

# Yeraltı Sularında Toplam Alfa Ve Beta Radyoaktivitesi

Simge VAROL

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE  
[simge@mmf.sdu.edu.tr](mailto:simge@mmf.sdu.edu.tr)

**Özet-** İnsan ve çevre birbirinden ayrılmaz iki kavramdır. İnsanların doğadan en fazla faydalandıkları unsur onun yaşam kaynağı olan sudur. Sürekli tüketim halindeki çeşitli su kaynaklarından olan yeraltı suları, doğal yollarla kendilerine karakteristik özelliklerini veren birçok kimyasal element ve mineral içerirler. Bunların bir kısmı onu kullanan insan vücudunda olumlu, bir kısmı da olumsuz etkiye sahiptir. Bu nedenle, suyun fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve radyoaktif özellikleri konularında ayrıntılı pek çok araştırma mevcuttur.

Suyun kullanımını denetleyen önemli özelliklerden biri de radyoaktivite özelliğidir. Yeraltı sularındaki uranyum, toryum, radyum, radon gibi radyoaktif elementlerin analizlerinin oldukça pahalı olması radyoaktivitenin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, öncelikle toplam alfa ve beta radyoaktivitesi analiz edilerek, içme ve kullanma suyu standartlarından yüksek olanlarda radyoaktivitenin hangi elementten kaynaklandığı araştırılmaktadır. Bu çalışmada, özellikle yeraltı sularında radyoaktivite kaynaklarının tespiti ve insan sağlığına etkisi hakkında araştırmacılara yararlı olacağı düşünülen bilgiler derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Yeraltı suyu, radyoaktivite, toplam alfa ve beta radyoaktivitesi

## Gross Alpha and Beta Radioactivity In Groundwaters

**Abstract-** Two inseparable concepts are human and environment. Human is consistently communication within the environment. Water is life source of humans and it is the most beneficial component for lives. Ground waters include several chemical elements and minerals which control usage properties of water. These elements may create positive and negative effects in human body. Therefore, several researches are present related to physical, chemical, bacteriological and radioactivity properties of water.

Radioactivity properties of waters are one of the important properties which are controlled usage conditions of water. Due to the analyses of radioactive elements such as uranium, thorium, radium and radon within groundwater is fairly expensive, determining of groundwater radioactivity is difficult. Therefore, gross alpha and beta radioactivity are analyzed initially in groundwater samples, and then, origin of radioactivity is researched in groundwater having to high radioactivity. Information related to origin, determination and effect to human health of radioactivity within ground waters have been compiled in the study. It is thought that these information will be useful for researchers.

**Keywords-** Groundwater, Radyoaktivite, Gross Alfa and Beta Radyoaktivite

## 1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatını sürdürebilmeleri için vazgeçilmez bir unsurdur. İnsanlar başta içme olmak üzere çeşitli amaçlar için kullandıkları suyu yüzeysel ve yeraltı suları gibi çeşitli kaynaklardan sağlamaktadır. Günümüzde birçok etken yüzeysel sularının kirlenmesine neden olmakta ve gittikçe kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Yüzeysel sularından yeterince faydalanamamak insanları yeraltı sularını daha fazla kullanmaya yöneltmiştir. Yeraltı suları hidrolojik döngü ile yağmur sularının yeraltına süzülmesiyle oluşmaktadır. Yağmur sularının yeraltına süzülürken içerisinde geçtikleri jeolojik formasyonlara ve bu yapıların bileşiminde bulunan kimyasal bileşiklerin suda eriyebilme derecelerine göre, bazı element ve mineralleri bünyelerine alarak farklı özellikler kazanırlar. Bu hidrolojik döngü sırasında, suların yapısına çözünmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanı sıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler de katılabilmektedir. Çözünmüş maddelerin miktarı, formasyonlarla yeraltı suyunun temas süresine, suyun akış hızına ve sıcaklığına, formasyonun cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişmektedir. İnsanların çeşitli amaçlar için (içme, kullanma vb.) doğrudan veya dolaylı olarak kullandıkları ve bu şekilde temas halinde olduğu yeraltı suları, kimyasal ve radyoaktivite özelliklerine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle yeraltı sularının özellikle radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir.

## 2. RADYOAKTİVİTE VE ÇEŞİTLER

Radyoaktivite, aşırı nötron fazlalığı nedeniyle kararsızlık gösteren atom çekirdeklerinin kendiliğinden parçalanması sırasında çevreye radyasyon yayma olayıdır. Buna bağlı olarak, saniyede bir adet parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı radyoaktivite birimidir. Günümüzde radyoaktivite birimi olarak Becquerel (Bq) kullanılmaktadır. Yeni uluslararası birimler sistemindeki (SI) Becquerel'in, radyoaktivitenin eski birimi olan Curie (Ci) ile arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir [1].

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

$$1 \mu\text{Ci} = 3,7 \times 10^4 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ pCi} = 0,037 \text{ Bq}$$

Aynı elementin tüm atomları aynı atom sayısına sahiptir. Bunun anlamı, çekirdeklerinde aynı sayıda proton olduğudur. İzotoplar, aynı elementin farklı sayıda nötrona sahip atomlarıdır. Bu nedenle, farklı atom kütleleri, proton sayıları ve çekirdekdeki nötron sayılarıyla tanımlanırlar. Örneğin, uranyumun iki izotopu  $^{235}\text{U}_{92}$  ve  $^{238}\text{U}_{92}$ 'dir. Bu izotopların ikisinin de atom numarası 92 olmasına karşın, atom kütle numaraları sırasıyla 235 ve 238'dir [2].

İzotoplar, "Radyoaktif izotoplar" ve "Duraylı izotoplar" olarak iki gruba ayrılır. Duraylı izotoplar, radyoaktif bozuşma özelliği göstermeyen izotoplardır. Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca, azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum ve toryum v.b elementlerin izotopları da yüzeysel ve yeraltı suyu sistemlerinde kirlenmenin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması gibi çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır. Su analizlerinde izotoplar için kabul edilen standart SMOW (Standart Mean Ocean Water)'dur. İzotopik içerikleri analiz sonucu olarak verilirken döteryum için  $\delta^2\text{H}$  veya  $\delta\text{D}$ , oksijen-18 izotopu için  $\delta^{18}\text{O}$  ifadesi kullanılır.

Radyoaktif izotoplar ise, radyoaktif bozuşma ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  radyasyonları gibi) yoluyla başka bir elemente dönüşen izotoplardır [3, 4]. Radyoaktif elementlerin bozunumu ile alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) ışınları ortaya çıkar. Alfa ışınımı helyumun artı yüklü halidir. Yükleri ve çapları oldukça büyük olduğu için bu ışınımın penetrasyon güçleri zayıftır. Büyük kütlesi nedeniyle radyoaktif yayımda en yavaş hareket eden ve en düşük enerjiye sahip taneciklerdir. Beta ışınları ise eksi yüklü olup, alfa taneciklerinden daha küçük kütleleri vardır. İzotopun çekirdeğindeki nötronlardan birisi değiştiği anda hemen beta bozunması ortaya çıkmaktadır. İyonlaştırma özelliği taşıdığından, canlı organizmalar üzerinde zararlı etkileri olmaktadır. Gama ışınları, elektromanyetik dalga özelliğinde ve cisimlere penetrasyonu fazla olan ışın türüdür. Gama ışınlarının özellikleri X ışınlarına çok benzemektedir. Genellikle hem daha enerjik, hem de daha derine nüfuz etmektedir. Tüm radyoaktif yayımlar içerisinde gama ışınları en yüksek enerjiye sahiptir [2, 5].

## 3. YERALTISULARINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE (ALFA VE BETA) RADYOAKTİVİTESİ KAYNAKLARI

Yeraltı suları, içerisinde geçtikleri kayalardan radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanmaktadırlar. Yeraltı Sularında en çok rastlanan radyoaktif elementler  $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Rb}^{87}$ ,  $\text{Th}^{235}$ ,  $\text{U}^{235}$  ve  $\text{U}^{238}$ 'dir. Ayrıca,  $\text{U}^{238}$ 'in bozunumu sonucunda ortaya çıkan  $\text{Rn}^{222}$  (radon),  $\text{Ra}^{226}$  ile beraber kozmik ışınların etkisiyle radyoaktif özellik kazanan  $\text{N}^{14}$ ,  $\text{O}^{16}$  ve  $\text{Ar}^{40}$  da yeraltı sularında bulunabilmektedir. Doğal radyoaktivite olan alfa radyoaktivitesi, suların uranyum ve toryum elementini içeren ortamlarla teması sonucu yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Uranyum, toryum, radyum ve radonun zengin olarak bulunduğu kayaç grupları ise metamorfik kayaçlar, granit türü kayaçlar, organik madde içeren tortullar, kumtaşları ve karbonatlı tortul kayaçlardır. Ayrıca, bu tür kayaçlardaki fay zonlarının ayrışmanın yoğun olarak gözlemlendiği ve suların depolanmasına elverişli yerler olmasından dolayı bu bölgelerde depolanan suların bünyesine radyoaktif elementlerin geçmesi kolaylaşmaktadır [6, 7, 8].

Radyoaktif elementlere, magmatik oluşumlarda, kil ve şeyl gibi tortul kütlelerde de rastlanmaktadır. Kum-çakıl, kumtaşı, çatlaklı kireçtaşı gibi akifer özelliğindeki tortul kayalarda ise çok az miktarda da olsa radyoaktif madde bulunabilmektedir. Sulardaki radyoaktif maddelerin miktarı, büyük oranda ana kaya tipine bağlıdır. Granit tipi kayalardaki doğal radyoaktif maddelerin radyoaktivitesi diğer kaya çeşitlerine kıyasla daha yüksektir [9]. Mağmatik kayalarda bulunan radyoaktif elementlerin en önemlileri uranyum ve toryum'dur. Mağmatik kayalardaki uranyum ve toryum bulunabilirliği, mağmanın kökenindeki uranyum ve toryum konsantrasyonlarının değişimi ve mağmatik kristalizasyon ile yakından ilişkilidir. Mağmatik kayalardaki uranyum ve toryum içeriği asit kayalardan bazik kayalara doğru gidildikçe azalmaktadır.

Granit ve granit ailesinden kayalar asit karakterleri nedeniyle uranyum taşıyıcısı durumundadırlar ve bazen 10-14 ppm.' e kadar uranyum içerebilmektedirler. Ayrıca bu tür granitler primer kökenli damar tipi uranyum yatakları yönünden de zengin olabilmektedirler. Toryum içeriği alkalın granit ve siyenitlerde genellikle yüksektir ve karbonatitlerle ilgili küçük alkalın kayaç gruplarında ise oldukça boldur. Kasiteritli granitlerde tipik olarak allanit, monzonit veya torit gibi toryum içeren tali minerallere sahiptirler. Toryum yataklarının ve toryumla birlikte nadir toprakları da içeren yatakların bu tür kayalarla yakın bir ilişkisi vardır. Olivin gibi ultrabazik mağmadan erken kristalize olan mineraller, hemen hemen hiç toryum veya uranyum içermezler. Bazik kayaların piroksen, kalsit ve plajyoklaz gibi ana minerallerinin ve apatitin kristalizasyonu esnasında az miktarda uranyum ve toryum, apatit' de kalsiyum ile izomorfik olarak yer değiştirerek tespit edilebilir. Uranyum ve toryumun ortak jeokimyasal özellikleri bu iki elementin ultrabazik ve bazik kayalarda çok bol görünen elementlere olan jeokimyasal ilgisini yasaklamaktadır. Plajyoklaz serilerindeki kalsiyum kafes yapısının koordinasyon gerekleri, uranyum ve toryumun izomorfik olarak kalsiyumun yerini almasını engellemektedir. [10].

Uranyum ve toryumun bazik mağmadan kristalize olamamaları, bunların silisli mağmalarda zenginleşmelerine sebep olur. Bu sebeple, silisli zengin olan kayalar, oldukça çok miktarda uranyum ve toryum içerirler. +4 değerli uranyum içeren mineraller suda erimezler, ancak nemli iklimlerde atmosferik etkenlerle kimyasal olarak, +6 değerli uranyum içeren sekonder minerallere dönüşürler. Bu dönüşme +4 değerli uranyumun +6 değerli uranyuma oksidasyonu sonucu olur. Yeraltı su tablasının üstündeki yüzey ve yüzeye yakın kısımlarında, oksidasyon şartlarında uranyum +6 değerlidir. Oksijenin en önemli etken olduğu sistemlerde +6 değerli uranyum 2 oksijen atomuyla beraber bulunur ve uranil iyonu ( $UO_2^{++}$ ) halindedir. Uranil iyonu, +4 değerli uranyumdan (uranus iyonu) bütünüyle değişik bir kimyasal türdür.

Jeokimyasal bakımdan en önemli ayrıcalık, uranil bileşiklerindeki sekonder minerallerin, +4 değerli uranyum içeren primer minerallerden daha çok eriyebilirliğe sahip olmasıdır. Bu nedenle +6 değerli uranyum bu minerallerden, uranil iyonları halinde nötre yakın PH' lı sularda kolayca solüsyona geçer ve yeraltı sularıyla uzun mesafelere taşınır. Redükleyici ortamlara girildiğinde ise +6 değerli uranyum, +4 değerli uranyuma redüklenerek uraninit veya peşblend halinde tekrar çökler ve çeşitli tip sedimanter uranyum yataklarını meydana getirir.  $U^{+4}$  iyonunu eriyik halde tutabilmek için ise +4' den daha düşük bir PH gereklidir. Granitik kayalar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleri dolayısıyla yeraltı suyuna geniş ölçüde uranyum sağlarlar. Mineralizasyonun söz konusu olduğu akiferlerde sudaki uranyum konsantrasyonu 460 ppb' ye kadar çıkabilmektedir [11].

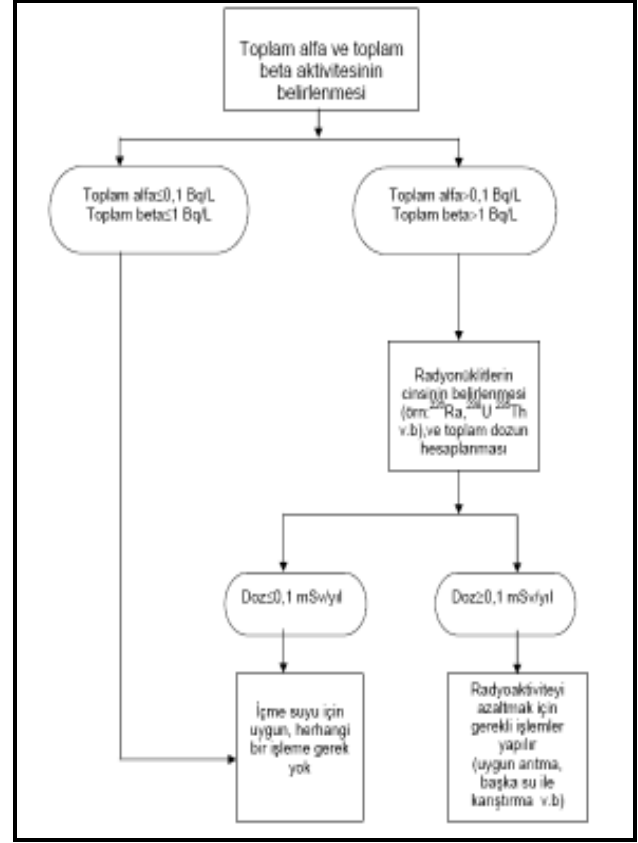
#### 4. YERALTISULARINDA TOPLAM ALFA VE BETA RADYOAKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Uranyum, toryum, radyum, radon gibi radyoaktif elementlerin farklı yarılanma ömrüne sahip olmaları ve bu elementlerin analiz bedellerinin yüksek olması gibi nedenler yeraltı sularındaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesinde güçlük yaratmaktadır. Bu zorluklardan dolayı yeraltı sularında öncelikle toplam alfa ve beta radyoaktivitesi belirlenmekte ve elde edilen sonuçların belirlenen standartlardan düşük veya yüksekliğine bağlı olarak radyoaktivitenin hangi elementten kaynaklandığının araştırılmaktadır. Yeraltı Sularının yapısına çeşitli jeolojik oluşumlardan katılan alfa ve beta radyoaktivitesi laboratuvarlarda çeşitli ölçüm yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir. Bunlardan gaz orantısına dayanan ve sayma sistemleri şeklinde çalışan APHA/AWWA/WEF, 1998; AS-3550. 5, 1990; NHMRC/ARMCANZ, 2001; ISO9696, 1991 ve ISO 9697, 1991 yöntemleri ile ayrıca LSA (Likit sintilasyon analizi) [12] ve 1997 yılında Salonen ve Hukkanen tarafından geliştirilerek Avrupa Birliği yasaları içinde de geçerliliğini korumakta olan vakumlu kurutma (Lyophilization) yöntemi, içme suları içerisindeki toplam alfa ve beta konsantrasyonları belirlenmesinde kullanılmakta olan yöntemlerin başında gelmektedir [13]. Ülkemizde de bu yöntemlerden en çok kullanılmakta olan düşük ortam saymalı alfa/beta sayma sistemidir (low background alpha/ beta counting system (Tennelec LB 1000 Series)).

Tennelec LB 1000 sistemi alfaların ve betaların ikisinin birden yayımlandığı bir ortamda darbe boylarının farklı olması nedeniyle alfaların ve betaların birbirinden bağımsız olarak aynı anda sayılması prensibine göre çalışan orantılı gaz sayacıdır. Deneylere başlamadan önce numunelerin sayma sisteminde sayılması için ön hazırlıktan geçirilmesi gerekmektedir. Su numuneleri eğer pH koruması ile laboratuvara gönderilmemişse bekletilmeden sayıma hazırlanmalıdır. Ancak bunumuneler, içerisindeki kısa ömürlü radyonüklitlerin

aktivitelerinin yok olması için yaklaşık 16 saat bekletildikten sonra sayma işlemine başlanmalıdır. Numunelerin sayıma hazırlanması, sayma için yeterli kalıntının elde edilebileceği miktarda numunenin ısıtıcı üzerinde 5-10 ml kalıncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırılması, sonra numunenin 2 inch'lik planşetlere (numunelerin hazırlandığı kap) taşmayacak şekilde aktararak bunun infrared lamba altında buharlaştırılması ve elde edilen kalıntının 105 °C'lik etüvde kurutulması şeklinde olmaktadır. Bir radyoaktivite ölçüm sisteminde radyoaktif numune yok iken sistemin verdiği saymalara ortam sayması denir. Ortam sayması iyonlayıcı bazı radyasyonların ölçüm sistemi sayacına girmesiyle meydana gelir. Ortam sayması, kozmik ışınlar, yapım malzemelerinde bulunması olası potasyum-40, radyum, toryum vb. ve bunların bozunma ürünlerinin meydana getirdiği radyasyonlar ve elektronik gürültülerden oluşur. Ortam sayma hızının belirlenmesinden sonra, desikatörden alınan numune planşeti 0.1 mg hassasiyetli terazide tartılarak net kalıntı miktarı bulunur ve bekletilmeden derhal sayıma alınır. Bu sayım sonucunda numuneye ait toplam alfa ve beta radyoaktivite miktarı belirlenmiş olmaktadır [1].

Elde edilen sonuçlar WHO (2006)'nun belirlemiş olduğu izin verilen maksimum değerler ile karşılaştırıldıktan sonra, eğer örnekteki toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları bu değerden küçükse numunenin içme suyu için uygun olduğu kabul edilmektedir. İzin verilen maksimum konsantrasyonun aşılması durumunda örneklerin içerisindeki radyonüklit cinslerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle radyoaktivitenin hangi radyoaktif maddeden geldiği belirlenmelidir. Bu radyonükleitlerin belirlenen doz miktarları WHO (2006)'nun belirlemiş olduğu bir yıllık kullanım sonunda alınabilecek efektif doz miktarı (0,1 mSv/yıl) ile karşılaştırılır. Doz miktarları limit değeri aşmamışsa numune radyoaktivite yönünden içme suyu kriterlerine uygun olmaktadır. Aşan durumlarda radyoaktivitenin azaltılması için çeşitli işlemlerin yapılması gerekmektedir. Sulardaki radyoaktivite konsantrasyonları, özellikle içme suları ve kaynak sularında mevsimlik değişim gösterebilmektedir. Dolayısıyla bir yıl boyunca izlenmeli ve ortalama alınmalıdır. Yine limit değerleri geçme durumunda suyun uygun filtreden geçirilmesi ya da başka sularla karıştırılarak radyoaktif konsantrasyonunun düşürülmesi işlemleri yapılmalıdır (Şekil 1) [1].



Şekil 1. İçme sularının radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde izlenen akış diyagramı [1]

## 5. YERALTISULARINDAKİ TOPLAM ALFA VE BETA RADYOAKTİVİTESİNİN İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Radyoaktivite ölçümleri önceleri, sınırlı sayıda insanların yararlandığı kaplıca sularında yapılmıştır. Radyasyonun canlılar üzerindeki biyolojik etkileri alanında yapılan çalışmalardan elde edilen yeni bilgiler ışığında Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi (ICRP), tarafından radyasyondan korunma konusuna yeni boyutlar getirilmiştir [14]. Bu doğrultuda, radyasyonun stokastik etkileri için bir eşik dozu bulunmadığı ve büyük halk kitlelerinin, küçük de olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının, toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği görüşü kabul edilmiştir. Dolayısıyla insanların maruz kalabileceği küçük dozların bilinmesi amacına yönelik olarak içme sularındaki radyoaktivite ölçümü çalışmaları da yoğunluk kazanmıştır [15, 16]. Dünya Sağlık Örgütü, (WHO) ve ABD Çevre Korunma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen içme suları için radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0,5 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L olarak kabul edilmiştir [17]. Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suları için tavsiye ettiği sınır değerler suyun, ömür boyu tüketilmesi durumunda insanın alacağı radyasyon dozunun sağlık yönünden herhangi bir hasar oluşturmayacağı fikrinden hareketle

tespit edilmiştir [18]. Ülkemizde de Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tavsiye ettiği değerler Türk İçme Suyu Standartlarına (TSE 266) da aynen yansımıştır [19].

Yeraltı sularında bulunan iyonlaştırıcı radyasyonlar (alfa-beta radyoaktivitesi) hakkında en büyük endişe, radyasyona maruz kalan kişilerde, kanser gibi hastalıklara neden olması ve radyasyonların genetik etkileri ve de gecikmiş etkileri olarak adlandırılan bu kusurların gelecek nesillere intikal ettirilme olasılıklarıdır. Söz konusu kalıtsal etkilerin olma olasılığı; doğal ya da yapay radyasyon kaynağı olup olmadığına bakılmaksızın, kişinin aldığı radyasyon dozuna veya miktarına bağlı olmaktadır.

İyonize ışınlar, canlılarda moleküler ve hücresel düzeylerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik çeşitli değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler maruz kalınan iyonize radyasyonun cinsine, miktarına ve süresine göre geçici (onarılabilen değişiklikler) veya kalıcı (onarılmayan değişiklikler) olabilirler. İyonize ışınlar olarak tanımlanan alfa ve beta parçacıkları geçtikleri ortamda iyonizasyona yol açmaktadırlar. Alfa, beta parçacıkları ve nötronlar gibi iyonize radyasyonlar, içinden geçtikleri hücrelerde önce moleküler düzeyde değişikliğe neden olurlar. Hücre içerisindeki molekülleri ve atomları iyonize ederek uyarılmış hale geçirirler. Bu şekilde fazla enerjilerini bu moleküllere aktararak temel seviyeye inmeye çalışırlar. İyonize radyasyonun moleküler düzeydeki etkileri doğrudan veya dolaylı yolla olur. Doğrudan yolda, değişikliğe uğrayan molekül doğrudan doğruya iyonize radyasyona maruz kalır ve uyarılmış duruma geçer. İndirekt yolda ise, iyonize radyasyon sonucu oluşan bazı ara ürünler başka bir dizi kimyasal reaksiyona girerek diğer moleküllerin değişmesine neden olurlar (iyonize radyasyonun hücrede bol miktarda bulunan su molekülünün ayrılmasına sebep olarak serbest radikallerin oluşmasına yol açtığı düşünülmektedir). Radyasyonun oluşturduğu hücresel hasarların serbest radikal oluşumlar aracılığıyla meydana geldiği kanıtlanmıştır. Oluşan serbest radikal unsurların hücrede yeni reaksiyonlar aracılığı ile daha başka serbest radikal oluşumlar, lipid peroksidasyon zincir reaksiyonları ve başta intestinal kanamalar olmak üzere miyokardial iskemi karsinogenezis, katarak oluşumu solunum düzensizliği, DNA zincir kırılması, mutajenik ve karsinojenik etkiler oluşturduğu saptanmıştır [20].

*Alfa radyoaktivitesi ( $\alpha$ )*; nispeten daha ağır bir parçacık olmasına rağmen alfa ışınları veya radyasyonları; havada sadece bir-iki cm' lik kısa menzile sahip olup, ince kağıt yüzeyi ya da vücudun derisi tarafından tamamen soğurulabilmektedir. Bununla beraber, alfa parçacıkları, solunum veya sindirim yoluyla vücuda alındıklarında, akciğer veya mide çeperlerindeki dokuların, yüksek radyasyonla ışınlanması sureti ile ciddi radyasyon hasarları oluşturmaktadır. Alfa radyoaktivitesine uzun dönem maruz kalınması sonucu, insanlarda en sık olarak kanser yapıcı etkisi görülmektedir. Bu kanser türleri

içerisinde akciğer ve diğer solunum yolları, cilt ve sindirim sistemi kanserleri yer almaktadır.

*Beta radyoaktivitesi ( $\beta$ )*; beta ışınları çok küçük olup, doku ya da materyaller içine daha fazla girebilmektedir. Beta ışını; plastik, cam veya metal tabakalar tarafından tamamen soğurulabilmekte ya da absorblanabilmektedir. Genellikle, beta radyasyonları vücudun derisinin üst kısmından öteye nüfuz edemezler. Alfa radyasyonlarına oranla beta radyasyonun özellikle akciğer kanseri yapma etkisi daha azdır. Her şeye rağmen, yüksek enerjili beta radyasyonlarına aşırı derecede maruz kalma veya yüksek dozda ışınlanma durumlarında, deri yanıkları görülebilmektedir. Bu şekildeki beta yayınlayıcılar, solunum ya da sindirim yoluyla vücuda alındığı takdirde de tehlike yaratabilmektedir [21, 22].

Yeraltı sularında yer alan doğal radyoaktivitenin bütün bu kötü etkilerine rağmen, bu suların içilerek tüketilmesinin yanısıra balneolojik amaçlı olarak kullanımı da yaygındır. Radyoaktif suların mineralizasyonları düşük bile olsa, iyileştirici özellikte oldukları bilinmektedir. Bu şekilde kullanılacak suların radyoaktif elementlerinin ve radyoaktivitelerinin saptanması gerekmektedir. Litresinde 666 Becquerel veya 18 Nanocurie çözünmüş Alfa ve Beta radyoaktivitesinin kaynağı olan Radon, Uranyum ve Toryum gibi elementleri içeren sular radyoaktif sular olarak tanımlanmaktadır. Bu tür sularla yapılan uygulamalar daha çok spesifik olmayan bir uyarıcı tedavisi olduğu için uygulama alanları geniştir. Metabolik, endokrin, nörolojik, jinekolojik, romatizmal, gastrointestinal ve dolaşım sistemi hastalıklarında kullanılmaktadır. Romatizmal hastalıklar klinik kullanımda ilk sırayı almaktadır. Özellikle ankilozan spondilit ve dejeneratif boyun ağrılı hastalarda yapılan çalışmalarda radon banyoları ve inhalasyon şeklindeki tedavilerin radyoaktif olmayan su uygulaması veya yalnızca rehabilitasyon uygulamasına göre ağrı azalma ve hareketlerde anlamlı artış gibi olumlu etkilere yol açtığı gözlemlenmektedir [23]. Romatizmal hastalıklar dışında diyabet ve şişmanlık gibi metabolizma hastalıklarında banyo ve içme kürleri kombinasyonlarının klinik ve laboratuvar tedavilerinde düzelmeye sağladığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca solunum sistemi hastalıkları özellikle bronşial astım alerjik hastalıklar ve deri hastalıklarında (psöriazis) banyo kürlerinin faydalı olduğu saptanmıştır. Duodenal ve gastrik ülserlerde içme kürleri şeklinde olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Periferik dolaşım hastalıklarında ve iskemik kalp hastalıklarında karbondioksitli ve radyoaktif suların olumlu etkileri çeşitli çalışmalarda görülmektedir [23].

Radyoaktif sularla tedavide radyoaktivitenin etki mekanizmaları tam olarak açıklanamamasına karşın etkinin direkt immün (bağışıklık) sistemi hücreleri aracılığıyla değil hipofiz- sürrenal aktivasyonu sonucu nöroendokrin yolla olduğu, immün sistemin ve T hücrelerin indirekt olarak etkilendiği şeklindedir. Sonuç olarak, düşük doz iyonize radyoaktivite kaynağı olan

doğal kaynakların çeşitli sistem hastalıklarında olumlu etkileri görülmektedir [23].

## 6. SONUÇLAR

Yeraltı sularının, içerisinden geçtikleri kayalardan kaya-su etkileşimi ile aldıkları element ve mineraller, suların mineralli, radyoaktif gibi özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır. Radyoaktif yeraltı suları radyoaktiviteye sahip bazı elementleri yoğun olarak bulduran belirli kayaç türleri ile daha uzun etkileşimde kalmaları sonucu düşük veya yüksek seviyelerde radyoaktivite özelliği kazanmaktadırlar. Suların alfa-beta radyoaktivite değerleri radyoaktif elementlerin su içinde bulunma oranının göstergesidir. Suların kalitesine yönelik araştırmalarda, radyoaktivitenin kökeninin belirlenmesinde kullanılan pahalı analiz yöntemlerinin bütün su noktalarında uygulanması ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle, öncelikle alfa-beta radyoaktivite değerleri analiz edilmekte ve yüksek alfa-beta radyoaktivitesi tespit edilen sular için ayrıntılı analizler yapılmaktadır. Radyoaktivite araştırmalarında belirteç olarak kullanılmaları açısından ayrı bir önem taşımaktadırlar.

Yapılan birçok araştırmada düşük dozlarda radyoaktiviteye sahip suların çeşitli hastalıkların tedavisinde yardımcı olduğu belirlenmiştir. Ancak, uzun dönemde yüksek dozda bu tür suların tüketimi ile insan sağlığı olumsuz olarak etkilenmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Dilaver, A. T., Çifter, C., Altay, T., **Türkiye'deki İçme Ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi**, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 21-25 Ekim Adana, s:301- 318, 2002.
- [2] Keller, E. A., **Introduction to Environmental Geology**, executive editor: Patrick Lynch, Pearson Education, Part 14, p: 362, New Jersey (USA), 2005
- [3] Güleç N., **Jeokimya Temel Kavramlar ve İlkeler**, editörler: Namık Çağatay, Ayhan Erler, 10. Bölüm, s:205, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, no:32, Ankara, 1993.
- [4] Çifter, C., Sayın M., **İzotopların Hidrolojide Kullanılması**, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 21-25 Ekim Adana, s:1-14, 2002.
- [5] Şahinci, A., **Doğal Suların Jeokimyası**, 3. Bölüm, s:46- 57, Dokuz Eylül Üniv. Müh. MİM. Fak. Jeoloji Müh. Böl., Reform Matbaası, İzmir, 1991.
- [6] Gültekin, F., Dilek, R., **Gümüşhane Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının İz Element ve Radyoaktivite İçerikleri**, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29, 1, 2005.

- [7] Davis, N.S., and DeWiest, R.J.M., **Hydrogeology**, John Wiley and Sons., Inc. New York, 463 p. 1966.
- [8] Hem, D.J., **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**, second edition, U.S. Government Printing Office, Washington, 363 p., 1971.
- [9] Kumru, M. N., Aydın, B., Bakaç, M., **Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi**, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt:10, Sayı:43, s:22-25, 2002
- [10] Fairbridge, R. W., **The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences**, New York 1972.
- [11] Kaplan, H., **Nükleer Enerji Hammaddelerinin Aranması ve Arama Yöntemleri**, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s:11-26, Ekim 1978.[12] Kleinschmidt, R. I., **Gross alpha and beta activity analysis in water-a routine laboratory method using liquid scintillation analysis**, Applied Radiation and Isotopes, 61, 333-338, 2004.
- [13] Wisser, S., Frenzel, E., Dittmer, M., **Innovative procedure for the determination of gross-alpha/gross-beta activities in drinking water**, Applied Radiation and Isotopes, 64, 368-372, 2006.
- [14] **International Commission of Radiological Protection**. ICRP Publication., No.26 Oxford Pergamon Pres, 1977.
- [15] Asikainen, M., Kahlos, H., **International Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland**. Health Physics, Vol. 39, 1980.
- [16] Malanca, A., Repetti, M., Macedo, R. H., **Gross Alpha and Beta-activities in Surface and Ground Water of Rio Grande do Norte**, Brazil Appl. Radiat. Isot. 49, 893-898, 1998.
- [17] WHO, **Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum**. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), chapter 9: radiological aspects. Geneva: World Health Organization, 2006.
- [18] Onuk, M. B., Taşkın, H., Cerit, Ç., Bilgin, M., **İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması, Türkiye'de Kanser Kontrolü**, Editör: Prof. Dr. A. Murat Tuncer, T.C Sağlık Bakanlığı Kanserle Savaş Dairesi Başkanlığı Yayınları, Bakanlık Yayın Numarası: 707, s: 301-318, Onur Matbaacılık, Ankara, 2007.
- [19] TSE, Türk Standartları Enstitüsü, **Türk İçme Suyu Standartları TSE-266**, Yıllık Çalışma Raporu, Ankara, 2009.
- [20] Kaya, A., **İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri**, Dicle Tıp Dergisi, c:29,s:3, 2002.
- [21] Taner, A.C., **Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri**, [www.mercek.net](http://www.mercek.net), 12.08.2009.
- [22] Appleton, D., **Radon In Air and Water, Essentials of Medical Geology**, Editor: Olle Selinus, Chapter 10, p: 227-263, Elsevier Academic Press, 2005.
- [23] Yüzbaşıoğlu, N., **Radonlu Sular, Balneoloji ve Kaphca Tıbbı**, Editör: Prof. Dr. M. Zeki Karagülle, İstanbul Üniv. Tıp Fakültesi Temel ve Klinik Bilimler Ders Kitapları, Nobel Tıp Kitabevi, 9. Bölüm, s:83-87,2007