranyum ve toryumun konsantrasyonları sırayla $3.0x10^{-3}$ ile 0.59 mg/l olarak bulunmuş, sonuçlar ise içme suyu ile kıyaslanmıştır [17].

2001 yılında Fas'da yapılan çalışmada doğal radyonüklidler (uranyum,aktinyum ve toryum serileri) kaya tortularında ki fosfat örneklerinde ölçülmüştür. Ölçümler yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi ile yapılmış ve bulunan uranyum içeriği (ppm) nükleer katıhal iz kazıma dedektörleriyle ölçülen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sadece maden bölgesinden alınan su örneklerinde Ra^{226} seviyesi 0.2 Bq/l civarında bulunmuştur [18].

2001 yılında İngiltere'de ICP kütle spektrometresi ile yapılan çalışmada uranyumun deniz suyunda ki değeri 2.68 $ngm.l^{-1}$,yer altı suyunda ki değeri ise 0.1 $ngm.l^{-1}$ olarak ölçülmüştür [19].

2001 yılında Fas'da yapılan çalışmada uranyum ve toryum izotopları alfa spektrometresi ile, radyum izotopları ise gama spektrometresi ile ölçülerek şu sonuçlar elde edilmiştir; U^{238}'in aktivitesi kuyu suyunda 4.5-309 mBq/l, termal sularda 0.6-8.5 mBq/l, nehirlerde 9.7-28 mBq/l, musluk sularında 2.5-16 mBq/l, göllerde 6-24 mBq/l bulunmuş, Ra^{226}'nın ölçülen değerleri kuyu suyunda 1-25 mBq/l, mineral sularda 9.1-3696 mBq/l, nehir suyunda 0.8-5.3 mBq/l, musluk sularında 0.46-46 mBq/l, göllerde 0.81-23 mBq/l bulunmuş, Ra^{228}'in ölçülen değerleri kuyu suyunda 0.6-17.3 mBq/l, mineral sularda 2.4-620 mBq/l, nehir suyunda 0.78-2.9 mBq/l, musluk sularında 0.4<-7.7 mBq/l, göllerde 0.61-11 mBq/l olarak ölçülmüştür [20].

2002 yılında Kuzey Meksika'da yapılan çalışmada U^{238} içeren kuyu suları ile sulanan domates, balkabağı, marul ve turp içeriği sırasıyla <1, 150, 500 ve 1200 $\mu gU.l^{-1}$ olduğu ICP-MS kullanılarak bulunmuştur [21].

2003 yılında Japonya'da ICP-MS kullanılarak sularda ki % uranyum bulunmuştur. Nehir suyunda %2.63, deniz suyunda %1.13 ve musluk suyunda %1.37 uranyum değerleri ölçülmüştür [22].

Brezilya'nın Rio de Janerio bölgesinden 2004 yılında toplanan yer altı su örnekleri ICP-MS yöntemi kullanılarak U^{238} için bulunan konsantrasyon değerleri $<1.0x10^{-4}$-$8.0x10^{-2}$ $Bq.l^{-1}$, Ra^{226} için <0.002-0.492 $Bq.l^{-1}$, Ra^{228} için <0.01-1.50 $Bq.l^{-1}$ bulunmuştur [23].

2004 yılında İsveç'te yapılan çalışmada doğal sular incelenmiş ve radyometrik ve ICP-MS teknikleri kullanılarak Rn^{222}'nin konsantrasyonu 5-3470 Bq/l, U^{238}'in konsantrasyonu 0.23-553.4 µg/l, Ra^{226}'nın konsantrasyonu 8.1-1917 mBq/l ve fluoride konsantrasyonu ise 0.03-2.31 mg/l bulunmuştur [24].

Slovenya'da yapılan bir çalışmada bazı maden suları ve termal sularda yapılan çalışmalarda elde edilen radon sonuçlarının 5 ile 1700 pCi/l arasında, radyum sonuçlarının 0.2 ile 16.6 pCi/l arasında değiştiği gözlenmiştir [25].

Bu çalışmada, İzmir-Seferihisar bölgesindeki termal sular ve kuyu sularında ICP ile uranyum ve element analizleri, CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile radon içeriklerinin tayin edilmesi ve ayrıca suların alındığı bölgelerdeki topraklarda gama spektrometresi ile U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları amaçlanmıştır.

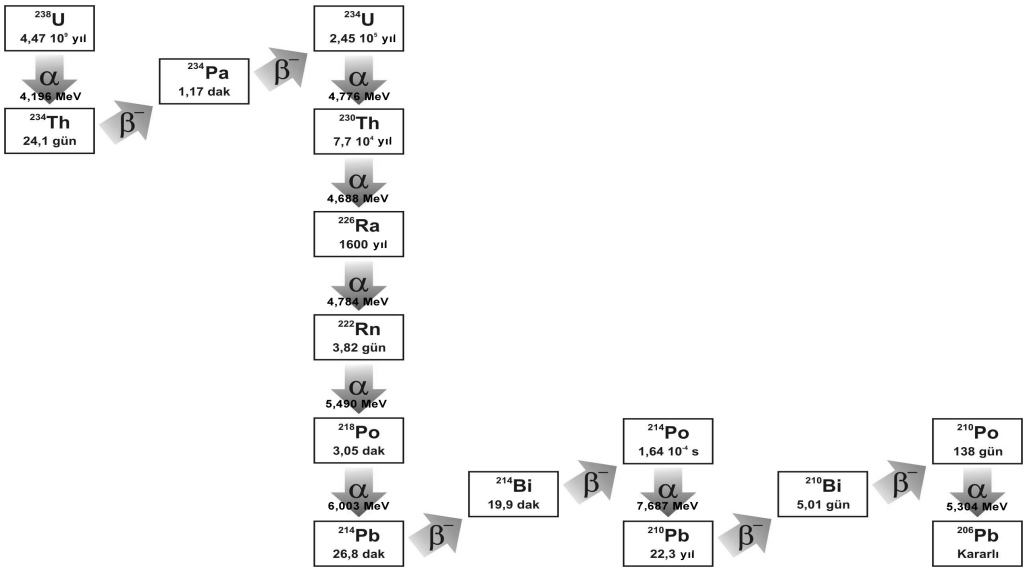
2.GENEL BİLGİLER

2.1.Uranyum

Uranyum radyoaktif bozunma serisinin ana elemanı U-238' dir. Bu nüklidler, 8 alfa ve 6 beta parçacık emisyonu içerir. Başlıca kız çekirdekler sırası ile, Toryum-234, Protaktinyum-234, Uranyum-234, Toryum-230, Radyum-226, Radon-222, Polonyum-218, Kurşun-214, Bizmut-214, Polonyum-214, Kurşun-210, Bizmut-210, Polonyum-210 ve son olarak kararlı Kurşun-210 izotopudur.

Bu çekirdeklerin büyük bir bölümü bozunduklarında farklı enerjili gama radyasyonları üretirler. Uranyum serisinin elemanları (kolları) büyük sıklıkla kararsızlık halinde bulunmakla birlikte sabit bolluk oranını muhafaza etmişlerdir. Uranyum serisinin gama spektrumu, farklı enerjilerde birçok gama ışını içermesinden dolayı komplekstirler. Fakat kantitatif (nicel) ölçümler yapabilmek için karakteristik bir piki yoktur. Uranyumun kendisinin karakteristik gaması olmamasına karşılık, kantitatif analizler yapabilmek için Bizmut-214'ün 1,76 MeV enerjili piki kullanılır [18].

Doğal uranyum esas olarak U-234, U-235 ve , U-238 izotoplarından oluşur. Uranyum; atom numarası 92 ve atom ağırlığı 238,09 olan radyoaktif bir elementtir. Spesifik aktivitesi 12,33 Bq/mg' dır.

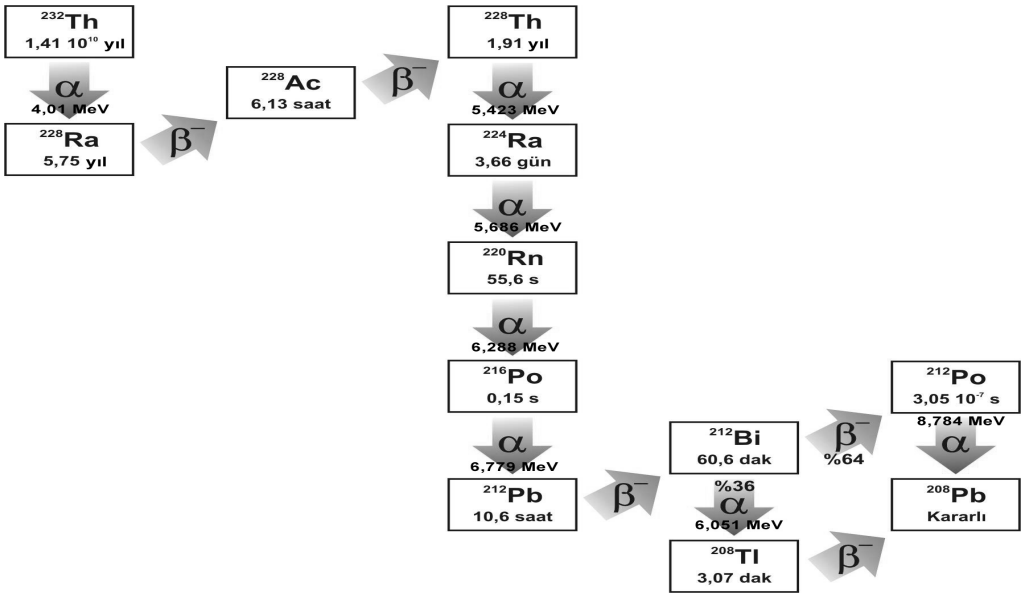


Şekil 2.1. U-238 Bozunum Serisi [26].

Yerkabuğunun oluşumunda ve daha sonra meydana gelen fiziksel ve meteorolojik olaylar diğer elementler gibi uranyumunda kütle halinde yeryüzeyinde veya derinlerde oluşmasına engel olduğundan uranyum mineralleri genellikle küçük miktarda yerin her tarafına dağılmış durumdadır.Yerin 1 km derinliğine kadar olan bölümde 10^2 ton, denizlerde ise 4.10^9 ton uranyum bulunduğu varsayılmaktadır. Genel olarak yeryüzünde ki uranyum konsantrasyonu toprakta 0.3-0.8 pCi/g (11.10-29.60 Bq/kg) düzeyindedir. Ancak damar şeklinde ki veya küme halinde ki uranyum yataklarında uranyum zenginliği 12580 ile72900 Bq/kg düzeyine ulaşır.

2.2.Toryum

Bir diğer doğal radyoaktif bozunum serisinin ana elemanı Th-232' dir. Toryum serisi 11 ürün nüklidi içerir (Şekil 2.2). Kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi daima kararsızdırlar. Ürün nüklidler sırasıyla Toryum-232, Radyum-228, Aktinyum-228, Toryum-228, Radyum-224, Radon-220, Polonyum-216, Kurşun-212, Bizmut-212, Polonyum-212, Talyum-208 ve son olarak kararlı Kurşun-208 izotopudur. Toryum serisi içinde en uygun karakteristik gama piki, Talyum-208' e ait olan 2.615 MeV enerjili piktir. Ayrıca Th-232, doğal Toryumun en önemli radyo izotopudur. Th-232' nin yarı ömrü 1.39 $\times 10$ yıl, spesifik aktivitesi ise 4.1 Bq/mg 'dır. Doğal kaynakların jeolojik ölçüm ve tahlilleri amacıyla karakteristik üç gama enerjisi 1.461 MeV (K), 1.764 MeV (U) ve 2.615 MeV (Th) kullanılır [18].



Şekil 2.2. Th-232 Bozunum Serisi [26]

1828 yılında Jöns Jacob Berzelius tarafından keşfedilen ve periyodik tabloda aktinit serisinin ikinci üyesi olan toryum, yer kabuğunun %0,0007'lik kısmını oluşturmaktadır. Toryum, uranyum gibi doğada serbest halde bulunmayıp 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. Bunlardan sadece monazit ((Ce, La, Nd, Th, Y) PO_4) ve torit ((Th, U) SiO_4) toryum üretiminde kullanılmaktadır. Bu mineraller de genellikle nadir toprak elementleri (NTE) ile birlikte bulunmaktadır [27].

2.3.Potasyum

Doğal potasyumun küçük bir kısmı (% 0,12) radyoaktif K-40 dır. K-40' ın bozunması, 1,461 MeV' lik gama çıkışına neden olur. K-40' ın bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek karalıdır. Yer kabuğunun % 2,6' sını oluşturması nedeni ile potasyum önemli bir elementtir. Boşluğu yaklaşık olarak 0,012 olan radyoaktif potasyumun yarı ömrü $1{,}26\times10^{9}$ yıl ve spesifik aktivitesi 3,3 Bq/g' dır. Bunun anlamı K-40' ın her türlü koşulda konsantrasyonu sabittir ve gram başına saniyede 3,3 gama ışınımı yayınlar [18].

Potasyum-40 kararlı elementinin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2,4' ünü oluşturur [27].

2.4. Radon

Radon,1900 yılında Friedrich Einst Born tarafından keşfedilmiştir.Periyodik tabloda 86. sırada bulunan radon asal gazlar grubunun en ağır ve tek doğal radyoaktif elementidir.Tatsız, renksiz,kokusuz,hiçbir bileşik oluşturmayan ve reaksiyona girmeyen asal bir gazdır.

Radonun Rn-222 (Radon), Rn-220 (Toron), Rn-219 (Aktinon) olmak üzere üç doğal izotopu vardır:

Aktinon (Rn-219): Doğal radyoaktif çevrede çok az bulunur. Çünkü toprağın yüzey tanecikleri arasında oluşsa bile yarı ömrünün çok kısa (3,98 s) olması sebebi ile hemen bozunmaya uğrar.

Toron (Rn-220): Yarı ömrü (54,5 s) aktinona göre daha uzun olduğundan toprak gazında ve yer atmosferinde bir yoğunluk oluşturur.

Radon (Rn-222):Üç radon izotopu arasında en uzun yarıömürlüsü (3,85 gün) Rn-222'dir. Seri başı elementi U-238'in doğada bol ve yaygın dağılımı nedeniyle toprak gazında ve atmosferde önemli bir yoğunluk oluşturur. Ra-226'nın bozunumu sonucu oluşur. Radon izotopları içinde gerek doğada bulunma çokluğu gerekse yarı ömrünün gün mertebesinde olması nedeniyle Rn-222, diğer radon izotoplarından daha çok atmosferde bulunur.

Radon,uranyum ve radyumun bulunduğu her yerde bulunur. Araştırmalar radon gazının biri toprakta diğeri ise yer altı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu ve atmosfere bu ortamlardan yayıldığını göstermektedir [28].

2.5.Radyasyon Doz Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonlar madde içinden geçerken, maddenin atomları ile etkileşmeye girerek enerjisini içinden geçtiği ortama vermektedir. Böylece absorblayıcı ortamda gözlenebilir etkiler meydana gelmektedir. Bu etkiler, kimyasal, biyolojik ve fiziksel etkiler olup, bunlardan herhangi biri bir noktadaki radyasyon miktarını ölçmede kullanılabilir. Bütün bu etkiler iyonlaştırıcı radyasyonlardan absorblanan enerjiye bağlı olup, geçen enerjiye bağlı değildir.

Bir noktadaki iyonlaştırıcı radyasyon miktarını ölçmek için öncelikle radyasyonu ölçebilecek bir birimin tanımlanması gerekir. Bu amaçla, X-ışınlarının keşfinden itibarinden yeni yeni birimler ortaya çıkmış ve bazılarıda artık kullanılmaz olmuştur. Bu birimlerden ilki “pastil birimi”dir. Bu birim yaklaşık 1 cm çapında baryum platanusiyanür tableti olup artan radyasyon dozuna maruz bırakıldığında yeşilden turuncuya kadar değişen çeşitli renkler gösteriyor ve tabletin bu renkleri bir standart renk dizisi ile mukayese edilerek verilen radyasyon dozu birimleri sayısı bulunuyordu. Bu birim güvenilir olmadığından terk edilerek yerine radyasyonlar tarafından havada meydana getirilen iyonizasyona dayanan bir sisteme bırakmıştır. Daha sonra ICRU radyasyon ölçülmesinde kullanılan birimleri gözden geçirerek bazı önerilerde bulunmuştur. Bu öneriler ışığında radyasyon doz birimleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [11].

2.5.1.Maruz Kalma Doz Birimi

Maruz kalma, bir radyasyon karşısında bulunmak demektir. SI sisteminde normal şartlar altında 1 kg kuru havada 1 C elektriksel yük taşıyan iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarı olarak tanımlanır. Klasik sistemde ise maruz kalma birimi olarak Röntgen kullanılır. Röntgen, Uluslar arası kabul edilen ilk radyasyon dozu birimi olup, 1928 yılında Stockholm’da toplanan Uluslar arası Radyoloji Kongresinde X-ışınları doz birimi olarak tanımlanmış ve sonra 1937’de Chicago’da toplanan Uluslar arası Radyoloji Kongresinde Röntgenin tanımı gama ışınlarınıda kapsayacak şekilde değiştirilmiştir. Bu tanıma göre;

1 Röntgen=1 R; 0,001293 gram hava içinde 1 esyb’lik pozitif ya da negatif elektrik yükü taşıyan iyonlar meydana getiren X ya da gama radyasyon miktarıdır. Bu tanımda 0,001293 gram hava normal şartlarda (0 ˚C ve 760 mmHg hava basıncı) 1 cm^3 havanın kütlesidir. 1

$R=2,58.10^{-4}$ Cuolomb/kg'dır. Röntgen, X ve gama ışınları için geçerli olup, bu radyasyonların havada iyonizasyon meydana getirme kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Bir elektron yükü $4,8.10^{-10}$ e.s.b. olduğundan 1 e.s.b.'lik elektrik yükü meydana getirmek için iyonizasyon yoluyla toplam olarak 1 / $4,8.10^{-10}$ elektron veya iyon-çifti meydana gelmesi gerekecektir. Havada bir iyon çifti oluşturmak için ortalama 34 eV'lik bir enerjiye ihtiyaç olduğundan $2,08.10^{9}$ iyon-çifti meydana getirecek enerji $2,08.10^{9}$x34 eV olur. Röntgen'nin tanımına göre bu enerji 0,001293 gram havanın ışınlanması ile absorblandığından 1 gram havanın 1 R'e maruz kalması sonucu absorblanan enerji,

$2,08x10^{9}x34$ Ev / 0,001293 $=5,49x10^{13}$ Ev= 88 erg olacaktır.

2.5.2. Absorblanmış Doz Birimi

Absorblanma deyimi radyasyona maruz kalan bir maddenin kütlesine aktarılan enerjiyi tanımlar. Absorblanmış doz birimi olarak SI sisteminde Gray kullanılır. 1 Gy her hangi bir cismin kilogramı başına 1 J 'lük enerji absorbsiyonu meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Klasik sistemde ise Rad tanımı yapılmıştır. 1 Rad herhangi bir ortamın 1 gr'ına 100 erg'lik enerji aktarılması demektir. İyonizasyon yapan her türlü radyasyon için geçerlidir. Röntgen tanımından hareketle 1 g havanın 1 R'lik radyasyona maruz kalması sonucu absorblanan enerji 88 erg'dir. Aslında radyasyonun etkisi biyolojik dokularda olacağından absorbsiyon dozunun biyolojik dokular için bilinmesi gerekir. Hesaplamalar sonucu havada 1 R'lik radyasyona maruz kalan 1 g kas dokusuna aktarılan enerjinin 95,6 erg olduğu belirlenmiştir. Buna göre havadaki 1 R'lik radyasyona maruz kalan 1 g dokuda 0,95 Rad'lık absorblanmış doz meydana gelir.

1Gy =100 Rad'dır.

2.5.3. Eşdeğer Doz Birimi

Absorblanan dozun, yani bir dokuya aktarılan enerjini dokuda oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalı ve bu kavram radyasyon tipine, oluşturduğu iyonizasyon yoğunluğuna bağlı olan bazı faktörleri içine almalıdır. Bu amaçla eşdeğer doz birimi kavramı geliştirilmiştir. Eşdeğer doz birimi olarak SI sisteminde Sievert, klasik sistemde ise Rem tanımları yapılmıştır.

Rem =Rad x K.F x D.F Sv =Gy x K.F x D.F

Buna göre 1 Sv = 100 Rem olacaktır.

Bu tanımlarda Rad ve Gy absorblanmış dozu, K.F kalite faktörünü, D.F dağılma faktörünü ifade eder. Kalite faktörü, iyonlaştırıcı radyasyonların madde içerisinden geçerken birim yol başına kaybettiği enerjinin bir göstergesidir. Radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı bir değerdir. Her bir radyasyon türü için farklı kalite faktörü değeri verilmektedir.

Tablo 2.1.Çeşitli Radyasyonlar İçin Kalite Faktörü [11]

Radyasyon cinsi	**Kalite faktörü**
X veya gama ışınları	1
Beta parçacıkları	1
Alfa parçacıkları	10
Hızlı nötronlar	10
Ağır çekirdekler	20

Dağılma faktörü, radyoaktif madde verilen bazı organların, radyasyona karşı cevabı bu radyoaktif maddelerin organ içindeki dağılımı ile ilgilidir. Genel hesaplamalarda bu değer 1 olarak kabul edilir.

2.5.4.Doğal Radyasyon Doz Hesapları

Nükleer endüstrinin gelişimi, diğer teknolojiler, yayılan ve artan radyasyon kullanımı ve radyoaktif izotop kullanımından dolayı doğal radyasyonun değerlendirilmesi gerekir. Birikmiş kirliliği dedekte etmek, canlıları ve çevreyi korumak için uygun sayım cihazları seçilmelidir. Doğal radyasyonun sağlık üzerine etkilerini iyileştirmek için radyasyonun faydalarını ve tehlikelerini iyi anlamak gerekir.

Doğal radyasyon doz çalışmaları birçok ülke tarafından yapılmaktadır. Bu şekilde absorbe doz hızlarının yüksek olduğu alanlar belirlenmekte ve insan sağlığı açısından riskleri araştırılmaktadır. Yüksek doz hızlarının olduğu yerlerde toryum ve uranyum yataklarının olduğu düşünülmektedir. Monaziteyi kapsayan mineral kumlar bu örneklerin başlıcalarıdır. Ayrılmış monazite yakınında absorbe doz hızlarının geometriye bağlı olarak 10^{5} nGy/saat'a ulaşmaktadır. Bu yüzden, kumlar üzerindeki doz oranları dikkate değerdir (UNSCEAR;1993). Hindistan'da Kerala'nın Arap denizi sahili üzerindeki doz oranları 200-400 nGy/saat arasında, Brezilya'daki Espirito Santo'nun Atlantik sahilinde doz oranları 100-4000 nGy/saat arasında değişmektedir. Nil deltası üzerinde doz oranları 10-400 nGy/saat ve Ganges deltası üzerinde 260-440 nGy/saat arasında değişmektedir. Kenya'nın sahili üzerinde Mombasa takınındaki bir

alan içinde toryum yatağındaki karbonit kayalar üzerinde doz oranları 12000 nGy/saat olarak rapor edilmiştir. Brezilya'da Menas Gerais içindeki volkanik kayaların bulunduğu bir alanda doz oranları 100-3500 nGy/saat arasındadır. İran'da Caspian denizinde bulunan travertin içindeki sıcak sular tarafından U ve Th 'un depolanmasından dolayı doz oranları 100000 nGy/saat olarak bulunmuştur.

Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda, dozlar ya doğrudan ölçülmüş yada toprak içindeki K-40, U-238 ve Th-232 aktiviteleri ölçülerek, dönüşüm faktörleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu dönüşüm faktörleri tablo 2.2. şu esaslar üzerine dayandırılmıştır :

1- toprak içindeki su miktarı %10
2- toprak yoğunluğu 1,6 g/cm^3
3- U-238 ve Th-232 tüm bozunum ürünleri ile radyoaktif dengede (UNSCEAR 1988)

Tablo.2.2.Dış Karasal Gama Radyasyonuna Maruz Kalma İçin Ortalama Doz Hızı[11-1]

Radyonüklid veya bozunum ürünleri	**Dönüşüm katsayısı ($nGy^{-1}/Bqkg^{-1}$)**	**Topraktaki ortalama aktivite konsantrasyonu (nemli ağırlık için (Bq/kg)**		**Absorbe edilen doz hızı (nGy/h)**		**Dış ortamda maruz kalınan doz hızı (nemli ağırlık için) (Bq/kg başına μR/h)**
		Ortalama	**Aralık**	**Ortalama**	**Aralık**	
K-40	0,043	370	100-700	16	4-30	$49,46\times10^{-4}$
U-238	0,427	25	10-50	11	4-21	$491,09\times10^{-4}$
Th-232	0,662	25	7-50	17	5-33	$761,36\times10^{-4}$

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi dış ortamda absorblanan doz hızına K-40, U-238 ve Th-232 'nin relatif katkıları farklıdır. Th-232'nin katkısı en büyüktür. K-40'ın katkısı Th-232'nin katkısına yakın fakat U-238'in katkısı en küçüktür. 50 KeV'den büyük enerjili fotonlar için değişen foton yoğunluğu (havada) Beck tarafından hesaplanmıştır ve şu değerler elde edilmiştir.

Th-232 ve ürünleri için 0.103 foton/m^2 per 1 Bq/kg
K-40 için 0.005 foton/m^2 per 1 Bq/kg
U-238 ve ürünleri için 0.076 foton/m^2 per 1 Bq/kg

K-40'ın toprak içindeki aktivitesi en yüksek iken yerden bir metre yükseklikte değişen foton yoğunluğu en düşüktür. Th-232'nin toprak içindeki aktivitesi en düşük iken, havadaki değişen foton yoğunluğu en yüksektir. Bu yüzden Th-232 ve K-40'ın hava içinde absorbe edilen doz hızına katkıları birbirine yakın olur. U-238'in değişen foton yoğunluğu Th-232'den düşük, K-40'dan yüksektir. Toprak içindeki U-238 aktivitesi Th-232'ye benzer, K-40'dan çok düşüktür. Bu nedenle U-238'in absorbe doz hızına katkısı Th-232 ve K-40'dan düşüktür. Th-232 serisinde hava içinde absorplanan doz hızlarına başlıca katkıda bulunanlar Tl-208 ve Ac-228'dir. U-238 serisinde ise Pb-214 ve Bi-214'dür.

Dış ortamdaki ortalama absorblanan doz hızı 57 nGy/saat'tir. Bu değerden giderek, yıllık ortalama efektif doz eşdeğeri şu şekilde bulunur [29].

57 (nGy/saat)x0,7 (Sv/Gy)x8760 (saat /yıl)x0,2 = 70 µSv olur.

0,7 Sv/Gy sayısı, absorblanan dozdan efektif doz eşdeğerine dönüştürmek için kullanılmış bir katsayıdır. Bu katsayı yetişkinler içindir ve gama ışınlarına çevresel maruz kalma üzerine deneysel ve hesapsal verilerin UNSCEAR 1982 raporundaki bir analiz üzerine dayandırılmıştır [11].

Çok yeni bir gelişme sonucunda sadece yetişkinler için değil, çocuklar ve bebekler içinde katsayılar oluşturulmuştur. Bu veriler tablo 6'da gösterilmektedir. Bu sonuçlar Monte Carlo hesaplamalarından çıkarılmıştır ve 0,7 Sv/Gy'lik dönüşüm katsayısının yetişkinler için uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 2.3. -Karasal Gama Işınları ve Absorbe Edilen Dozdan Efektif Doza Dönüşüm Katsayıları [11].

Radyonüklid	**Dönüşüm Katsayısı (Sv per Gy)**		
	Yetişkinler	**Çocuklar**	**Bebekler**
K-40	0,74	0,81	0,95
Th-232	0,72	0,81	0,92
U-238	0,69	0,78	0,91
Hepsi	0,72	0,80	0,93

0,2 sayısı, insanların bir gününün ortalama %20'sini dış ortamda geçirdikleri düşünülerek getirilmiş bir katsayıdır. Bunun yanı sıra iç ortam doz eşdeğeri şöyle bulunur:

83x 0,7x8760x0,8 = 407 µSv

0.8 sayısı bir günün % 80'ini iç ortamlarda geçirdiği için kullanılmıştır. Gama ışınlarından dolayı toplam (iç+dış) efektif doz eşdeğeri =70+407=477 µSv =0,48 mSv. Bu değer, kozmik ışınların oluşturduğu 0,38 mSv'dan büyüktür. Fakat çocuklar ve bebekler için bu değerler % 10-30 daha büyüktür. Bazı ülkelerde yıllık efektif doz eşdeğeri bulunmuştur (Tablo 2.3). Bu değer 0,23 ile 0,65 mSv arasındadır [11].

2.6. Karasal Radyasyon

Dünyanın başlangıcından varolan ve yerkabuğunda bulunan karasal radyasyonu primordial radyonüklidler oluşturur.Soğurdukları doza göre insanlar için en önemli olan primordial radyonüklidler uzun yarı ömre sahiptirler. Konsantrasyonları düşük olup elemental çokluğu küçüktür. Doğal radyonüklidler, karasal materyalin dışında aynı zamanda değişen miktarlarda toprakta, havada, suda ve yaşayan organizmalarda da bulunmaktadır. Bundan dolayı insanlar içsel ve dışsal olarak bu radyonüklidlerden yayınlanan α parçacıkları ve γ ışınlarına maruz kalırlar.

U-238 ve Th-232 gibi doğal radyoaktif serilerden gelen dışsal etkin doz eşdeğeri 0,26 mSv/y ve içsel doz 1,42 mSv/y'dır. Primordial radyonüklidler arasında serisi bulunmayan ve tek başına oluşan en önemli nüklid K-40'dır. K-40'ın neden olduğu dışsal doz 0,15 mSv/y ve içsel doz 0,18 mSv/y'dır [1].

2.7. Sularda Radyoaktivite

Sularda radyoaktif K-40 izotopu dışında en fazla uranyum ailesi elemanlarından olan U-238, Ra-226 ve Rn-222 gibi radyoaktif elementler bulunmaktadır. Ra-226'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon gazı ($T_{1/2}$ 3.82 gün) özellikle sondaj kuyuları sularında olmak üzere çok yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir [15].

Radyum, yerkabuğunun çeşitli katmanlarındaki toprak ve kayaçlarda uranyumla beraber bulunduğu gibi, yüksek çözünürlüğü nedeni ile uranyumun bulunduğu noktalardan çok uzaklara bile taşınır ve birikim oluşturabilir. Ra-226'nın tipik aktivitesi kayaçların tabakalarında 40 Bq/kg'dır. Yeraltı sularının kayaçları yıkaması ve topraktan süzülerek hareket etmesi ile, radyum, yüksek çözünürlüğüne bağlı olarak sularda bir konsantrasyon oluşturur. Toprak ve sulardaki radyum, insanların aldığı doğal radyasyon dozuna önemli katkıda bulunur. Yeryüzü

sularında Ra-226 konsantrasyonu düşüktür ve 4-18 Bq/m^3 (0.1-0.5 pCi/L) civarındadır. Taşınarak oluşmuş derin kuyulardaki suları ihtiva eden sistemlerdeki içme sularındaki aquifer kayaçları sebebi ile 40 Bq/m^{3}'dür.

Genel bir yaklaşım olarak, normal art-ortamı olan bölgelerde şehir dağıtım şebekesine gelen sular yeraltından kaynaklanıyorsa, Ra-226 konsantrasyonu 0.037 Bq/L (1 pCi/L), yüzey suları ile besleniyorsa dünya ortalaması olarak, 0.0037 Bq/L (0.1 pCi/L) düzeyindedir.

Doğal sularda bulunan en önemli radyum izotopları Ra-223, Ra-224,Ra-226 ve Ra-228'dir. Bu izotoplara ait özellikler Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.4. Radyum ve İzotoplarının Özellikleri

İzotop	**Bozunma Serisi**	**Ana Element**	**Ürün Element**	**Yarı Ömür**	**Bozunma Türü**
Ra-228	Th-232	Th-232	Ac-228	5.8 yıl	β,γ
Ra-226	U-238	Th-230	Rn-222	1620 yıl	α,γ
Ra-224	Th-232	Th-228	Rn-220	3.66 yıl	α,γ
Ra-223	U-235	Th-227	Rn-219	11.4 gün	α,γ

Ra-226 ve Ra-228 doğada en çok bulunan radyum izotopları olup radyoaktivite ve oluşturacağı sağlık riski açısından en önemlileridir. Ra-226'nın yarı ömrü 1620 yıl olup sularda doğal olarak bulunan temel radyoaktif elementtir. Ra-226, radyum izotopları içinde en dikkat çekenidir ve uranyum serisinin en önemli üyesi olup alfa ışıması ile Rn-222'ye dönüşür. U-235 bozunma serisinde bulunan Ra-233, U-238 serisinde bulunan Ra-226'ya göre ihmal edilebilir düzeyde sağlık riski oluşturur. Çünkü U-235'in doğadaki relatif bolluğu %0.7 iken U-238'in relatif bolluğu %99.3'dür. Ra-224'de yarı ömrü çok kısa olduğu için ihmal edilebilir.

İçme sularının büyük bir kısmı yeraltı sularından çekilir. Bu sular yeraltı ortamını yıkayarak yüzeye sızdıkları için yüksek miktarda radyum ve uranyum içerir. Normalde yeraltı suları içinde artortam olarak 1 pCi/L, yüzey suları için 0.1 pCi/L alınabilir.

Radon suda çözünmüş halde bulunur. Yeraltı ve yüzey suları küçük miktarlarda dahi radyum içeren toprak ve kayaçlarla kaplı bölge ile ilişkide olduğu sürece kullanma sularında radonun bulunuşu kaçınılmazdır. Radon izotoplarının radyoaktivite özellikleri Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Radon İzotoplarının Radyoaktivite Özellikleri

Seribaşı	Ana Element	Ürün Element	Tarihsel Adı	Yarı Ömrü	Radyasyon Cinsi
U-238	Ra-226	Rn-222	Radon	3.82 gün	α,γ
Th-232	Ra-224	Rn-220	Toron	54.5 s	α,γ
U-235	Ra-223	Rn-219	Aktinon	3.98 s	α,γ

UNSCEAR(1982), Rn-222 konsantrasyonunun , yeraltı sularında 4-40 kBq/m^3 ve yüzey sularında 40 Bq/m^3'den daha az olduğunu rapor etmiştir. Derin kuyular ve mineralli pınarlardan sular denizlere ve okyanuslara Ra-226 çözeltilerini taşıyabilir. Deniz suyunda, Rn-222 konsantrasyonu 4 Bq/m^3'dür.

İçme sularında Ra-226 konsantrasyonu için maksimum sınırı Avustralya, Fransa, Japonya ve Hollanda 10 pCi/L olarak kabul etmiştir. ABD'de çevre koruma ajansının yaklaşımı ise biraz farklı olup içme sularında Ra-228 ile Ra-226 birlikte 5 pCi/L, gross alfa aktivitesi sınırı ise 15 pCi/L'dir. Gross beta aktivitesinin sınırı 50 pCi/L'dir.

Ra-226, Rn-222 ve kısa ömürlü radon ürünlerine dönüşerek vücudu önemli dozda radyasyona maruz bırakır. Ra-226'da uzun yarı ömürlü alfa yayımlayıcısı olarak biyolojik hasara yol açar.

Radyum ve radona ek olarak, içme ve kullanma sularında bir başka radyoaktif katkıda radyoaktif yağışlardır. Havada yapılan ve geçmişte yapılmış nükleer testler nedeni ile atmosfer ve strosfere yerleşmiş Sr-90, Cs-137 gibi radyoaktif fisyon ürünleri ile, kontamine olmuş toz bulutlarının radyoaktif yağışlar halinde yavaş yavaş yeryüzüne inerek çevrenin özellikle sularının kirlenmesine yol açmaktadır.

Tablo 2.6.'da içme sularındaki farklı konsantrasyonlar sebebiyle risk seviyeleri verilmektedir.

Tablo 2.6. İçme Suyundaki Radyonüklidler İçin Riskler

Risk	**Doz (mRem/yıl)**	**Konsantrasyon**			
		Ra-226	Ra-228	Doğal U	Rn-222
10	300	100	100	600	2000
10^{-4}	30	10	10	60	200
10^{-5}	3	1	1	6	20
10^{-6}	0.3	0.1	0.1	0.6	2

Risk seviyeleri yaşam süresi başına binde birden milyonda bire kadar olan aralığı verir. U.S.'deki yeraltı suları konsantrasyonları ve riskleri Tablo 2.7'de verilmiştir [30].

Tablo 2.7. U.S. Yer altı Suları Konsantrasyonu Ortalamaları ve Riskler

Radyonüklid	**Ortalama Konsantrasyon (pCi/L)**	**Risk**
Ra-226 ve Ra-228	1.1	$1x10^{-5}$
Radon	600	$4x10^{-4}$
Doğal Uranyum	1.2	$2x10^{-6}$

- **Kanser Riski Hesaplamaları**

Kabul edilebilir maksimum kanser riski 10^{-3}'dür. Bu değeri hesaplamak için kullanılan formül aşağıdaki gibidir [31].

Kanser risk değeri = yeraltısuyunda uranyum konsantrasyonu (Bq/L) x risk faktörü ($6,07x10^{-5}$Bq/L başına)

Burada;

yer altı suyundaki uranyum konsantrasyonu (Bq/L) = ölçülen değer (µg/L) x dönüşme faktörü (0,67pCiµg/L) x dönüşme faktörü (27 pCi/Bq)

risk faktörü (Bq/L başına) = risk katsayısı ($4.40x10^{-11}$ pCi başına) x vücuda alınan su oranı (1,31/gün) x alınan toplam süre (27,740 gün) x dönüşüm faktörü (27 pCi/Bq)

3. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı İzmir'in güneybatısında yaklaşık 65 km uzaklıkta olup, güneybatısında Cumalı Kaplıcaları, güneyde Palamlı Köyü, kuzeyinde ise Seferihisar ilçesine bağlı Kuyucak Köyü, doğusunda Dede Dağı, batısında Kızılcadağ ile sınırlanmıştır.

İnceleme alanında Akdeniz iklimi egemendir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. Topoğrafik olarak çalışma alanı sarp ve engebelidir. Bu alanda bodur yapılı makiler, zeytin ağaçları, alüvyon alanlarda narenciye bahçeleri ve çeşitli meyve ağaçları yer almaktadır. Bu bitkiler Akdeniz iklimine bağlı olarak gelişmiştir [32].

3.1. Su Noktaları

Çalışma alanında su noktalarını, sıcak su kaynakları, kuyular, sondajlar, akarsular oluşturmaktadır.

Genel olarak sıcak su kaynaklarının oluşumu, beslenme alanlarında yağış suları ve deniz suyu tektonik hatlar boyunca yeraltına süzülerek derinlerde bulunan, henüz sıcaklıklarını tamamı ile yitirmemiş volkanik kayaların etkisi ile ısındıktan sonra Kuzey-Güney ve Kuzey Kuzey-Güney Güneybatı yönlü faylar ve kırık sistemleri boyunca soğuk yer altı suları ve deniz suyu ile değişik oranlarda karışarak tekrar yüzeye eriştiği şeklinde açıklanabilir .

3.1.1. Sıcak Su Kaynakları

Çalışma alanında yer alan bu kaynakların sıcaklıkları 30-77 ^{0}C arasında değişmektedir. Sıcak su çıkışı nedeniyle özellikle kaplıcalarda traverten oluşumu gözlenmektedir. Genelde bu suların çıktıkları yerlerin çevresi kullanım amacına göre insanlar tarafından kapatılmış veya başka bir yere kanallar aracılığı ile ulaştırılmıştır. Sıcaklıkları çok fazla olan kaynak sularının çıkışı tek bir noktadan olduğu gibi birçok noktadan kaynak gözeleri şeklinde de olmaktadır .

3.1.2. Doğanbey Kaplıcası

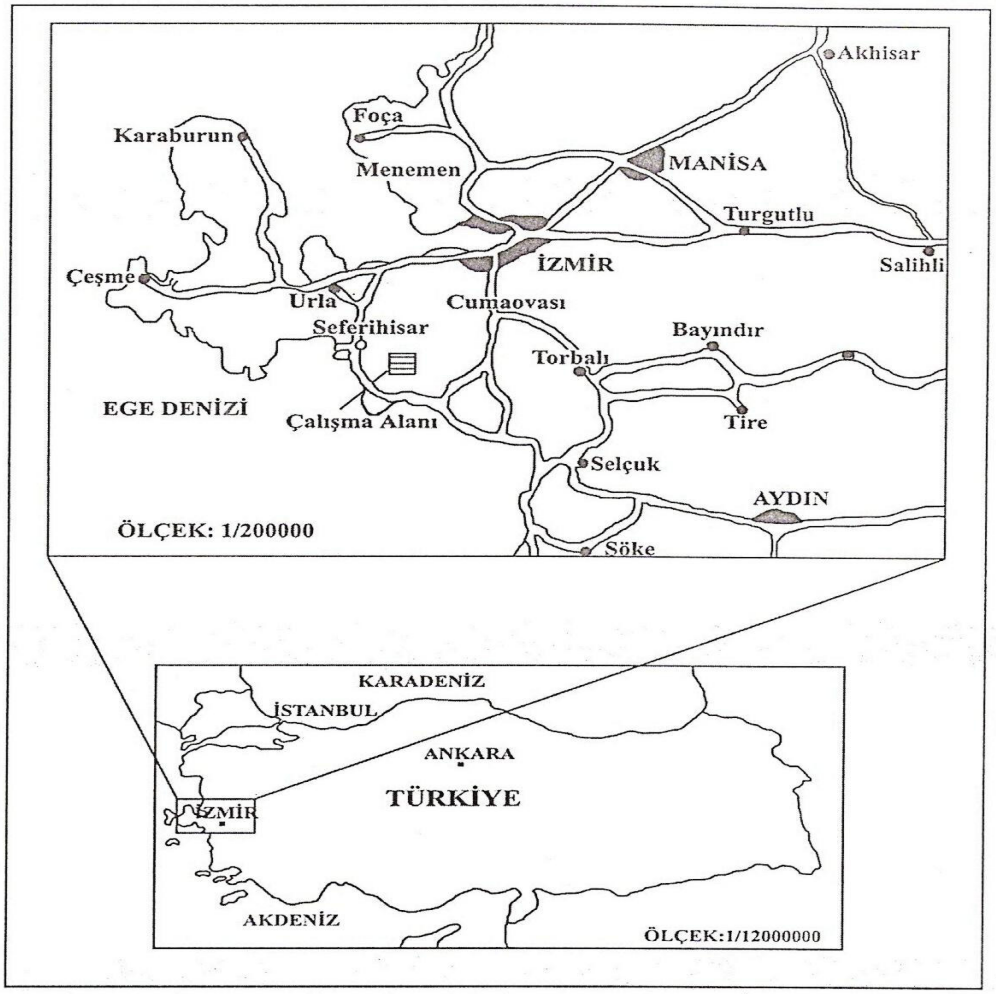
Su sıcaklığı 65-67 ^{0}C arasındadır. Sıcak su çıkışı farklı birçok noktadan olmaktadır. Kaplıcanın turizm ve ekonomik açıdan kullanılmak üzere yapılan yapıların yetersiz olduğu gözlenmiştir. Kaplıcadan çıkan sularda seracılıkta yararlanılmaktadır. Bölgede bir çok sera bulunmaktadır. Bu suların taşınması sırasında traverten oluşumu gözlenmektedir .

3.1.3. Karakoç Kaplıcaları

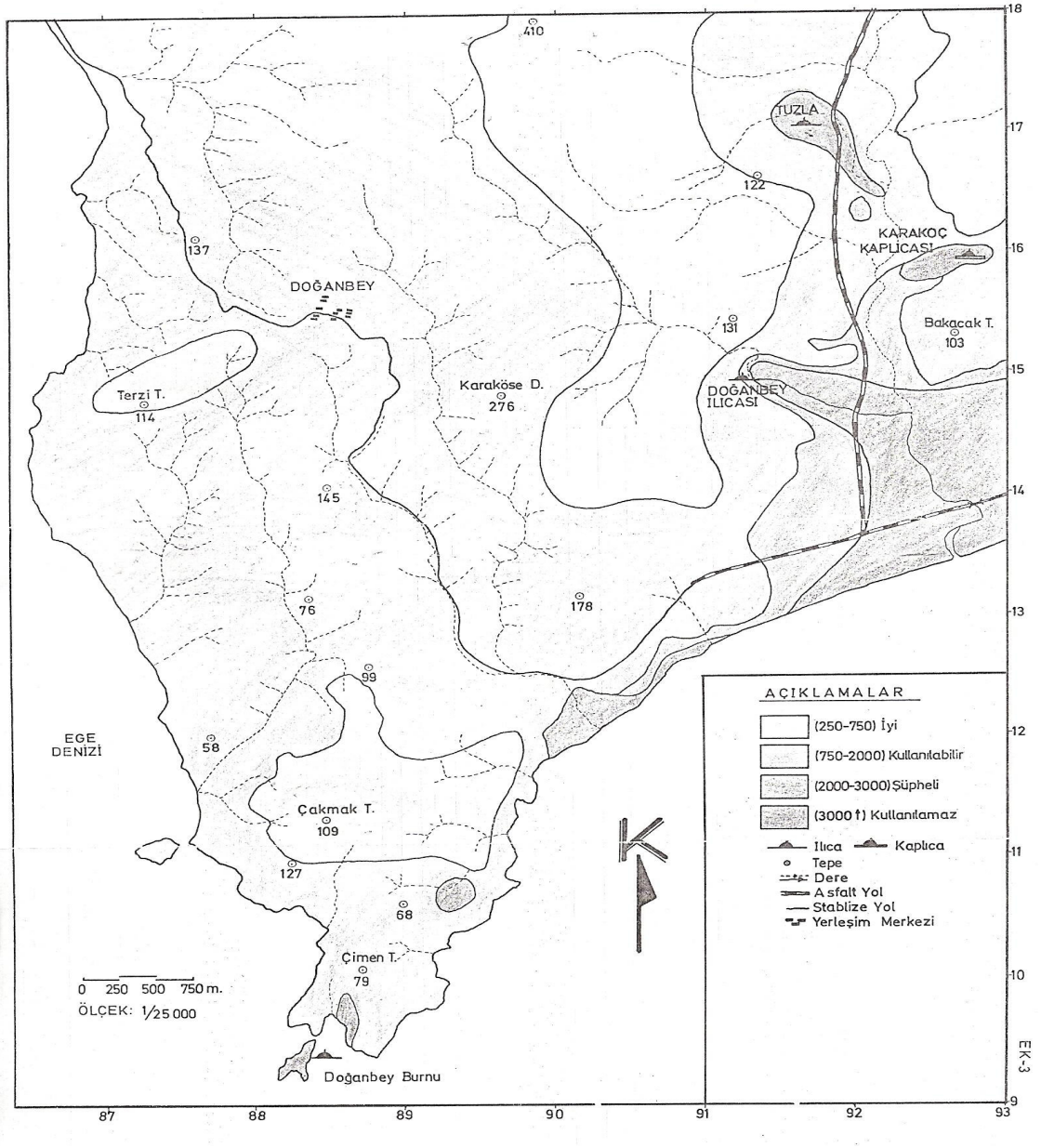
Suyun sıcaklığı 55 ^{0}C'dir. Doğanbey kaplıcalarının traverterlerinin buraya kadar geldiği gözlenmiştir. Tesisleşme yine yetersiz boyuttadır .

3.1.4. Kuyular

Genelde sulama amacıyla açılan kuyular hemen hemen her evde ve bahçe de karşımıza çıkmaktadır. Bu kuyuların çapları 3-4 m civarındadır ve derinlikleri 3-18 m arasında değişmektedir [32].



Şekil 3.1. Çalışma Alanının Konumu



Şekil 3.2. Çalışma Alanının Yeraltı Suyu Haritası [33].

4. SU VE TOPRAK ÖRNEKLERİ İÇİN ÖLÇME YÖNTEMLERİ

4.1. Radon Ölçme Yöntemleri

Radon ve ürünlerini ölçmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

1-İyonizasyon odası

2-Filtre yöntemi

3-Kollektör yöntemi

4-Lucas Hücresi

5-İz kazıma yöntemi

Bu çalışmada, CR-39 ile iz kazıma yöntemini kullanarak radon ölçümü yapılmıştır.

4.1.1. İz Kazıma Yöntemi Kullanılarak Radon Ölçümü

Radyonüklidlerin yayınladıkları alfa tanecikleri bazı maddeler ve özellikle plastik filmler üzerinde etkilidirler. Alfa taneciği bu filmlere çarptığı zaman onun yapısında bir hasar oluşturur. Bu hasar film üzerinde normal mikroskop altında görülemeyecek kadar küçük çukurlar şeklindedir. Bu olaya maruz kalmış bir film laboratuarda belirli şartlar altında kimyasal işleme tabi tutulursa alfa taneciğinin oluşturduğu izler normal mikroskop altında görülebilir hale gelir. Bu işlemlerden dolayı bu ölçüm sistemine iz kazıma tekniği adı verilmiştir. İz kazıma filmleri genelde üzerine gelen alfa parçacığının sayısını verir. Ve bu olay alfa taneciğinin kendine özel bir durumudur. Çünkü filmler diğer radyasyon türlerine karşı duyarlı değildirler.

4.1.2 . CR-39 İz Kazıma Filmlerinin Yapısı Ve Özellikleri

Alfa iz kazıma filmleri yine organik özellik gösteren mika, kuvartz, cam vb. ile organik özellik gösteren selüloz asetat, selüloz nitrat, polikarbonat ve polietilen maddelerden yapılabilirler. Bu filmler diğer elektromanyetik ışınımlardan etkilenmezler. Elektronlara karşı duyarsızdırlar. Filmin bulunduğu ortamda gama veya x-ışınları bulunsa bile yine de kullanılabilirler. CR-39 filmleri polikarbonat yapıdadır.

4.1.3. Alfa Tanecikleri İle CR-39 İz Kazıma Filmlerinin Etkileşmesi

Doğada bulunan radyoaktif maddelerin yayınlamış olduğu radyasyon tanecik karakteri gösterir ve bu tanecikler bir kinetik enerjiye sahiptirler. Kinetik enerjiye sahip bu tanecikler herhangi bir

madde ile yada yüzey ile karşılaştıklarında enerjilerinin bir kısmını yada tamamını maddeye yada yüzeye bırakırlar. Bu çarpışma esnasında maddenin yüzeyinde her hangi bir hasar meydana getirme kabiliyeti, taneciğin türüne, taneciğin sahip olduğu enerjiye ve maddenin cinsine bağlıdır. Alfa tanecikleri diğer radyasyon türlerine göre daha fazla enerjiye sahip ağır taneciklerdir. Ağır ve elektriksel yüklü olduğu için madde içindeki menzili oldukça kısadır.

Çünkü yüklü tanecikler madde içinden geçerken yolları boyunca enerji transfer ederler. Ortam içindeki moleküllerle veya atomlara ait elektronlarla Coulomb etkileşmesi yapan yüklü tanecik enerjisini yitirerek madde içinde durur. Çok sayıda uyarılma ve iyonlaşma ile iyon yolu boyunca yapısal hasar oluşur.

4.2. Gama Spektrometresiyle eU, eTh ve % K Tayini

Örnekler içinde U, Th ve K değişik konsantrasyonlarda ve birlikte bulunurlar. Alınan spektruma bu üç elementten de katkı gelmektedir. Elementlerin birinden diğerine gelen ve radyonüklidlerin konsantrasyonları belirli formüllerle tayin edilmektedir [11].

Potasyum spektrumu, tek enerjili gama kaynağına karşı NaI(Tl) dedektörünün tipik bir cevabıdır. K-40 pikinin enerjisi 1,461 MeV gama ışınının compton saçılması yapmasından ileri gelmektedir. Uranyum spektrumu, çok sayıdaki değişik gama enerjili ürün radyonüklidlerden dolayı potasyuma nazaran daha komplekstir. Spektrumda Bi-214'den gelen 1,76 MeV enerjili gama piki, örnek içindeki eU-238'i tespit etmek için kullanılır. Toryum spektrumunda, ürün radyonüklidlerin bozunmasıyla oluşan birçok gama ışını pikine sahiptir. Bunların en önemlisi Tl-208'dir. Bu pik, eTh-232'i tespit etmek için kullanılır. Toprak örneklerinde K, U, Th tayini yapmak için spektrumlarda bu anlattığımız gama enerjilerine karşılık gelen enerji aralıkları seçilir. Seçilen enerji aralığına düşen net sayımdan dolayı, örnek konsantrasyonunu hesaplamak için o enerji aralığına diğer elementlerden gelen gama ışınlarının katkısının çıkarılması gerekir [34].

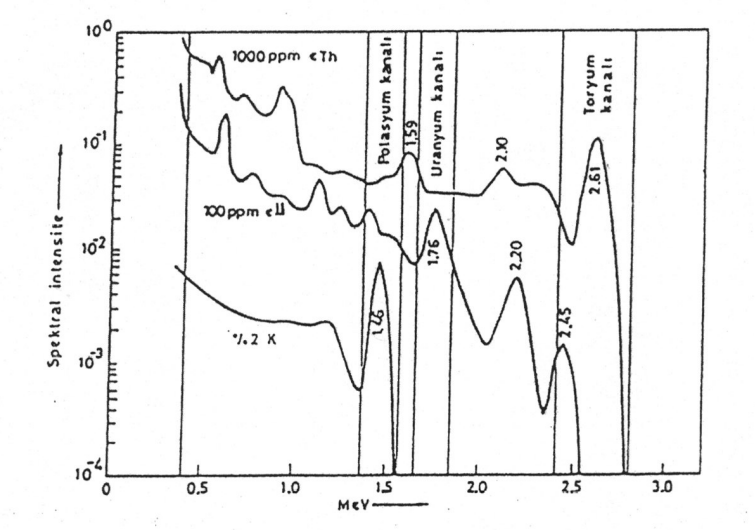
Toryum Kanalı: Toryum için seçilen kanallardaki sayımların %86 sı toryumdan, %2 si uranyumdan, geri kalanda art ortamdan gelmektedir. Şekil 4.1.'deki gibi uranyum spektrumundaki Bi-214'ün 1,76 MeV enerjili gama pikinden bu kanala küçük bir katkı gelir.

Uranyum Kanalı: Spektrumda uranyum için seçilen kanallara toryumdan ihmal edilmeyecek katkılar gelir. Toryum serisinden Tl-208'in 2,614 MeV enerjili gamasından kaynaklanan tek kaçak pik 2,10 meV'de ve çift kaçak pik 1,59 MeV'de oluşur. Uranyumu saptamakta kullanılan 1,76 MeV gama enerjisine sahip pik, bu iki enerji arasındadır. Bunlardan başka toryum serisinde Ac-228'in 1,588 MeV enerjili gaması da uranyum kanalındaki sayımlara katkıda bulunur. Bu

yüzden, uranyum kanallarındaki sayımlar uranyum konsantrasyonu hesabında doğrudan kullanılmazlar.

Potasyum Kanalı: Bu kanaldaki sayımların çoğu art ortamdan kaynaklanmaktadır. Sistemin bulunduğu yerdeki ortamdan, bu kanala gelen katkılar %65 dolayındadır. Toryum ve uranyumdan gelen katkılar %15-20 arasındadır. Bu kanallardaki sayımlarda doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmaz.

Potasyum, uranyum, toryum konsantrasyonlarını saptamak için seçilen kanallardaki katkıları uygun faktörlerle çıkarmak gerekir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren faktörlere 'Sıyırma' (Stripping) oranları denir. Net sayımlardan %K, ppm eU, ppm eTh olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan faktörlere de 'Duyarlılık' faktörleri denir [34].



Şekil 4.1. Potasyum, Uranyum ve Toryum Kanallarına Gelen Katkılar [34]

Duyarlılık Faktörleri:

$K_1 = C (Th) / Th (ppm)$ C (Th): Toryum kanalındaki net sayım.

Th (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$K_2 = C (U) / U (ppm)$

C (U): Uranyum kanalındaki net sayım.

U (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$K_3 = C (K) / \%K$ C (K): Potasyum kanalındaki net sayım.

%K: % olarak potasyum miktarı.

Sıyırma Oranları:

α = Toryumdan Uranyuma gelen katkı / Toryum net sayımı

β = Toryumdan Potasyuma gelen katkı / Toryum net sayımı

γ = Uranyumdan Potasyuma gelen katkı / Uranyum net sayımı

Hazırlanan uygun standartlar ile duyarlılık faktörleri ve sıyırma oranları saptandıktan sonra, örnek içindeki konsantrasyonlar aşağıdaki eşitlikler tarafından bulunur.

$eTh (ppm) = C (Th) / K_1$

$eU (ppm) = 1 / K_2 [C (U) - \alpha C (Th)]$

$\% K = 1 / K_3 [C (K) - \gamma [C (U) - \alpha C (Th)] - \beta C (Th)$

4.3. ICP İle Element Tayinleri

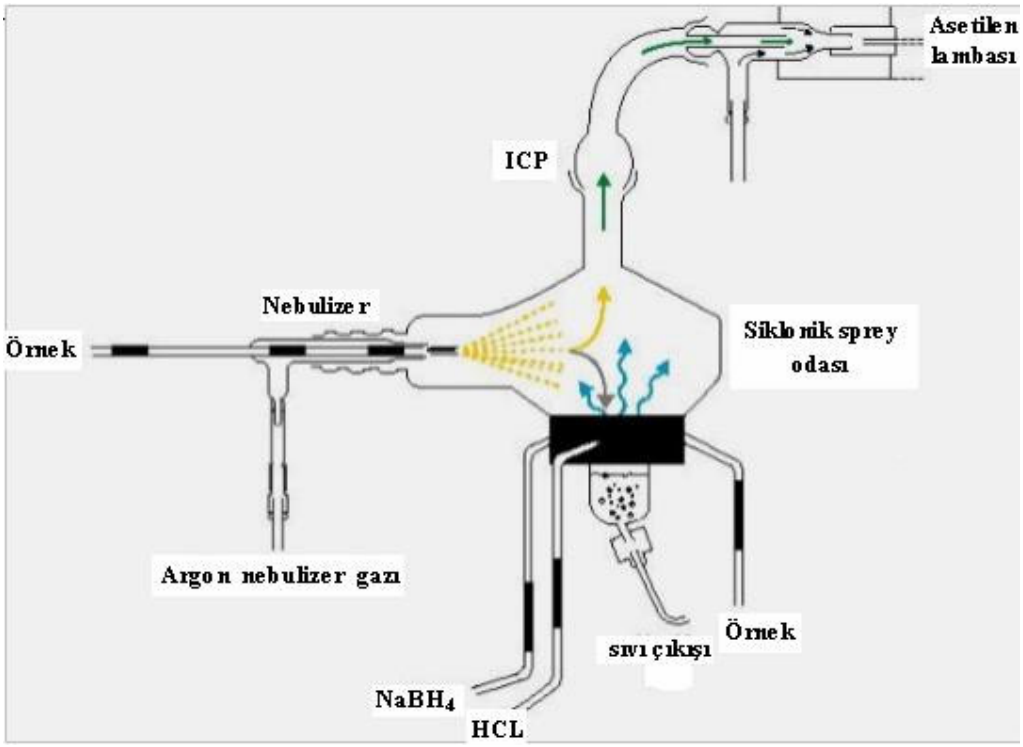
4.3.1. ICP Çalışma Prensibi

ICP kaynağı, iyonlaşmış bir argon gazı akışı ile genellikle 27 veya 40 Mhz'lik güçlü bir radyofrekans alanının eşleştirilmesi ile elde edilir. Örnek, genellikle sıvı fazda aeresol şeklinde yüksek sıcaklıktaki plazmaya gönderilir ve aeresol tanecikleri plazmada sıra ile kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve oluşan iyonlar uyarılır. Analit elementin atomik ve iyonik çizgileri bir spektrometre ve uygun bir programa sahip bilgisayar ile değerlendirilerek analiz yapılır. 70'den fazla element için belirtme sınırı ng/ml düzeyindedir.

4.3.2. ICP Kaynağı

Bir plazma kaynağında iç içe yerleştirilmiş üç kuartz tüpün en içteki bir sisleştirme odacığı ve nebülizöre bağlıdır**.**

Diğer iki tüpe ise argon gazı gönderilir. İçinden soğutucu geçen bakır boru şeklindeki bir indiksüyon bobini ile kuartz tüpün üst tarafı sarılmıştır. En dış boruya boru çeperine teğet şeklinde gönderilen argon (yaklaşık 15 L/dak) plazmanın korunmasını sağlar, soğutucu görevi görür ve böylece plazmanın kuartz tüpü eritmesini önler. En içteki argon (yaklaşık 1 L/dak) ise örneğin plazmaya taşınmasını sağlar. Ortadaki tüpe argon gönderilmesi (~1 L/dak) bir başka opsiyondur daha çok organik çözücülerle çalışırken kullanılır.



Şekil 4.2. ICP Kaynağının Şematik Diyagram Gösterimi

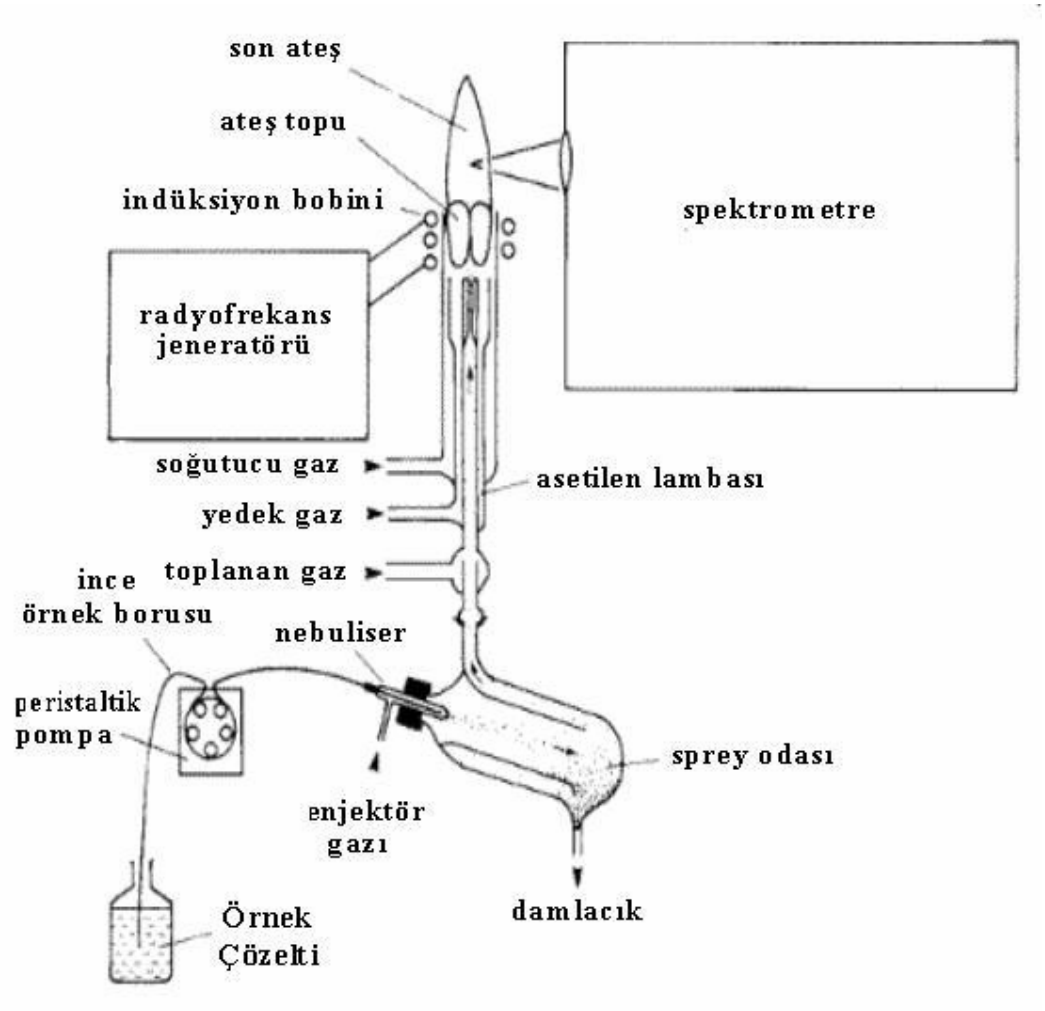
Plazmayı başlatmak için bir Tesla bobini ile argonda ilk iyonlaşma yapılır ve oluşan ilk çekirdek elektronlar güçlü radyofrekans alanda (RF alanı) yüksek enerjiye ulaşarak çarptıkları diğer argon atomlarını da iyonlaştırırlar. Elektron derişimi ve enerjisindeki artış sonucu çarpışma ile uyarma gerçekleşir ve bunun sonucu alev benzeri bir boşalım gözlenir. Aeresol gaz akışı plazmanın merkezine girer ve toroidal bir yapı oluşturur ve örnek çözeltisi sisi uzun ve dar

merkez kanalı boyunca geçer. Örnek 5000 – 10000 ^{o}C sıcaklık etkisinde kalır. Plazma çok ince yapılı olduğu için öz soğurma etkisiyle pek karşılaşmaz.

4.3.3. ICP – OES

Isıl veya elektriksel ortamda gaz halindeki molekül veya iyonların dış yörüngelerindeki elektronlar yüksek enerji seviyelerine çıkıp, nano saniye veya daha kısa zaman sonra, değişik dalga boylarında elektromanyetik radyasyon yayarak temel seviyeye dönerler. Her elementin uyarılan atomu kendine özgü enerjilerde ve değişik dalga boylarında elektromanyetik radyasyon yayımlar. Bir elementin atom ve iyonlarının birçok dalga boylarında emisyon çizgileri bulunur. Bir elementin konsantrasyonunu, belirli dalga boyundaki şiddeti ile bulma yöntemi emisyon spektrometrelerinin çalışma prensibini oluşturmaktadır.

ICP' de plazmayı oluşturmak için içiçe geçmiş değişik geometri ve ölçülerdeki üç kuartz tüpten oluşan Torch, indüksiyon bobini içerisinde dikey olarak yer alınır. Bir radyofrekans jeneratöründen üretilen yüksek frekanslı akım indüksiyon bobini içinden akar ve Torch' un üst kısmında manyetik alan oluşturur. Sıvı örnekler nebülizör tarafından çok ince aeresol haline sokularak argon gazı ile püskürtme odasına püskürtülür. Püskürtme odasında daha küçük parçacıklar Torch' un en iç kanalından plazmaya sevk edilir. Plazma kimyasal olarak inert bir ortamda ve 8000 °K sıcaklıkta örnek içindeki molekül ve iyonları gaz haline getirdikten sonra, gereken uyarılmayı sağlar. Plazma genellikle organik atom ve iyonlarının uyarılmış hallerinin gaz halindeki karışımıdır. Örnek parçacıkları yaklaşık 7000 – 8000 °K sıcaklıktaki plazma ortamından geçerler.Yüksek sıcaklık ve uzun örnek – plazma etkileşme zamanı, plazmaya giren örneğin tamamını gaz haline ve serbest atomlarına dönüştürür. ICP emisyon spektrometresi her elementin seçilen dalga boyundaki emisyon ışık şiddetini tek tek sıra ile ölçer. ICP-OES için de kantitatif analiz için kalibrasyon gerekmektedir. En önemli nokta kullanılan matrix standart çözeltilerin, analizi yapılacak örneğe uygunluğudur. Örneklerin matrix kompozisyonlarına ve nebülizör çeşidine bağlı olarak tayin limitleri değişmektedir. Her elementin belirli bir dalga boyundaki şiddeti ile konsantrasyonu ilişkisi doğrusaldır.



Şekil 4.3. Tipik ICP-OES Cihazının Şematik Diyagramı

4.3.4. ICP – OES Spektroskopisinde Gelişmeler

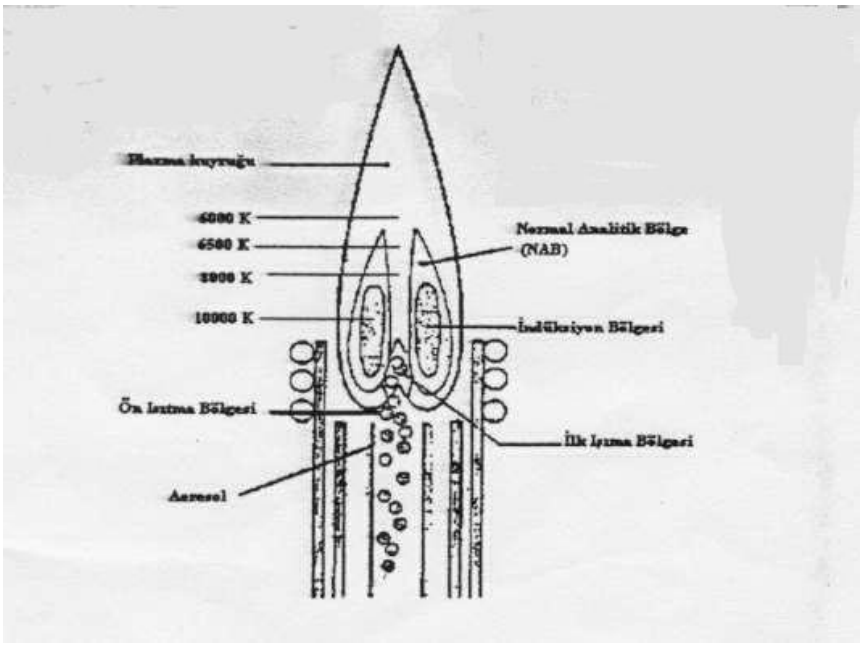
Son yıllarda ICP – OES alet yapısında önemli gelişmeler gözlenmektedir. Dikey plazma yerine yatay plazma kullanılması ile plazmada dedektör gözlem bölgesi arttırılmış ve belirtme sınırı 5 - 10 kat azaltılmıştır.

Ancak yatay gözlemlenen plazmalarda girişimler daha fazladır ve çalışma grafiğinin doğrusal aralığı daha dardır.

Hız yönünden Simultane aletler, duyarlık yönünden ise sırası ile ölçüm yapan Sequential aletler daha üstünlük taşıyordu. Son yıllarda bu iki üstünlüğü bir arada bulunduran echelle monokromatörlü ve dizi dedektörlü spektrometreler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu aletlerde dedektör olarak yük aktarma dedektörleri önerilmektedir.

4.3.5. Plazmanın Görünüşü ve Spektrumlar

Plazma,aleve benzer bir kuyruğu bulunan çok yoğun, parlak,beyaz ve geçirgen olmayan bir merkeze sahiptir. Borunun birkaç milimetre yukarısına kadar ulaşan bu merkez, argonun atomik spektrumunu bastıran bir sürekli spektrum oluşturur. (Spektrum, ışığın dalga boylarına ayrılmış halidir. Sürekli spektrum uygulanmasının sebebi, içinde bulunan örneğin ve argonun atomlarına uyarlı spektrum oluşturup dalga boylarının ölçülmesini sağlamak içindir).



Şekil 4.4. Plazma

4.3.6. Numune Verme

Numune taşınımı için en yaygın olarak kullanılan düzenekler sisleştiricilerdir. Burada, numune sisleştirici ile aeresol hale getirilir ve plazmaya taşınır.(Aeresol hal; sıvı halde bulunan çözeltinin hava yardımıyla en küçük parçalara ayrılmasıdır.) Plazmaya öncelikle standart örnek gönderilir. (ilk önce standart örneğin verilmesinin sebebi, toprakta bulunan elementlerin standart bulunma değerlerine göre kıyaslanabilmesi içindir). Örneğin plazmaya taşınması torch'u oluşturan üç kuartz boru yardımı ile gerçekleşir. Torch'u en içteki kuartz borusundan argon akışıyla numune taşınır. Dıştaki borudan geçen argon gazıyla torch 'un soğuması ve plazmanın dağılması engellenir. Ortadaki borudan plazmanın oluşması için argon gazı taşınır. Aeresol tanecikler plazmada sıra ile kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır. Oluşan atom ve iyonlar uyarılır.

Plazmaya gelen numune burada emisyona uğrar. (Emisyon, sıcak bir ortamda, atomun parçacıklar veya elektronlarla çarpışması sonucu elektronik olarak uyarılması sonrası temel hale dönerken ışık yaymasıdır).

Plazmadan çıkan emisyonlar optik sisteme geçerler. Optik sistem içinde,prizmadan ve parabolik aynalardan yansıyarak spektrumlarına ayrılan ışınlar dedektörde toplanır ve dalga boylarına göre ölçümleri alınarak standart verinin değeri ile kıyaslanarak toprak numunelerinin analizi yapılır [35].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

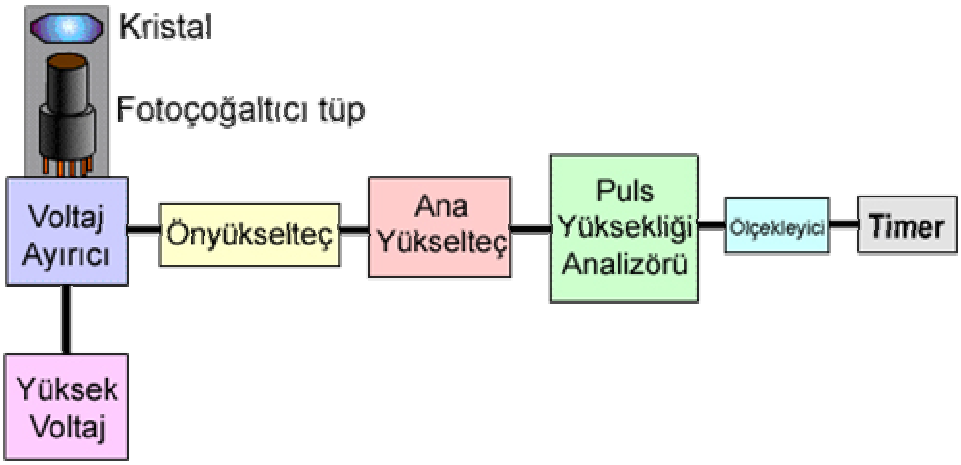
5.1. Toprak İçin Yapılan Çalışmalar

5.1.1. Gama Spektrometresi İle Seferihisar'dan Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite Tayini

Seferihisar'dan alınan termal, kuyu ve hidrafor su örneklerinin çevresinden toplanan topraklar naylon poşetlere konularak laboratuara getirildi. Toprak örnekleri elendikten sonra fırında 105 ^{o}C'de 1 gün süreyle kurutuldu. Kurutma işleminden sonra her bir örneğin 100 gramı tartılıp, yüksekliği 6,5 cm, eni 4,5 cm, genişliği 3,5 cm olan plastik kutulara yerleştirildi ve radonun kaçmaması için kutular sıkıca yapışkanla kapatıldı. Örnekler içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 43 gün beklendi. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak bekleme sonunda örneklerin toplam gama sayımları ve ayrıca çok kanallı analizörde K-40, U-238(Bi-214) ve Th-232 (Tl-208) ait (sırasıyla 1,46 MeV, 1,76 MeV ve 2,61 MeV) enerjilerine karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları ppm olarak elde edilmiştir.

5.1.2. Çalışmada Kullanılan Gama Spektrometre Sistemi

Çalışmamızda 3''x 3'' (inçlik) NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçümler yapıldı. Sistemi oluşturan parçalar şunlardır: NaI (Tl) sintilasyon dedektörü, fotoçoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatörü, Ortec model 478 Volt yüksek voltaj kaynağı, Ortec Maestro bilgisayar programlı puls yüksekliği analizöründen oluşmaktadır. Dedektör sistemi ve örneğin bulunduğu odacığın yüksekliği yaklaşık olarak 45 cm, çapı 25 cm 'dir. Tabanlarda ve yan yüzlerde kurşun bloklar bulunmaktadır. Kurşunun konmasının sebebi, bina yapı malzemelerinden ve çevreden gelebilecek radyasyonu en aza indirmektir. Spektrometre sisteminin blok diyagramı Şekil 5.1.' deki gibidir.



Şekil 5.1. Gama Spektroskopisi Çalışma Sistemine Ait Blok Diyagramı

Gama spektrometresinde işlem yapabilmek için spektrometrenin kalibrasyonu şarttır. Diğer bir deyişle standart gama kaynaklarından alınan gama ışınları çok kanallı analizör kullanılarak kanal sayısı ile gama enerjisi arasındaki kalibrasyon doğrusu çizilmelidir. Çalışma esnasında, kullanılan gama enerjileri bölgesinde spektrometrenin enerji lineerliği sürekli kontrol edilmelidir. Enerji kalibrasyonu yapılırken, dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise spektrometrenin ölü zamanının her zaman aynı olmasıdır. Spektrometre Co-60 ve Cs-137 standart kaynaklarının 1,17 MeV, 1,33 MeV ve 0,662 MeV gama enerjileri kullanılarak kalibre edilmiştir.

Seferihisar'da 10 farklı yerden alınan toprak örnekleri öncelikle kurutuldu, elendi ve 100gr tartılarak kutulara hava almayacak şekilde kapatıldı. Örnekler kapalı kutularda bir ay bekletildi. Daha sonra alınan örneklerdeki %K, eU ve eTh sonuçları gama spektrometresi yöntemiyle tayin edildi (Tablo 6.1.).

Bu çalışmada, daha önceden hazırlanmış olan potasyum % 52.45'lik, uranyum 118 ppm'lik, toryum 600 ppm'lik standartlar kullanıldı. Ayrıca art ortam içinde hazırlanmış bir standart kullanıldı.

Bu sonuçlar aşağıdaki dönüşüm faktörleri kullanılarak Bq/kg' a çevrildi. Dönüşüm Faktörleri,

%1 K = 296 Bq/kg ,

eU(1ppm) = 12.58 Bq/kg,
eTh(1ppm) = 4.07 Bq/kg olarak kullanılmıştır [34] .

5.2. Su İçin Yapılan Çalışmalar

5.2.1. Suyun Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Seferihisar'dan alınan 12 su örneği laboratuara getirilip öncelikle pH, iletkenlik ve mV gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakılmıştır. Bu ölçümler WTW marka Multi 340 i/set ile yapılmıştır.

5.2.2. CR-39 İle Sularda Radon Ölçümü:

Seferihisar'dan alınan toplam 12 tane su örneğinde radon konsantrasyonları, CR-39 dedektörleri ile tayin edilmiştir.

CR-39 polikarbonat filmleri 1x1 cm boyutunda kesilip, Şekil 5.2.'de verilen özel hazırlanmış 1 litrelik plastik kaplara yerleştirildi. 1 ay süre ile bekletildi. Radon ve ürünlerinde yayınlanan alfaları kaydeden iz kazıma dedektörleri üzerindeki izleri optik mikroskopta görebilmek için filmler bazı kimyasal işlemlere tabi tutuldu. Bu işlemde filmler 70 ^{0}C sıcaklıkta %30 NaOH çözeltisinde 17 saat süreyle banyo edildi. Dedektör üzerindeki izler mikroskop ile sayıldı. Kullanılan CR-39 filmleri için Çekmece Nükleer araştırma merkezinde elde edilen kalibrasyon faktörü kullanıldı.

1 aylık süre boyunca elde edilen verilerin 1 mm^{2}'ye düşen alfa parçacıklarının izleri 40 mm^{2}'yi kapsayacak şekilde mikroskopla sayılmıştır.

Şekil 5.2. Özel Hazırlanmış 1L'lik Plastik Şişe

5.2.3. ICP İle Sularda Element Analizleri

Seferihisar'dan alınan su örneklerinin element tayinleri Perkin Elmer Optima 2000 DV ICP-OES spektroskopisi ile yapılmıştır. HNO_3 ile asitlendirilmiş sularda ICP-OES ile Fe, Cu, Co, Na, Ca, Mg, Al, B, Ba, Mn, Ni, Zn, Cr, Sn, K, Ti, Sr, Sb, Si, Pb, Bi, U, La ve Zr elementlerinin konsantrasyonları tayin edildi.

Sistemin kalibrasyon hesaplamaları, uranyum için Reagecon-İrlanda marka uranyum standart solüsyonundan 1 M HNO_3 katkılı 1000 mg/L U standardı 100, 200, 300 ve 400 ppb'lik standart çözeltilerinden elde edilen kalibrasyon eğrisinden yapılmıştır. Diğer elementler için ise Merck marka 1000 mg/L'lik ana standart solüsyon hazırlanan ara solüsyonlardan kalibrasyon eğrileri çizilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometresi Sonuçları

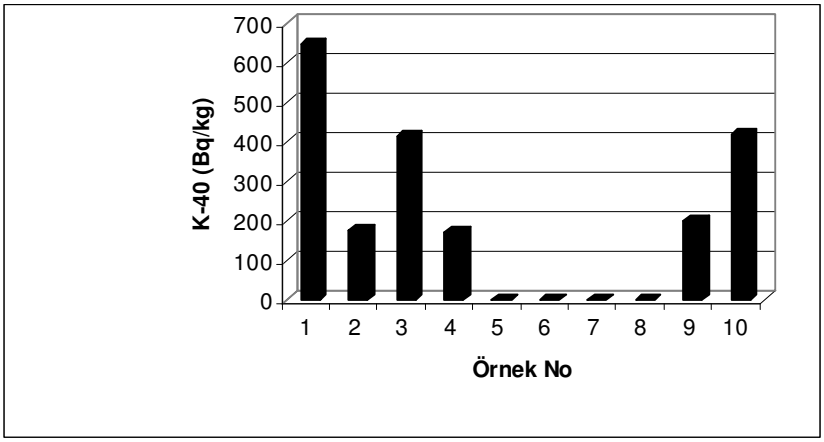
Bu çalışmada İzmir-Seferihisar bölgesinde 10 istasyondan toplanan toprak örnekleri NaI(Tl) dedektörü ile sayıldıktan sonra, örneklerin %K, eU ve eTh aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Tablo 6.1. Seferihisar Toprak Örneklerinin Doğal Radyonüklid Aktivite Konsantrasyonu

Örnek No	Örnek Kodu	eTh (ppm)	eU (ppm)	K %	Th-232 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
1	K-1	3.92	3.91	2.18	15.96	49.23	645.38
2	T-2	5.96	5.92	0.60	24.27	74.42	176.24
3	T-3	1.05	8.53	1.40	4.27	107.36	413.17
4	T-5	3.70	10.52	0.58	15.06	132.33	171.49
5	T-6	DE	47.35	DE	DE	595.68	DE
6	T-7	6.85	23.41	DE	27.87	294.54	DE
7	T-8	DE	18.65	DE	DE	234.62	DE
8	T-9	0.33	18.80	DE	1.35	236.51	DE
9	T-10	DE	9.18	0.68	DE	115.44	200.86
10	K-12	DE	4.23	1.41	DE	53.20	418.57

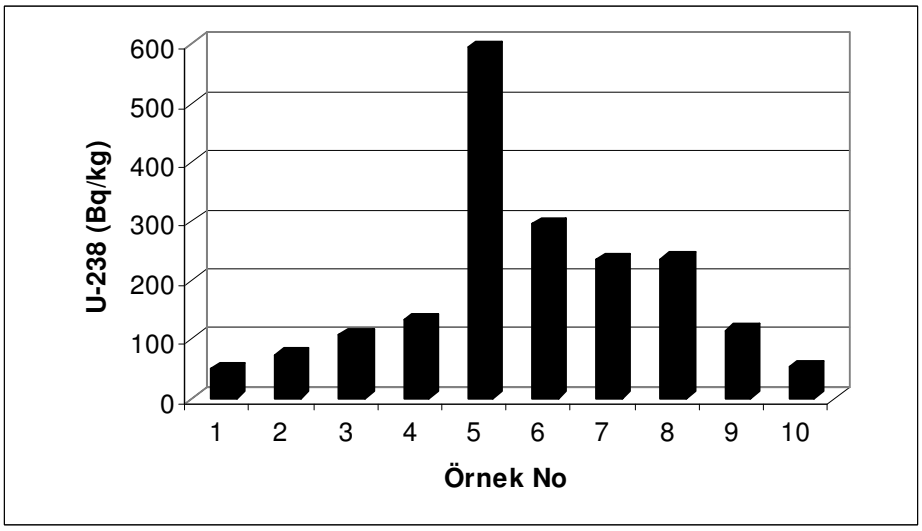
DE: dedekte edilemedi.

Seferihisar'dan alınan toprak örneklerinde K-40 aktivitesinin ölçülebilir değerleri %0,58-2,18 (171,49-645,38 Bq/kg) arasında bulunmuş ve bunların ortalaması da %1,1416 (337,6183 Bq/kg) olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi 1 nolu örnekte K-40 aktivitesi maksimum olurken 2 nolu örnekte minimumdur.



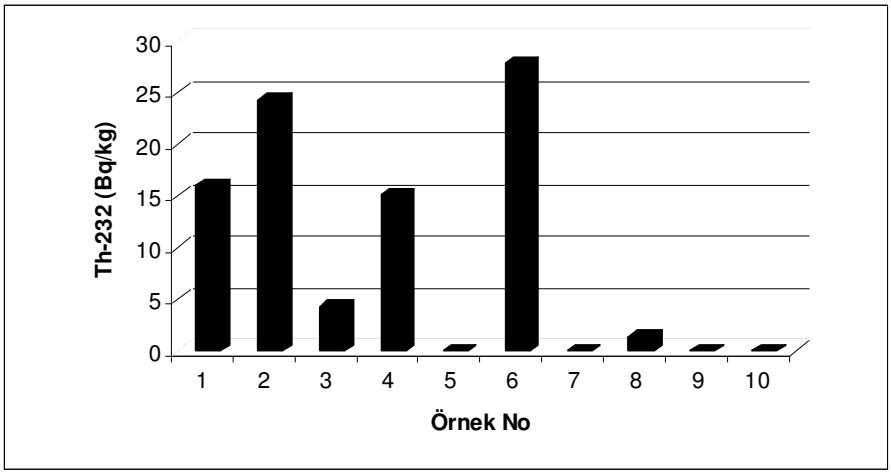
Şekil 6.1. Seferihisar toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu

Toprak örneklerindeki U-238 aktivitesi 3,91-47,35 ppm (49,23-595,68 Bq/kg) arasında ve ölçülebilir değerlerinin ortalaması da 15,05 ppm (189,33 Bq/kg) olarak hesaplandı. Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi 5 nolu örnekte U-238 aktivitesi maksimum olurken 1 nolu örnekte minimumdur.



Şekil 6.2. Seferihisar toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu

Toprak örneklerindeki Th-232 aktivitesi 0,33-6,85 ppm (1,35-27,87 Bq/kg) arasında ve ölçülebilir değerlerin ortalaması ise 3,635 ppm (14,796 Bq/kg) olarak hesaplandı. Şekil 6.3.'de görüldüğü gibi 6 nolu örnekte Th-232 maksimum olurken 8 nolu örnekte minimum değerdedir.



Şekil 6.3. Seferihisar toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu

Örneklerdeki K-40, U-238 ve Th-232 aktiviteleri Bq/kg olarak bulunduktan sonra Tablo 2.2.'deki dönüşüm faktörleri kullanılarak dış ortamda maruz kalınan doz hızları ve hava içinde absorbe edilen doz hızları hesaplandı.

K-40 için	337,618 Bq/kg×0,043	= 14,52 nGy/h
U-238 için	189,33 Bq/kg×0,427	= 80,85 nGy/h
Th-232 için	14,796 Bq/kg×0,662	=9,8 nGy/h
Toplam		105,17 nGy/h

İnsanların yıl boyunca maruz kaldıkları dozu

Etkin Doz Eşdeğeri (μSv) = absorbe edilen doz hızı (nGy/h) × 0,7 (Sv/Gy) × 8760 (saat/yıl) ×0,2 Dönüşüm faktörleri ile hesaplarsak;129 μSv olduğunu görürüz.

Sonuç olarak İzmir'in Seferihisar ilçesi başta olmak üzere beldelerden alınan toprak örnekleri ölçülerek yapılan çalışmada bölgenin karasal kaynaklı radyoaktivitesi incelenmiş ve bu termal suların bulunduğu bölgede insanların maruz kaldıkları doz hızı 129 μSv olarak hesaplanmıştır.

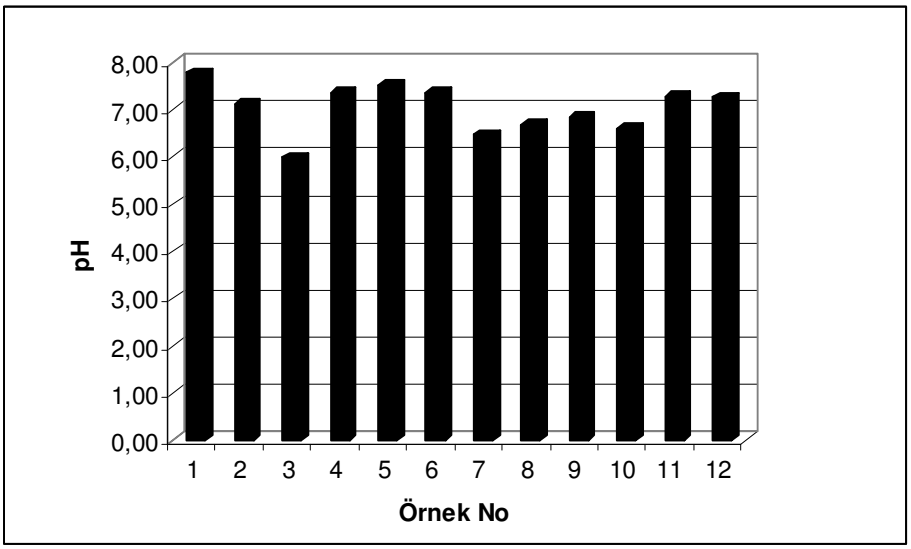
6.2. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Seferihisar'dan alınan 12 su örneği laboratuara getirilip öncelikle pH, iletkenlik ve elektriksel iletkenlik gibi özelliklerine bakılmıştır. Toplanmış olan kuyu suyu, termal su ve hidrafor suyunun bu özellikleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Seferihisar'dan Alınan 12 Su Örneğindeki Değerler

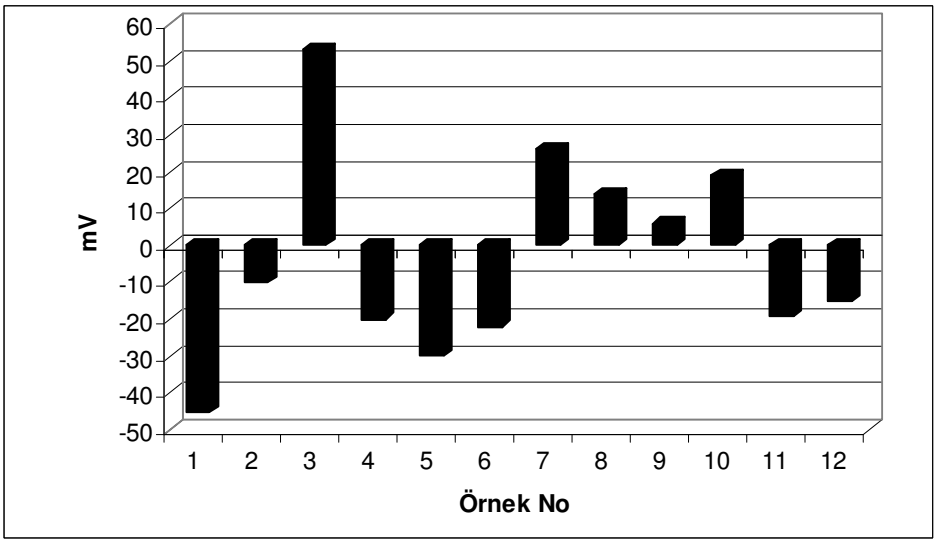
Örnek no	pH	İletkenlik	mV	Suyun türü
1	7.78	726 µS/cm	-45	Kuyu suyu
2	7.12	31.5 mS/cm	-10	Termal su
3	5.99	31 mS/cm	53	Termal su
4	7.35	208 µS/cm	-20	Kuyu suyu
5	7.51	7.86 mS/cm	-30	Termal su
6	7.35	7.91 mS/cm	-22	Termal su
7	6.46	8.27 mS/cm	26	Termal su
8	6.67	8.58 mS/cm	14	Termal su
9	6.83	8.29 mS/cm	6	Termal su
10	6.61	8.03 mS/cm	19	Termal su
11	7.28	892 µS/cm	-19	Hidrafor
12	7.25	223 µS/cm	-15	Kuyu suyu

Seferihisar'dan alınan çeşitli su örneklerinin pH değerleri 5,99-7,78 arasında ölçülmüştür. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi pH'ın en yüksek değeri 1 nolu örnekte en düşük değeri ise 3 nolu örnekte ölçülmüştür.



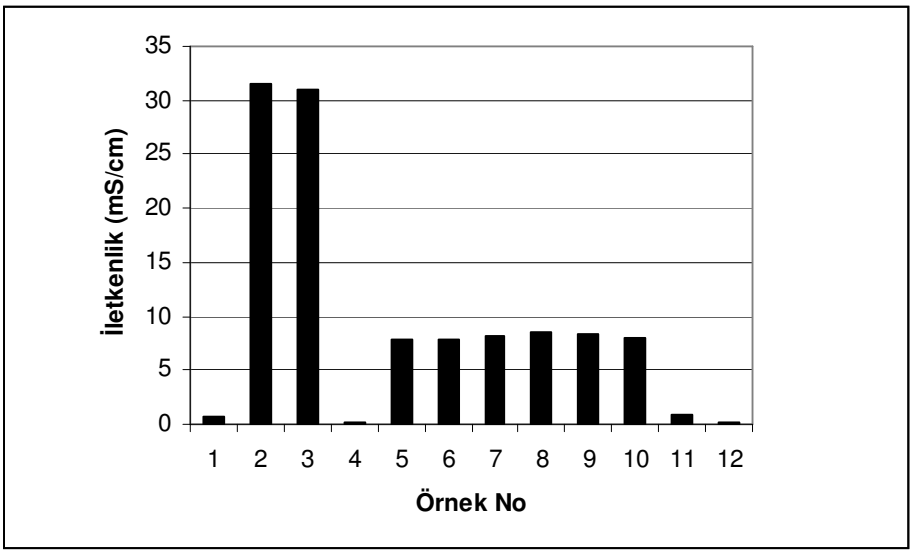
Şekil 6.4. Seferihisar'dan alınan su örneklerinin pH değerleri

Alınan su örneklerinin mV değerleri ise – 45-53 arasında ölçülmüştür. Şekil 6.5'de görüldüğü gibi mV'nin en yüksek değeri 3 nolu örnekte en düşük değeri ise 1 nolu örnekte bulunmuştur.



Şekil 6.5. Seferihisar'dan alınan su örneklerinin mV değerleri

Son olarak alınan su örneklerinin iletkenlikleri ölçülmüş ve bu iletkenlik değerleri 0.208-31.5 mS/cm arasında değerler almıştır. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi en yüksek iletkenlik değeri 2 nolu örnekte en düşük değeri ise 4 nolu örnekte ölçülmüştür.



Şekil 6.6. Seferihisar'dan alınan su örneklerinin iletkenlik değerleri

6.3. Su Örneklerinin ICP-OES İle Element Analiz Sonuçları

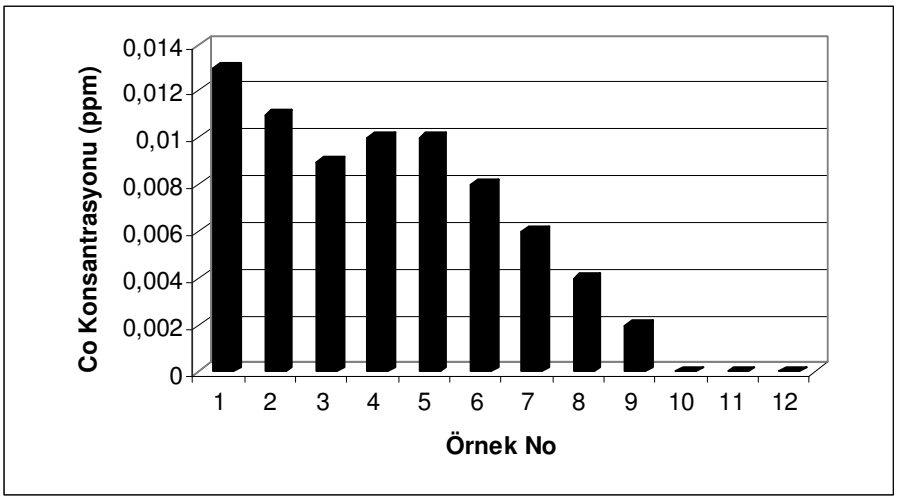
Seferihisar'dan alınan çeşitli 12 su örneği ICP-OES ile analiz edilmiştir. Tablo 6.3, 6.4., 6.5. 'de su örneklerindeki element analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.3. Su Örneklerinde ICP-OES İle Element Analizleri

	Co (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	B (ppm)	Ba (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppb)
1	0.013	DE	91.22	27.34	DE	0.005	DE	DE	0.415
2	0.011	30.50	200.0	54.79	0.003	0.230	0.387	DE	0.268
3	0.009	28.84	210.0	51.85	DE	0.209	0.367	DE	0.254
4	0.010	DE	12.36	2.09	0.185	0.006	0.016	DE	DE
5	0.010	10.64	189.0	31.74	0.044	0.128	0.110	DE	0.107
6	0.008	10.68	163.3	30.42	0.032	0.131	0.100	DE	0.070
7	0.006	10.80	167.3	26.82	0.011	0.119	0.091	DE	0.020
8	0.004	11.27	153.7	28.25	0.023	0.130	0.081	DE	0.024
9	0.002	11.43	169.0	26.96	DE	0.137	0.079	DE	0.046
10	DE	9.986	162.4	21.09	0.073	0.182	0.061	DE	0.100
11	DE	0.266	92.67	7.459	DE	0.031	0.009	DE	0.406
12	DE	0.109	8.223	0.747	0.074	0.022	DE	DE	DE

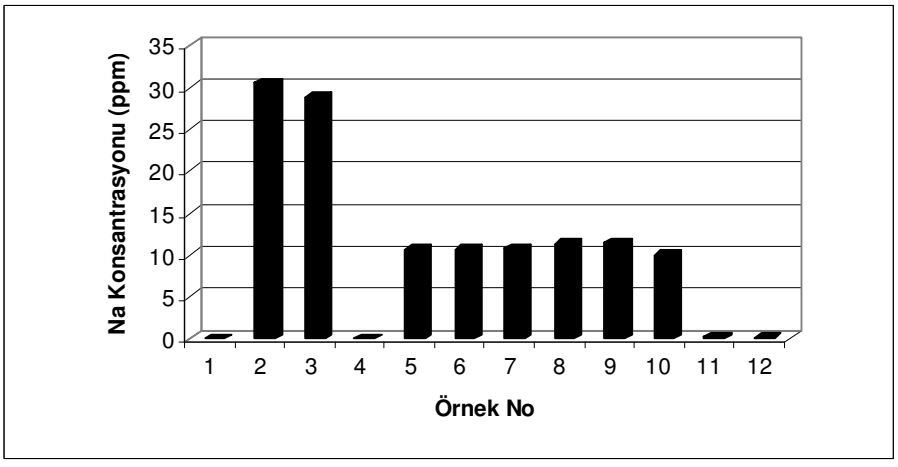
DE: Dedekte edilemedi.

Şekil 6.7.'de görüldüğü gibi alınan su örneklerindeki Co elementinin analiz sonucuna göre 10, 11 ve 12 nolu örnekte Co elementi dedekte edilememiştir. Diğer örneklerde ise Co elementi 0.013-0.002 ppm arasında bulunmuştur. En yüksek değer 1 nolu örnekte en düşük ise 9 nolu örnekte analiz edilmiştir.



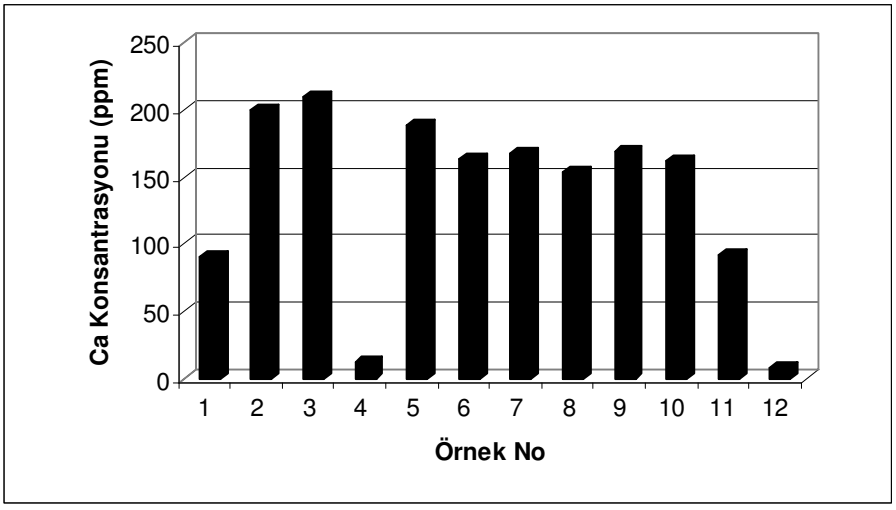
Şekil 6.7. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Co Elementi Konsantrasyonu

Şekil 6.8.'de görüldüğü gibi su örneklerindeki Na konsantrasyonu 1 ve 4 nolu örneklerde dedekte edilememiş ancak diğerlerinde ise 30.50-0.109 ppm arasında ölçülmüştür. En yüksek değer 2 nolu örnekte en düşük ise 12 nolu örnekte analiz edilmiştir.



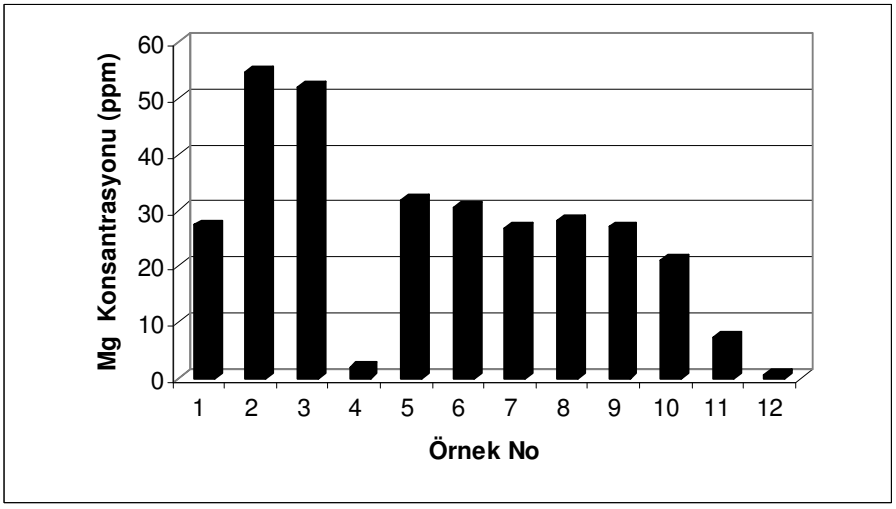
Şekil 6.8. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Na Elementi Konsantrasyonu

Şekil 6.9.'da gibi Ca element analiz sonuçları görülmektedir. Örneklerdeki Ca elementi 210.0-8.223 ppm arasında değerler almış ve en yüksek değerin 3 nolu örnekte en düşük değerin ise 12 nolu örnekte olduğu analiz edilmiştir.



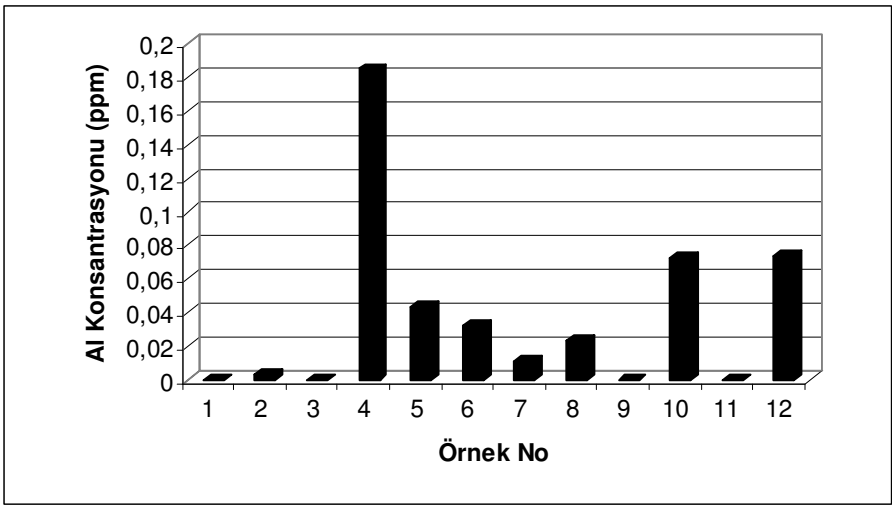
Şekil 6.9. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Ca Elementi Konsantrasyonu

Su örneklerinde analiz edilen Mg element konsantrasyonu ise Şekil 6.10.'da görülmektedir. Mg elementi 54.79-0.747 ppm arasında değerler almıştır. Ölçülen en yüksek değer 2 nolu örnekte en düşük değer ise 12 nolu örnekte analiz sonucunda bulunmuştur.



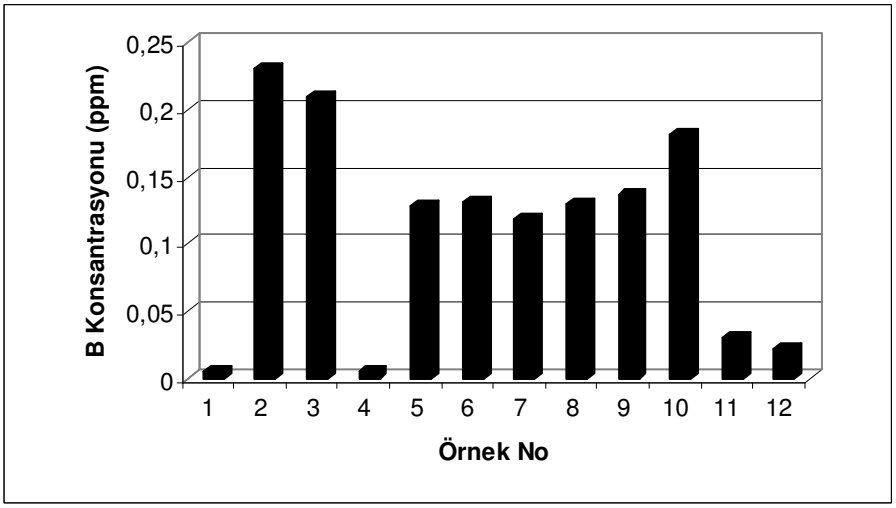
Şekil 6.10. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Mg Elementi Konsantrasyonu

Şekil 6.11.'de su örneklerinde ki Al element analizinin sonuç grafiği görülmektedir. Buna göre 1, 3, 9 ve 11 nolu örneklerde Al elementi dedekte edilememiştir. Diğer örneklerde ise 0.185-0.003 ppm arasında değerler almıştır. En yüksek değeri 4 nolu örnekte en düşük değerin ise 2 nolu örnekte olduğu bulunmuştur.



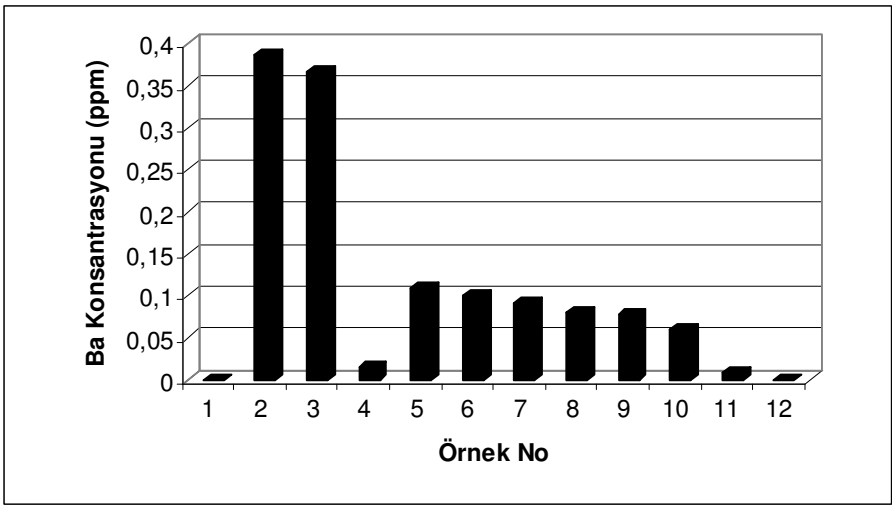
Şekil 6.11. Seferihisar'dan alınan su örneklerinde Al elementi konsantrasyonu

Alınan su örneklerinde ki B elementi konsantrasyon analiz sonucu şekil 6.12.'da görülmektedir. B elementi 0.005-0.230 ppm arasında değerler almıştır. En yüksek değerini 2 nolu örnekte en düşük değerini ise 1 nolu örnekte görmekteyiz.



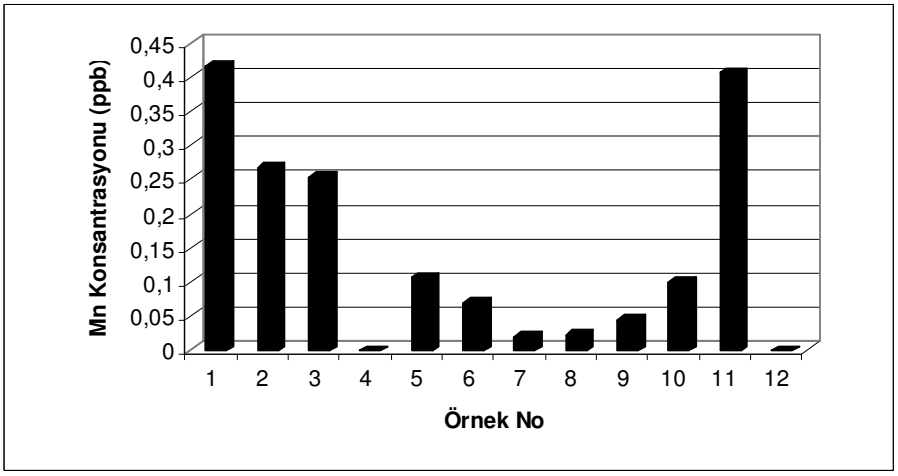
Şekil 6.12. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde B Elementi Konsantrasyonu

Şekil 6.13.'de su örneklerinin analizi sonucu bulunan Ba elementinin değerleri görülmektedir. 1 ve 12 nolu örnekte Ba elementi dedekte edilememiştir. Diğer örneklerde ise 0.387-0.009 ppm arasında değerler almıştır. En yüksek değer 2 nolu örnekte en düşük değer ise 11 nolu örnekte analiz sonucunda bulunmuştur.



Şekil 6.13. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Ba Elementi Konsantrasyonu

Şekil 6.14.'de su örneklerinde bulunan Mn elementi konsantrasyon sonuçları görülmektedir. 4 ve 12 nolu örnekte Mn elementi dedekte edilememiştir. Diğer örneklerde ise 0.020-0.415 ppb arasında değerler almıştır.En yüksek değer 1 nolu örnekte en düşük değer ise 7 nolu örnekte görülmektedir.



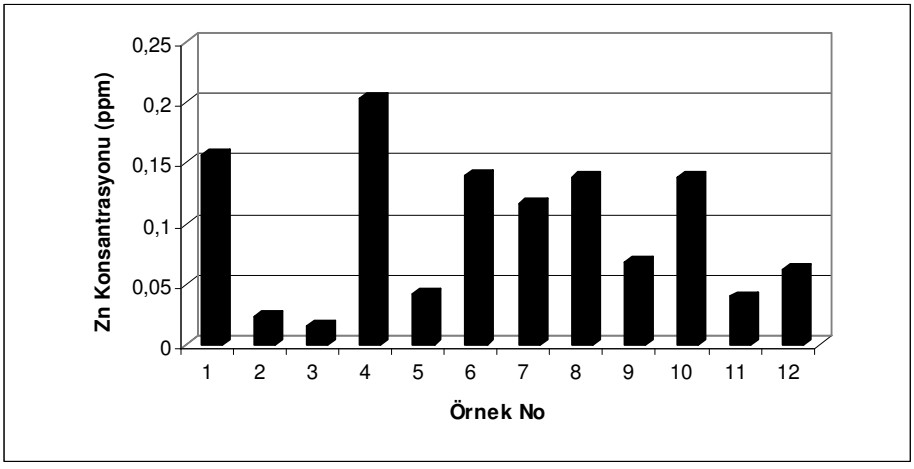
Şekil 6.14. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Mn Elementi Konsantrasyonu

Tablo 6.4. Su Örneklerinde ICP-OES İle Element Analizleri

	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppb)	Cd (ppm)	Sn (ppm)	K (ppm)	Ti (ppb)	Fe (ppm)
1	DE	0.157	DE	DE	DE	0.022	DE	0.032
2	DE	0.024	0.280	DE	DE	5.509	DE	2.637
3	DE	0.016	0.001	0.003	DE	5.438	DE	13.45
4	DE	0.203	DE	DE	DE	0.054	1.813	0.084
5	DE	0.042	DE	DE	DE	1.504	0.031	0.429
6	DE	0.139	DE	DE	DE	1.495	0.459	0.275
7	DE	0.117	DE	DE	DE	1.576	0.031	0.052
8	DE	0.138	DE	DE	DE	1.597	0.013	0.262
9	DE	0.069	DE	DE	DE	1.542	DE	0.020
10	DE	0.138	DE	DE	DE	1.499	5.519	0.836
11	DE	0.040	DE	DE	DE	0.046	0.233	0.070
12	DE	0.062	DE	DE	DE	0.033	DE	0.021

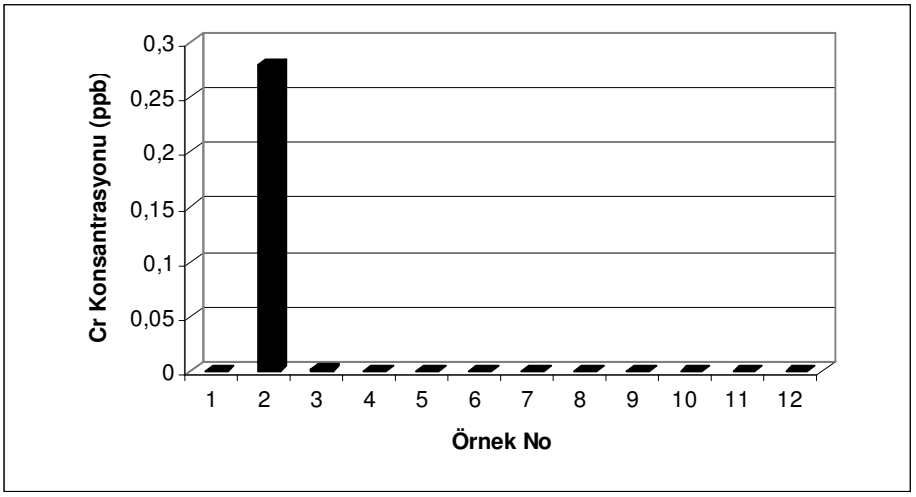
DE: Dedekte edilemedi.

Şekil 6.15.'de analiz edilen örneklerde bulunan Zn elementinin değerleri görülmektedir. Örneklerde Zn elementi 0.016-0.203 ppm arasında değerler almıştır. En yüksek değer 4 nolu örnekte en düşük değer ise 3 nolu örnekte bulunmuştur.



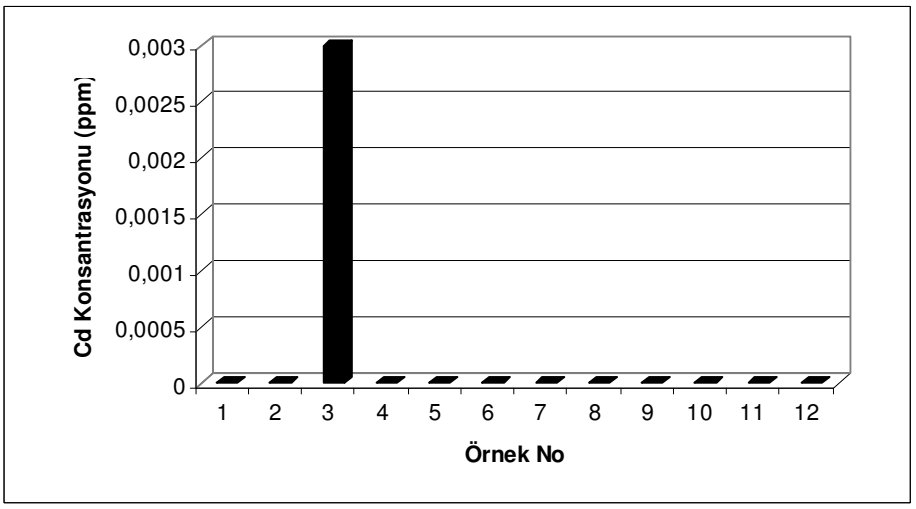
Şekil 6.15. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Zn Elementi Konsantrasyonu

Alınan su örneklerinin analizi sonucunda bulunan Cr elementi sadece 2 ve 3 nolu örneklerde dedekte edilebilmiştir. Şekil 6.16.'da görüldüğü gibi düşük değer 3 nolu örnekte 0.001 ppb, yüksek değer ise 2 nolu örnekte 0,280 ppb olarak ölçülmüştür.



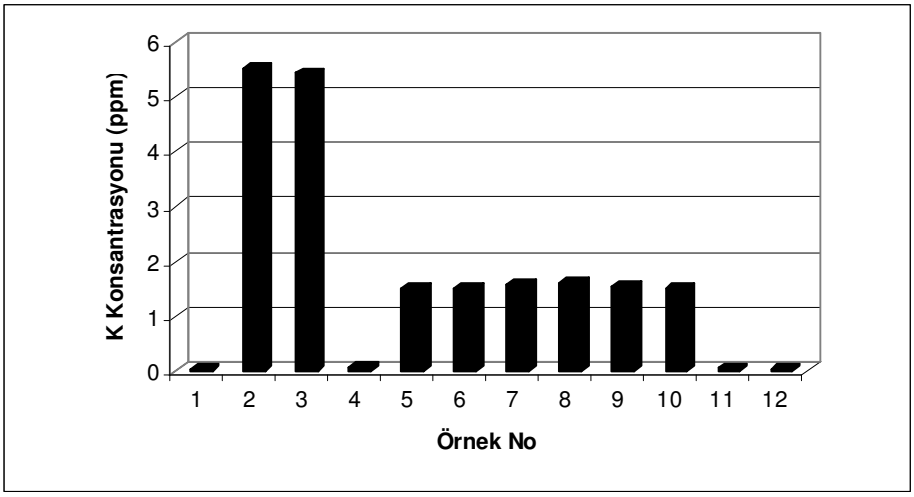
Şekil 6.16. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Cr Elementi Konsantrasyonu

Analiz sonucunda Cd elementi sadece 3 nolu örnekte dedekte edilebilmiştir. Şekil 6.17'de görüldüğü gibi bu Cr elementinin 3 nolu örnekte bulunan değeri 0.003 ppm'dir.



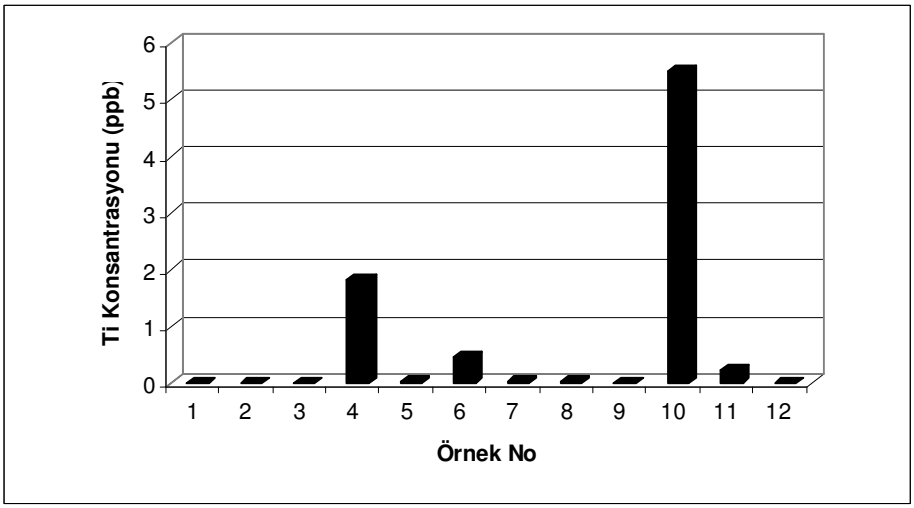
Şekil 6.17. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Cd Elementi Konsantrasyonu

Alınan su örneklerinin analizi sonucunda bulunan K elementi 0.022-5.509 ppm arasında değerler almıştır. Şekil 6.18.'de görüldüğü gibi en yüksek değer 2 nolu örnekte, en düşük değer ise 1 nolu örnekte bulunmuştur.



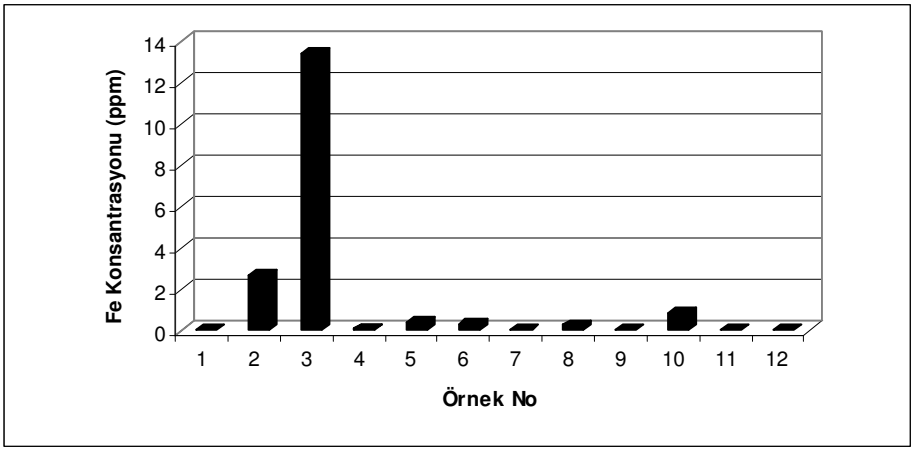
Şekil 6.18. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde K Elementi Konsantrasyonu

Analiz sonucunda bulunan Ti elementi 0.013-5.519 ppb arasında değerler almıştır. Ancak 1, 2, 3, 9 ve 12 nolu örneklerde Ti elementi dedekte edilememiştir. Şekil 6.19.'da görüldüğü gibi en yüksek değer 10 nolu örnekte, en düşük değer ise 8 nolu örnekte analiz edilmiştir.



Şekil 6.19. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Ti Elementi Konsantrasyonu

Analiz sonucunda örnek sularda bulunan Fe elementinin değerleri ise 0.020-13.45 ppm arasında bulunmuştur. Şekil 6.20.'de görüldüğü gibi en yüksek değer 3 nolu örnekte, en düşük değer ise 9 nolu örnekte ölçülmüştür.



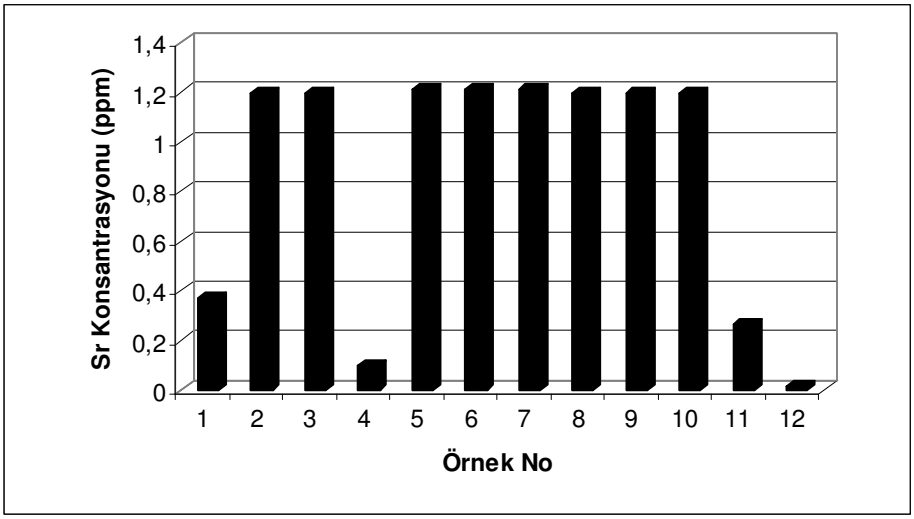
Şekil 6.20. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Fe Elementi Konsantrasyonu

Tablo 6.5. Su Örneklerinde ICP-OES İle Element Analizleri

	Sr (ppm)	**Sb (ppm)**	**Si (ppm)**	**Pb (ppm)**	**Bi (ppm)**	**U (ppb)**	**La (ppm)**	**Zr (ppm)**
1	0.367	0.001	0.022	DE	0.016	0.003	DE	0.001
2	1.20	0.001	4.165	DE	0.019	DE	DE	DE
3	1.20	0.009	46.10	DE	0.019	DE	DE	0.002
4	0.098	0.005	20.07	DE	0.021	0.001	DE	DE
5	1.21	0.032	20.87	DE	0.016	DE	DE	DE
6	1.21	0.028	18.92	DE	0.012	DE	DE	DE
7	1.21	0.020	19.68	DE	0.012	DE	DE	DE
8	1.20	0.019	18.37	DE	0.011	DE	DE	DE
9	1.20	0.019	16.92	DE	0.008	DE	DE	DE
10	1.20	0.018	16.26	DE	0.012	DE	DE	DE
11	0.262	0.0001	3.535	DE	0.009	DE	DE	DE
12	0.016	DE	23.03	DE	0.011	0.006	DE	DE

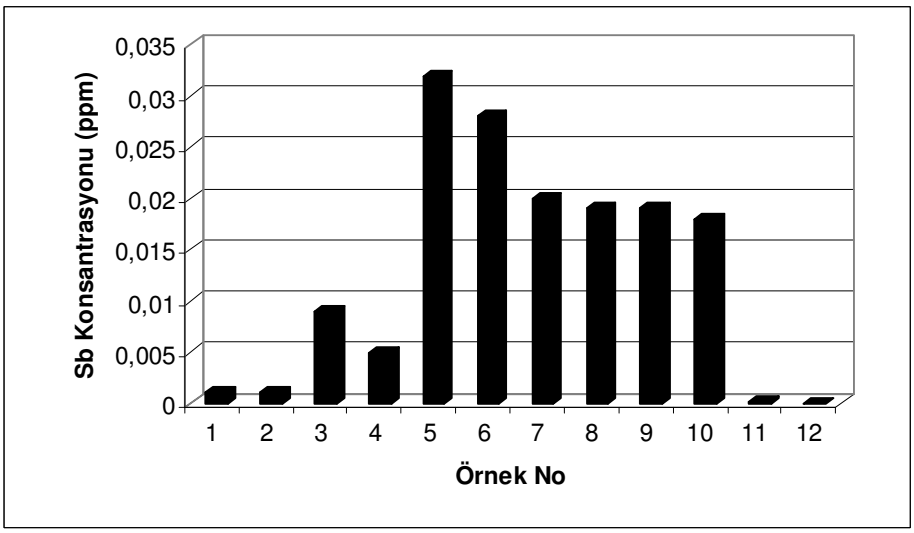
DE: dedekte edilemedi.

Örneklerin analizi sonucunda bulunan Sr elementi 0.016-1.21 ppm arasında değerler almıştır. Şekil 6.21.'de görüldüğü gibi en yüksek değer 5, 6 ve 7 nolu örneklerde, en düşük değer ise 12 nolu örnekte bulunmuştur.



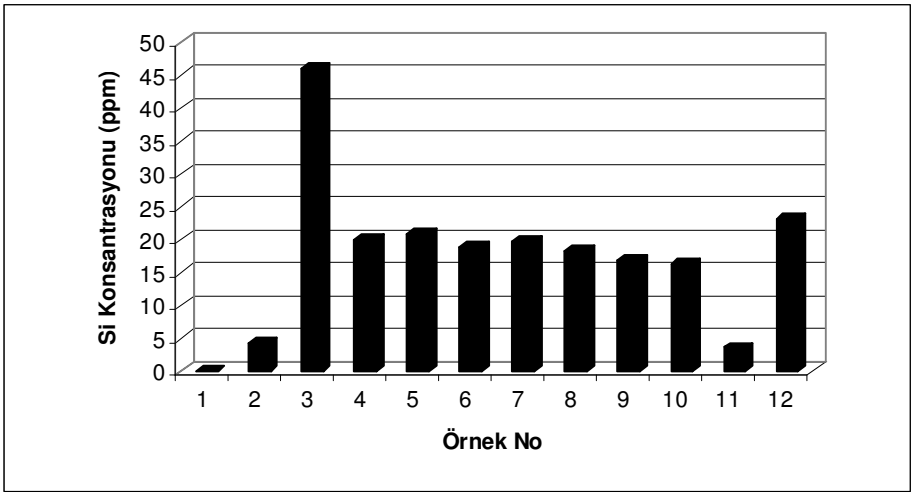
Şekil 6.21. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Sr Elementi Konsantrasyonu

Örneklerin analizi sonucunda bulunan Sb elementi 0.0001-0.032 ppm arasıda değerler almıştır. Şekil 6.22.'da görüldüğü gibi en yüksek değer 5 nolu örnekte, en düşük değer ise 11 nolu örnekte bulunmuştur. 12 nolu örnekte Sb elementi dedekte edilememiştir.



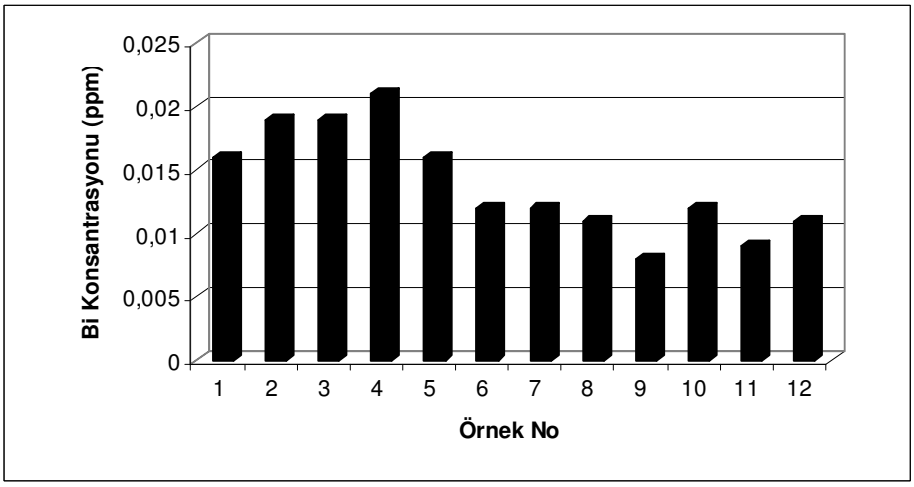
Şekil 6.22. Seferihisar'dan alınan su örneklerinde Sb elementi konsantrasyonu

Analiz sonucunda bulunan Si elementi 0.022-46.10 ppm arasında değerler almıştır. Şekil 6.23.'de de görüldüğü gibi en yüksek değeri 3 nolu örnekte, en düşük değeri ise 1 nolu örnekte bulunmuştur.



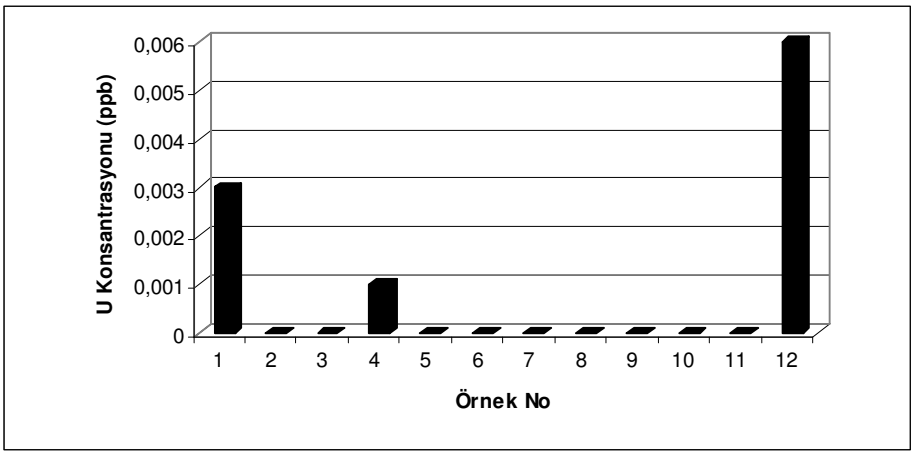
Şekil 6.23. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Si Elementi Konsantrasyonu

Analiz sonucunda bulunan Bi elementinin değerleri 0.008-0.021 ppm arasındadır. Şekil 6.24.'de görüldüğü gibi en yüksek değer 4 nolu örnekte, en düşük değer ise 9 nolu örnekte analiz edilmiştir.



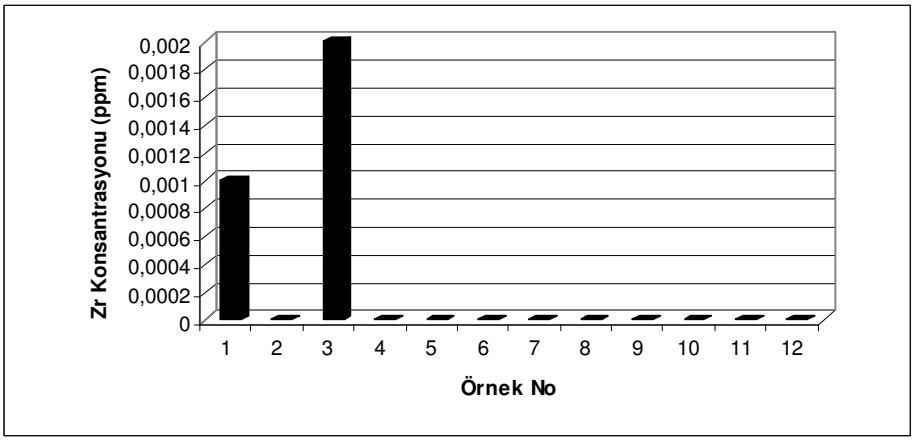
Şekil 6.24. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Bi Elementi Konsantrasyonu

Örneklerin analizi sonucunda U elementi sadece 1, 4 ve 12 nolu örneklerde dedekte edilebilmiştir. Bu örneklerde ise 0.001-0.006ppb arasında değerler almıştır. Şekil 6.25.'de görüldüğü gibi en yüksek değer 12 nolu örnekte, en düşük değer ise 4 nolu örnekte görülmektedir.



Şekil 6.25. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde U Elementi Konsantrasyonu

Analiz sonucunda Zr elementi Şekil 6.26.'da da görüldüğü gibi sadece 1 ve 3 nolu örneklerde dedekte edilebilmiştir. Zr elementi, 1 nolu örnekte 0.001 ppm, 3 nolu örnekte 0.002 ppm değerlerini almıştır.



Şekil 6.26. Seferihisar'dan Alınan Su Örneklerinde Zr Elementi Konsantrasyonu

6.4. Sulardaki Uranyumdan Kaynaklanan Kanser Risk Seviyesi Hesaplamaları

Uranyum için kanser risk seviyesi [31], ICP-OES ile bulunan uranyumun maksimum ve minimum konsantrasyonları kullanılarak hesaplandığında Tablo 6.6'daki sonuçlar elde edildi.

Tablo 6.6. Uranyumdan Kaynaklanan Kanser Riski

Uranyum Konsantrasyonu (ppb)	Risk *
0,001	10^{-6}
0,006	10^{-5}

***** Kanser Riski Hesaplamaları aşağıdaki formülden yapılmıştır.

Kanser risk değeri = yeraltısuyunda uranyum konsantrasyonu (Bq/L) x risk faktörü ($6,07x10^{-5}$Bq/L başına)

Burada;

yer altı suyundaki uranyum konsantrasyonu (Bq/L) = ölçülen değer (µg/L) x dönüşme faktörü (0,67pCiµg/L) x dönüşme faktörü (27 pCi/Bq)

risk faktörü (Bq/L başına) = risk katsayısı ($4.40x10^{-11}$ pCi başına) x vücuda alınan su oranı (1,31/gün) x alınan toplam süre (27,740 gün) x dönüşüm faktörü (27 pCi/Bq)

Kore'de yapılan çalışma sonucunda kanser risk seviyesi maksimum 10^{-7} bulunmuştur. Bu sonuç maksimum kabul edilebilir değer olan 10^{-3} değerinden [31] ve Tablo 6.6.'da bulduğumuz değerlerden daha düşüktür.

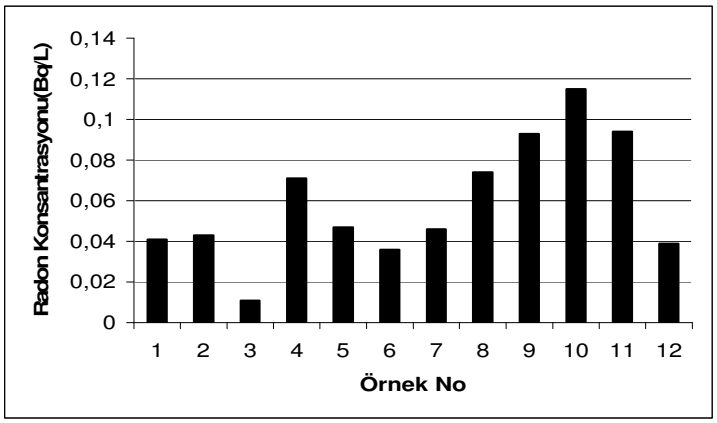
6.5. Su Örneklerinin Radon Ölçüm Sonuçları

12 adet su örneğinde CR-39 ile radon konsantrasyonu tayini yapılmıştır. Elde edilen radon konsantrasyonu Tablo 6.7'de verilmektedir.

Tablo 6.7. Sularda CR-39'la Bulunan Radon Konsantrasyonları

Örnek No	Radon Konsantrasyonu (Bq/L)
1	0.041
2	0.043
3	0.011
4	0.071
5	0.047
6	0.036
7	0.046
8	0.074
9	0.093
10	0.115
11	0.094
12	0.039

Bu sonuçlara göre su örneklerindeki radon konsantrasyonu 0.011-0.115 Bq/L arasında değerler almıştır. Su örneklerinde ki radon konsantrasyon dağılımları Şekil 6.27'de görülmektedir. Buna göre radonun maksimum değeri 10 nolu örnekte, minimum değer ise 3 nolu örnekte bulunmuştur.



Şekil 6.27. Sularda Radon Konsantrasyonu Dağılımları

7. SONUÇ

İzmir-Seferihisar bölgesinden 8 termal su, 3 kuyu suyu ve 1 tanede hidrafor su örneği, toplanan suların çevresinden ise 10 tane toprak örneği alınmıştır. Su örneklerinde ICP ile element analizi ve CR-39 ile radon ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca suların pH, iletkenlik ve mV gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakılmıştır. Toprak örneklerinde ise gama spektrometresiyle K-40, Th-232 ve U-238 aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir.

Topraktaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları sırasıyla K-1, T-6 ve T-7 istasyonlarında bulunurken, en düşük K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla T-5, K-1 ve T-9 istasyonlarında bulunmuştur. Bazı istasyonlarda ise K-40 ve Th-232 dedekte edilememiştir.

Bu toprak örneklerindeki U-238, K-40 ve Th-232 'den kaynaklanan doz hesaplamaları yapılmış ve sonuçta 129 µSv olarak tayin edilmiştir. Bu değerde dünya ortalaması olarak kabul edilen 70 µSv değerinin üzerinde bulunmuştur.

A.B.D.'de (EPA) kullanım suları için kabul edilebilir maksimum U-238 konsantrasyonu 30 µg/l, Kanada da ise maksimum kabul edilebilir seviye 20 µg/l kabul edilirken, Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) tavsiye edilebilir uranyum seviyesini 2 µg/l olarak vermektedir [31]. Görüldüğü üzere ülkelere göre kabul edilebilir düzeyler ülke şartlarına göre değişmektedir.

Çalışmamızda 1, 4 ve 12 nolu su örneklerinde uranyum ölçülebilmiştir. Ölçülen değerler 0.001-0.006 ppb arasında bulunmuştur. EPA'nın vermiş olduğu sonucu göz önünde bulundurduğumuzda değerler kabul edilebilir maksimum değerin altında bulunmuştur. Ayrıca su örneklerinde Cu, Ni, Sn, Pb ve La elementleri dedekte edilememiştir.

Bulduğumuz bu uranyum değerlerinden kanser riskini hesapladığımızda Tablo 6.6'daki gibi kabul edilebilir 10^{-3} değerinden daha düşük değerler elde ettik.

Sularda pH'ın maksimum değeri 1, minimum değeri 3 nolu örnekte; iletkenliğin maksimum değeri 3, minimum değeri 4 nolu örnekte ve mV'nin maksimum değeri 3, minimum değeri ise 1 nolu örnekte ölçülmüştür.

Sularda CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile yapılan radon konsantrasyonu tayinlerinde 0.011-0.115 Bq/L değerleri elde edilmiştir.

7.1. Öneriler

Bir doktora çalışmasıyla bölge daha geniş tutulup, karelaj yöntemi kullanılarak yerel yapısal karakterlerine bağlı disiplinler arası bir çalışma ile bölgesel kanser araştırmaları yapılarak Ege Bölgesi'nde ki diğer termal alanları içine alan kanser risk haritaları oluşturulabilir.

8. KAYNAKLAR

(1) Işık,Y., 2002, Küçük menderes havzasında doğal radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi ve doz dağılımının hesaplanması, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

(2) Karunakara,N.; Somashekarappa,H.M.; Avadhani,D.N.; Mahesh,H.M.; Narayana,Y.; Siddappa,K., 2001, Radium-226, ^{232}Th And ^{40}K distribution in the environment of kaiga of south west coast of India'',Health Physics,Vol 80 ; 470-476.

(3) Brai,M.;Basile,S.;Bellia,S.;Hauser,S.;Puccio,P.;Rizzo,S.;Bartolotta,A.;Licciardello,A., 2002, Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian ıslands), *Applied Radiation and Isotopes, Vol. 57; 99-107*

(4) Yeboah,J.;Boadu,M.;Darko,E.O., 2001,Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry,Vol 249; 629-632.

(5) Singh,S.; Singh,B.;Kumar,A., 2003, Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India, Radiation Measurements,Vol 36; 547-549.

(6) Saravanan,S.; Jodha,A.S.; Gopalani,D.; Bhatti,S.S.;Kumar,S.,2003, Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India, Radiation Measurements, Vol 36; 397-389.

(7) Fasasi, M.K.; Oyawale, A.A.; Mokobia, C.E.; Tehokossa, P.; Ajayi,T.R.; Balogun,F.A.,2003, Natural radioactivity of the tar-sand deposits of Ondo State, Southwersten Nigeria, Nuclear ınstruments & Methods in Physics Research, Vol. 505; 449-453.

(8) Malczewski,D.; Teper,L.; Dorda,J., 2004, Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity, Volume 73, Issue 3, 2004; 233-245*

(9) Karakelle,B.; Öztürk,N.; Köse,A.; Varinlioğlu,A.; Erkol,A.Y.;Yılmaz,F., 2002, Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey, Journal Of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 254 ; 649-651.

(10) Karahan, G.; Bayulken,A., 2000, Assessment Of Gamma Dose Rates Around Istanbul, Journal Of Environmental Radioactivity, Vol 47; 213-221.

(11) Gür, F., 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

(12) Sujo L.C., Cabrera M.E.M., Villalba L.,Villalobas M.R., Moye E.T., Leon M.G., Garcia-Tenorio R., Garcia F. M., Peraza E.F.H., Aroche D.S.(2004). Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil , radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama , Chihuahua ,Mexico . Journal of Environmental Radioactivity 77;205-219

(13) S.Pac. J. Nat. Sci., (2002), Distribution of K^{40}, Th^{232} and U^{238} in Soils of Southern and Western Coasts of Viti Levu, Fiji.Sitaram Garimella and Umawatti Prasad Vol. 20 ; 9-14.

(14) Ereeş F.S., Aytaş Ş., Küçüktaş E.,Yener G.,Noyan Ö.F.(2001). Gediz Havzasındaki Yer Altı Sularının Gross-Alfa Aktivitesinin Ra-Ba Çöktürme Yöntemiyle Ölçülmesi; Yer altı Suları ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa: 461-465.

(15) Saç M.M.,Ereeş F.S. (2001). İzmir-Seferihisar Bölgesindeki Termal Sularda Rn-222 ve Ra-226 Konsantrasyonlarının Belirlenmesi; Yer altı Suları ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa: 467-472.

(16) Marques A.L., dos Santos W., Geraldo L.P.,(2004). Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. Applied Radiation and Isotopes 60;801-804.

(17) Sagan S.A., Kullab M.K., Ismail A.M.,(2001).Radionuclides İn Hot Mineral Spring Waters İn Jordan.Journal Of Environmental Radioactivity. ; 52; 99-107.

(18) Azovazi M. , Quahidi Y. , Fakhi S., Andres Y. , Abbe J. Ch. ,Benmansour M. (2001). Natural radioactivity in phosphates ,phosphogypsum and natural waters in Morocco .Journal of Environmental Radioavtivity 54;231-242

(19) Unsworth E.R., Cook J.M., Hill S.J., (2001).Determination of Uranium and Thorium in Natural Waters With a High Matrix Concentration Using Solid-Phase Extraction İnductively Coupled Plasma Mass Spectrometry.Analytica Chimica Act 442; 141-146

(20) Hakam D. K. , Choukri A., Reyss J. L. , Lferde M. (2001). Determination and comparison of uranium and radium isotopes activities and activity ratios in samples from some natural water sources in Morocco.Journal of Environmental Radioactivity 57;175-189

(21) Hakonson-Hayes A.C.,Fresquez P.R., Whicher F.W. ,(2002). Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well waters. Journal of Environmental Radioactivity 59;29-40

(22) Oshita K.,Oshima M.,Gao Y.,Kyve-Hyung Lee ,Motomizu S.,(2003). Synthesis of novel chitosan resin derivatized with serine moiety for the column collection/concentration of uranium and the determination of uranium by ICP-MS.Analytica Chimica Acta 480;239-249

(23) Almeida R.M.R., Lauria D.C., Ferreira A.C., Sracek O.,(2004). Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil. Journal of Environmental Radioactivity 73;323-334

(24) Salih I. Mattias Backstrom M., Karlsson S., Lund E., Pettersson H.B.L., (2004). İmpact of Fluoride and Other Aquatic Parameters on Radon Concentration in Natural Waters. Aplplied Radiation and İsotopes 60; 99-104.

(25) Kobal I., Kristian J., Ancik M.,Jerancic S.,Skofljanec M.,(1979). Radioactivity of Thermal and Mineral Springs in Slovenia .Health Physics, Vol.37; 239-242.

(26) Çam, S. “Saruhanlı ve Çevre Yerleşim alanlarından alınan topraklardaki doğal radyoaktivite tayini ”C.B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Fizik Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2004

(27) http//www.taek.com.tr

(28) Çam S., Barış C., Özsoylu F.B., Ereeş F.S., (2004).Radon, Doğal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı. Biyoenerji 2004 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa:294-301.

(29) UNSCEAR Report 1977,1982,1988 Sources, Effects and risks of ionizing radiation

(30) Ereeş F.S.,(1999).Sulardaki Radyoaktiviteden Kaynaklanan Sağlık Riski; İzmir Su Kongresi Bildiriler Kitabı, sayfa: 85-92.

(31) Kim Y.S., Park H.S., Kim J.Y., Park S.K., Cho B.W., Sung I.H., Shin D.C.,(2004).Health Risk Assessment for Uranium in Korean Groundwater.Journal of Environmental Radioactivity (in pres).

(32) Bijan-Aminhejad (1986).Karakoç Cumalı ve Doğanbey (Seferihisar-İzmir) Kaplıca Sularının Hidrojeolojik Yönden İncelenmesi; Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Jeoloji Müh.

(33) Altıntaş Ö., Cumalı-Karakoç-Doğanbey (Seferihisar) ve Çevresinin Hidrojeolojisi (2003), Bitirme Projesi, DEÜ Jeoloji Müh.

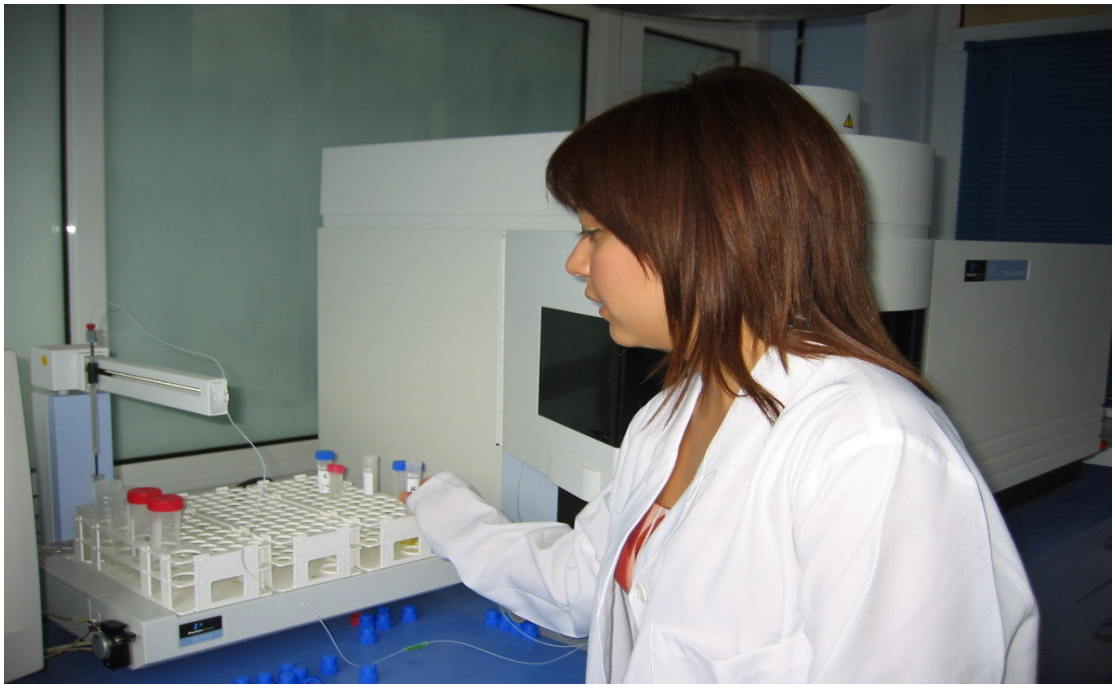
(34) Aközcan. S. Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES Ve Gama Spektrometresi İle Element Analizleri CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2002.

(35) Henden E., Gökçel H.İ., Ertaş F.N., (2001).Eser Analiz,E.Ü. Fen Fakültesi Kimya Bölümü yaz okulu ders notları.25-29 Haziran 2001., İzmir.

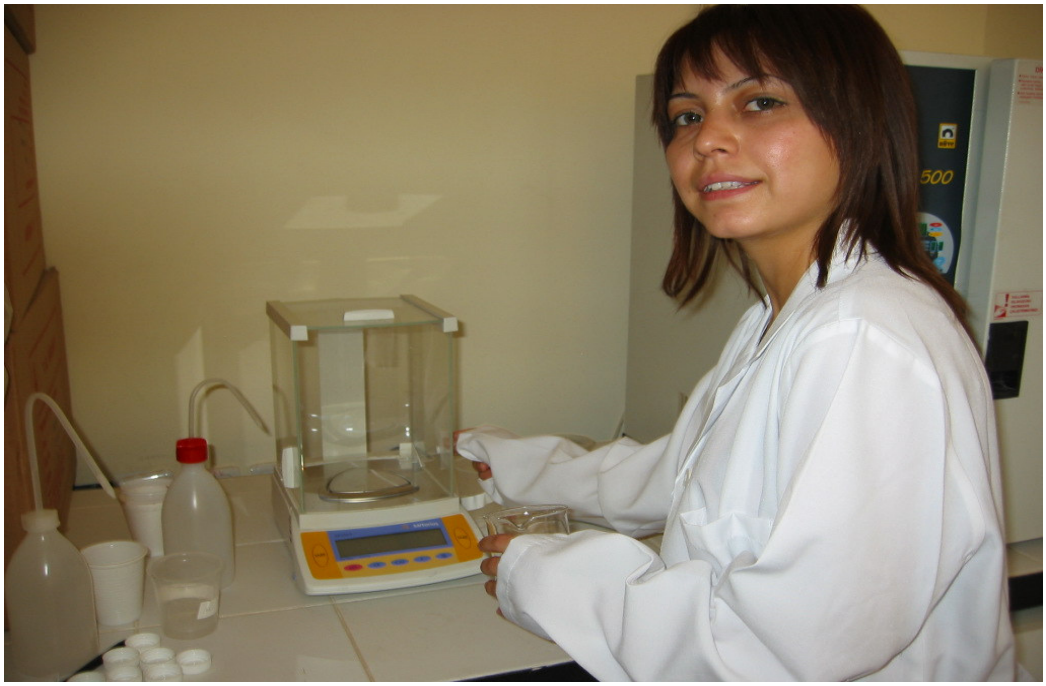
Ekler

Toprak örnekleri hassas tartıda 100 gram ölçülüp, 43 gün kapalı kapta bekletildi.

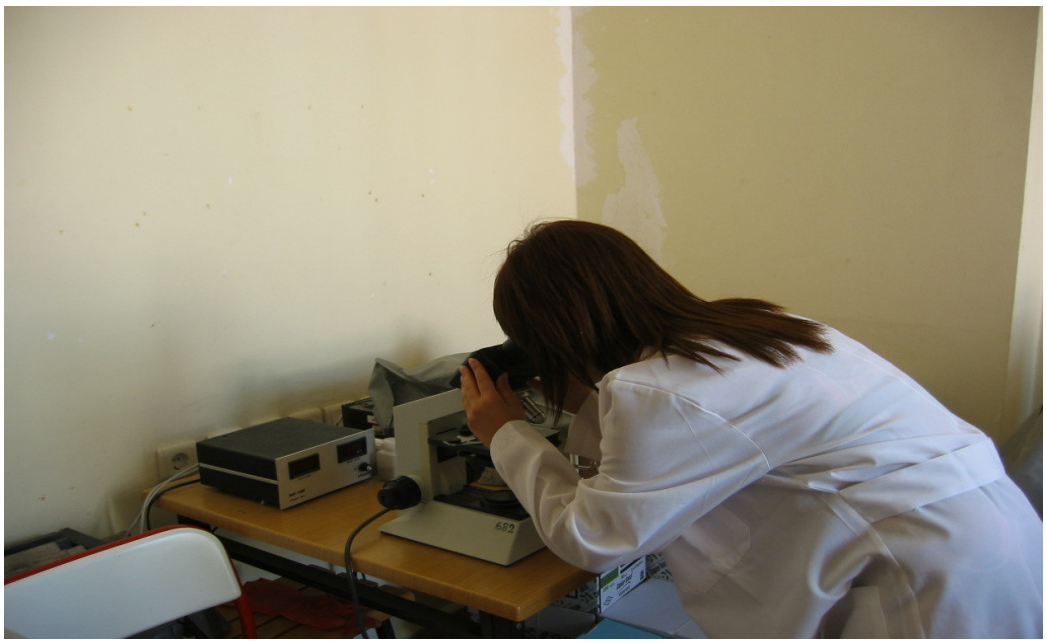
Su örnekleri ise özel olarak hazırlanmış plastik şişelerde 1 ay bekletilmiştir.



Element analizleri ICP-OES sistemi ile yapıldı.



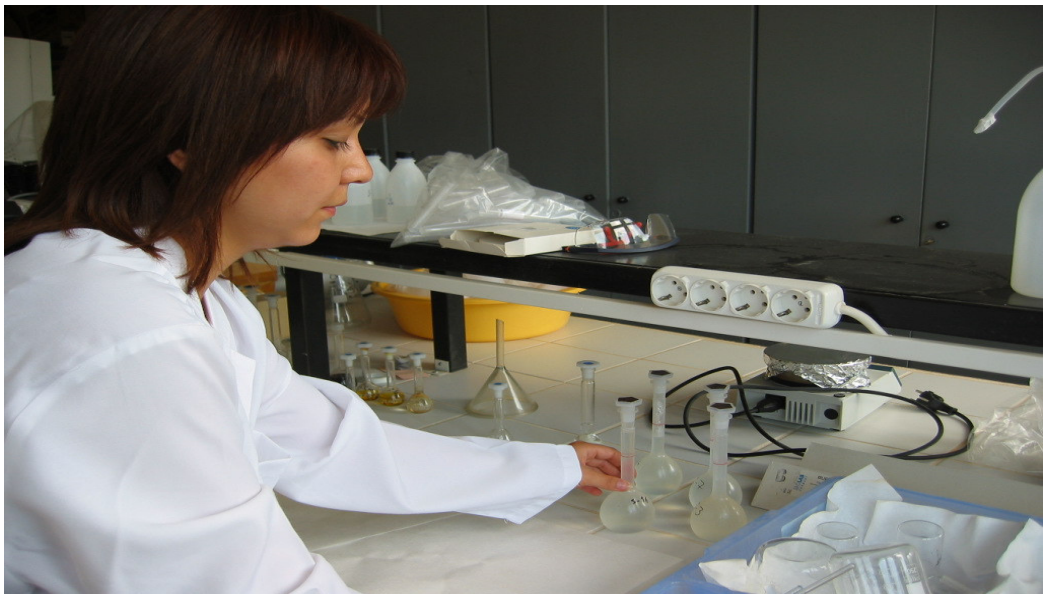
CR-39'lar 70 ^{0}C'de %30 NaOH çözeltisinde 17 saat süreyle banyo yapıldı.



CR-39 filmlerindeki radon izleri mikroskopla sayıldı.

CR-39 polikarbonat filimleri resimdeki gibi 1x1 cm boyutundadır.

Toprak örnekleri NaI(Tl) dedektöründe sayılmıştır.



Su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakılarak pH, mV ve iletkenlikleri ölçülmüştür.