

Isparta ilinde yüksek florlu su kaynaklarını kullanan iki bölgede atmosferik radon düzeylerinin incelenmesi

Işın Kürkçüoğlu*, Vahap Karakılıç**, Mehmet Ertan Kürkçüoğlu***

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Isparta, Türkiye.

** Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye.

*** Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik AD, Isparta, Türkiye.

Özet

Amaç: Radon ve radon ürünlerine maruz kalmak potansiyel bir halk sağlığı problemidir. İçme suyu kaynaklarındaki yüksek flor düzeyi nedeniyle Isparta, 50 yılı aşkın süredir endemik florozis bölgesi olarak bilinmektedir. Isparta'nın diğer bir özelliği de bina içi radon konsantrasyonunun Türkiye ortalamasından dört buçuk kat daha fazla bir düzeyde olmasıdır. İldeki su kaynaklarındaki flor düzeyi ölçümlerinin düzenli olarak yapılmasına karşın, radon seviyelerinin ölçülmesine yönelik çalışmalar henüz yeni ve düzensizdir. Radyoaktif bir gaz olan radon kimyasal olarak inaktif olarak bilinmesine ve havadaki partiküllere bağlanamamasına rağmen, bazı nadir durumlarda sulardaki radonun florid bileşikleri oluşturabileceği yönünde çalışmalar mevcuttur. Radon sularında nispeten çözünebildiğinden, kuyu suları gibi yer altı sularından atmosfere taşınabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, su kaynaklarındaki florun yüksek seviyelerde olduğu bilinen Yakaören ve Deregümü köylerindeki radon seviyelerinin saptanmasıdır. **Yöntem:** Atmosferik radon düzeyleri bu köylerdeki su kuyularına ve meskenlere yerleştirilen yirmi dört adet CR-39 katıhal nükleer iz dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler Haziran ve Eylül 2010 tarihleri arasında 11 haftalık bir süre boyunca yapılmıştır. **Sonuçlar:** Bu çalışma sonucunda, radon seviyelerinin Yakaören köyündeki meskenlerde 69Bq/m^3 ile 465Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 181Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Yakaören'deki sondaj kuyusu başındaki atmosferik radon düzeyinin 47Bq/m^3 civarında olduğu bulunmuştur. Deregümü köyü için meskenlerdeki radon ölçümlerinin ise 46Bq/m^3 ile 271Bq/m^3 arasında değerler aldığı ve ortalamanın 120Bq/m^3 olduğu saptanmıştır. Bu köydeki iki su kuyusu etrafında ölçülen radon konsantrasyonları ortalaması ise 57Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu köylerdeki halkın radon gazı nedeniyle maruz kalacakları yıllık eşdeğer doz miktarları hesaplanmıştır. **Tartışma:** Radondan etkilenmiş bölge tanımlamasına uyan Yakaören ve Deregümü köylerindeki su kaynaklarında flor ve radon arasındaki olası ilişki incelenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Isparta, florid, radyasyon, atmosferik radon, etkin doz.

Abstract

An investigation on atmospheric radon levels of two specific locations in Isparta in where highly fluoride water supplies are used

Objective: Exposure of radon and radon daughters is a potential public health problem. Isparta is known as an endemic fluorosis area due to high fluoride levels in drinking water supplies for more than 50 years. Another interesting phenomenon related with Isparta is that the indoor radon concentration is about four and half times higher than the average concentration value of Turkey. Although fluoride levels in drinking water supplies are regularly monitored in the province, efforts on the radon level measurements are new and not very regular. Radon is a radioactive gas. Even radon gas is known as chemically inert and does not attach to particles in air, there are some studies

Yazışma Adresi/Corresponding: Işın Kürkçüoğlu
Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi A.D. 32260 Isparta/TÜRKİYE
Phone: 0090 (0) 246 211 3234
E mail: isinkurk@gmail.com

Müracaat tarihi: 29.11.2010

Kabul tarihi: 03.01.2011

reporting that under rare circumstances radon can form compounds like fluorides in water. Since radon is relatively soluble in water, it can be transported into atmosphere via well water. The aim of this study was to determine the radon concentrations in Yakaören and Deregümü villages which are known with high fluoride concentrations in their drinking water supplies. **Methods:** Atmospheric radon concentrations around the wells and in dwellings at those villages were measured using twenty four CR-39 solid-state nuclear track detectors. Measurements were made between June and September 2010 for an 11-week period. **Results:** The results showed that radon concentrations ranged between 24 and 465Bq/m³ in the dwellings of Yakaören village with an average concentration of 181Bq/m³. Around the borehole in Yakaören village, atmospheric radon level was 47Bq/m³. For Deregümü village, radon concentrations in the dwellings varied between 46 and 271Bq/m³ and the average was 120Bq/m³. The average value for atmospheric radon concentration around the two wells in Deregümü village was found as 57Bq/m³. Furthermore annual effective dose equivalents for the occupants of two villages were calculated. **Conclusion:** The possible relation between radon and fluoride in water supplies needs further investigation at Yakaören and Deregümü villages which can be classified as radon affected areas.

Key Words: Isparta, fluoride, radiation, atmospheric radon, effective dose.

Giriş

Jeolojik çevrenin insan sağlığına etkisi uzun yıllardır bilinmektedir. Bu çevresel etki bazı elementlerin aşırı alımından ya da eksikliğinden kaynaklanabilir (1). Flor ve radon bunlar arasında bulunmaktadır. Normal büyüme ve gelişme için gerekli temel elementler arasında yer alan Flor (F) bilinen en elektronegatif elementlerden biridir ve bu özelliğinden dolayı doğada serbest halde bulunmaz (2-4). Oldukça reaktif bir gaz olan florun başka elementlerle yaptığı bileşikler florid olarak adlandırılırlar. Floridler (flor tuzları) birçok mineralde önemli oranlarda bulunur; bunlar arasında florspar (CaF₂), kriyolit (NaAlF₆) ve florapatit (Ca₁₀F₂(PO₄)₆) sayılabilir (5, 6). Floridler genelde yüksek volkanik aktivite ile ilişkilendirilirler. Termal sular, özellikle pH değeri yüksek olanlar aynı zamanda florca da zengindirler (5). Doğal suların tümünde belli konsantrasyonlarda flor mevcuttur. Yüzey sularındaki florid düzeyi genelde 1mg/l'nin altındayken, yer altı sularındaki florid düzeyi, etrafındaki kayaların yapısına ve flor bileşikleri içeren minerallerin ortamda olup olmamasına bağlı olarak 20-53mg/l'ye kadar çıkabilmektedir (7, 8). Suya ilave olarak toprakta ve atmosferde de bulunan flor, ayrıca süt, balık, çay gibi birçok gıdada mevcuttur. Floridler diğer bir kaynağı ise dental ürünlerdir (9, 10). Yaşayan

bütün canlılar doğal ya da yapay kaynaklar yoluyla flora maruz kalırlar. Alınan doza bağlı olarak florun yararlı etkileri olabileceği gibi zararı da olabilir (3). Flor için belirlenen günlük optimum doz 0.05-0.07mg/kg'dır (11, 12). Flor düşük salya konsantrasyonlarında çürüğü önleyici bir etkiye sahiptir. İçme suyu veya diğer kaynaklar yoluyla alınan flor oranı günlük optimum dozun üstüne çıktığında endemik flor zehirlenmeleri yani endemik florozis tablosu ortaya çıkar. Flor ve insan sağlığı arasındaki ilişki, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından detaylı bir şekilde incelenmiş ve içme sularındaki flor düzeyi üst sınırı 1.5 mg/l olarak belirlenmiştir (3). Uluslararası Kimyasal Güvenlik Programı (The International Programme on Chemical Safety, IPCS) 2002'de florun insanlar, hayvanlar ve diğer tüm canlılar üzerine etkileri üzerine bir rapor yayınlamıştır (9). IPCS'nin raporuna göre içme sularındaki 3-6mg/l'lik flor konsantrasyonu, iskeletsel florozise ve kemik kırılabilirliğinde artmaya yol açmaktadır; ancak içme sularındaki flor ile kanser ve konjenital malformasyonlar arasında bir ilişki bulunamamıştır. Varol ve Varol'un 2010 yılında yayınlanan bir çalışmada florozisin sistemik etkilerine yönelik araştırmalar derlenmiştir. Florozisin kemik ve iskelet sistemi üzerine etkilerinin belirgin olarak saptandığı; ancak tiroid, paratiroid fonksiyonlarında ve glikoz

metabolizmasında bozulma, gastrointestinal problemler, renal yetmezlik, kognitif bozukluklar, kardiyovasküler problemler ve fertilitide azalma gibi etkiler saptandığı halde kesin sonuçlar bulunmadığı bildirilmiştir (8). Florun insan vücuduna alındıktan sonra tutunduğu organlar öncelikle dişler ve kemiklerdir ve sert dokulardaki akümülayonu floropatit şeklindedir (13). Dental florozis dişin gelişim safhasında (doğumdan 6-8 yaşlarına kadar) sindirim yoluyla aşırı flor alımı ile oluşan bir tür mine ve dentin bozukluğudur. Florun, bu yapılarda aşırı derecelerde birikmesiyle meydana gelen bu durum geriye dönüşümsüzdür. Mine ve dentinde hipoplazi ve hipomineralizasyon ile sonuçlanan florozisin hafif formunda mine yüzeyinde ince beyaz opak çizgiler oluşurken, daha belirgin formunda diş yüzeyinde geniş opak alanlar meydana gelir. İleri florozis durumlarında ise minenin tümü tebeşirimsi beyaz bir görünüm alır. Minenin renklenmesi ve yüzeyde çukurcuklar oluşması sürme sonrası görülen bir fenomendir. Diş gelişimi tamamlandıktan sonra aşırı derecede flora maruz kalınmasının ise florozisin şiddeti üzerinde çok az etkisi olduğu kabul edilmektedir (9, 14-16). Türkiye’de Isparta Gölcük volkanik gölü civarı, Doğubayazıt Tendürek volkanı çevresi, Eskişehir Beylikova’daki Kızılcaören köyü (6, 10); dünyada ise Japonya Aso dağı ve İspanya’daki Tenerife adası gibi bölgeler endemik florozis bölgeleridir (1). Öte yandan Isparta, ülkemizde yüksek bina içi atmosferik radon düzeyinin gözlemlendiği birkaç ilden biridir (17-21). Periyodik cetvelde 86 atom numarası ile yer alan ve en ağır soygaz olan radon (Rn), 3.82 günlük yarı-ömrü sonunda 5.48MeV enerjili alfa radyasyonu yayarak bozulan radyoaktif bir elementtir (22). Maruz kaldığımız tüm çevresel radyoaktivitenin yarısını, doğrudan radon ve radonun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri nedeniyle alınan radyasyon oluşturmaktadır. Dünya genelinde radon nedeniyle kişi başı alınan yıllık doz ortalaması 1.4mSv düzeyindedir (23). WHO ve A.B.D. Çevre Koruma Ajansı’nın (EPA’nın) A sınıfı kanserojen olarak kabul ettiği radonun solunum yoluyla vücuda

alınması, sigaradan sonra akciğer kanserinin en önemli ikinci sebebi olarak gösterilmektedir (24). WHO toplam akciğer kanseri vakalarının %14’üne kadarından doğrudan radonun sorumlu olduğunu bildirmektedir (25). Yeryüzündeki kayalarda doğal olarak bulunan farklı yoğunluklardaki uranyum ve radyumun bozunması sonucu oluşan radon, sularla taşınarak veya katmanlar arasındaki boşluklardan sızarak atmosfere yayılmaktadır (26). Havadan yaklaşık 7.5 kat daha ağır olan radon gazı ve dolayısıyla radonun bozunma ürünleri, kapalı mekanlarda birikme eğilimi göstermektedir. Dünya genelinde bina içi radon yoğunluğu ortalamasının 39Bq/m³ civarında olduğu bildirilmektedir (25). Ülkemizde ise, 2004 yılında hazırlanan 27 il veya ilçeyi kapsayan bir çalışmadaki ölçümlere göre, Türkiye’nin bina içi ortalama radon düzeyinin 35±12Bq/m³ olduğu rapor edilmektedir (27). Isparta ili için atmosferik radon konsantrasyonlarının incelendiği sınırlı sayıda çalışma, ildeki bina içi radon düzeyinin (~160Bq/m³) dünya ortalamasından çok daha yüksek bir seviyede olduğunu göstermektedir (17-21). Kapalı mekanlardaki radon yoğunluğunun kontrolü amacıyla ülkeler ve uluslararası yetkili kuruluşlar, bu ortamlarda bulunmasına izin verilebilecek en yüksek radon düzeyleri için çeşitli sınırlamalar getirmişlerdir. Bu sınırların aşıldığı binalarda, bina içi radon konsantrasyonunu düşürücü önlemlerin alınması tavsiye edilmekte veya zorunlu kılınmaktadır. Ülkemiz için geçerli olan ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından bildirilen limitler; evler için 400Bq/m³ ve iş yerleri için 1000Bq/m³’tür (28). Avrupa Birliği konutlar için, eski binalarda 400Bq/m³ ve yeni binalarda 200Bq/m³’lük sınır değerleri baz almaktadır. (29). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP: International Commission on Radiological Protection) ise, meskenlerdeki müdahale seviyelerini 200-600Bq/m³ ve iş yerleri için bu sınırları 500-1500Bq/m³ olarak bildirmiş (30) olmasına rağmen, en son bilimsel değerlendirmeler çerçevesinde WHO, radona maruz kalma

nedeniyle oluşabilecek sağlık problemlerinin en aza indirilebilmesi için evlerde 100Bq/m^3 'lük referans seviyesinin uygulanmasını önermektedir (31). Ülkelerin özel durumları nedeniyle bu düzeyin uygulanamayacağı durumlar için ise en azından 300Bq/m^3 değerindeki limiti aşmayacak bir bina içi referans seviyesinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Birleşik Krallık Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu, NRPB (National Radiological Protection Board UK) evlerdeki radon ölçümlerinin %1'inin 200Bq/m^3 düzeyini aştığı yerleri radondan etkilenmiş bölge (radon affected area) olarak değerlendirmektedir (32). Darby ve ark.'nın Avrupa ülkelerinden alınan verileri kapsayan 2006 yılı çalışmasının sonuçlarına göre, evlerde normal yollarla maruz kalınan ortalama radon konsantrasyonlarındaki her 100Bq/m^3 'lük artışın, akciğer kanseri riskini %16 oranında artırdığı bildirilmiştir (33). Literatürde yer altı sularında radon ve florid arasında pozitif bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Veeger ve Ruderman 1998; Salih vd 2004). Bununla birlikte, volkanik alanlardaki kayalar ve dolayısıyla yer altı su kaynaklarının florid bakımından zengin olduğu bilgisi (1, 4) göz önüne alındığında, bu bölgelerdeki radon düzeylerinin de yüksek olma ihtimali artmaktadır. Gölcük volkanizması içinde bulunan ve florid düzeyi yüksek su kaynaklarını kullanan Yakaören ve Deregümü köylerinde ilk defa atmosferik radon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada ölçüm sonuçları değerlendirilmiş ve alınacak etkin doz hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışma, bölgedeki su kaynaklarında flor ve radon arasındaki olası ilişkinin saptanabilmesi amacıyla yapılacak kapsamlı bir araştırma için fikir verici bir pilot çalışma niteliğindedir.

Gereç ve Yöntem

Çalışma alanının tanıtımı

$37^\circ 18'$ ve $38^\circ 30'$ kuzey enlemleri ile $30^\circ 20'$ ve $31^\circ 33'$ doğu boylamları arasında yer alan

Isparta ili, Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyinde bulunan göller bölgesinde 8933km^2 'lik bir alan üzerinde kuruludur (34). Kuzeybatı-güneydoğu yönelimli ve elips biçimli Isparta ovasındaki jeolojik birimler, otokton ve allokton olmak üzere iki grupta toplanmıştır (35, 36). 2009 verilerine göre, il merkezindeki nüfus yoğunluğu 190084 'dir (99332 erkek ve 90752 kadın) (37). 1975-2008 yılları arasında yapılan yıllık sıcaklık ölçümlerine göre, ortalama sıcaklık 12.06°C , ortalama en düşük sıcaklık -2.3°C ve en yüksek sıcaklık 30.5°C olarak bildirilmektedir (38). Bu çalışma, Isparta il merkezini sınırları içinde olan Yakaören ve Deregümü köylerini kapsamaktadır. Yakaören köyü, Isparta'nın batısında Gölcük gölü yolu üzerinde, şehir merkezine 9km 'lik bir mesafede bulunmaktadır. 922 erkek 902 kadın olmak üzere, 1824 kişilik bir nüfus yoğunluğuna sahiptir (37). İl merkezine göre kuzey-batı yönünde yer alan Deregümü köyü ise, merkeze $5-6\text{km}$ ve Yakaören köyüne $3-4\text{km}$ 'lik bir uzaklıkta konumlanmaktadır (Şekil 1). Deregümü köyünde 860 erkek ve 870 kadından oluşan 1730 kişilik bir nüfus mevcuttur (37). Isparta il merkezinin bulunduğu jeolojik birim; kil, silt, kum ve çakıllardan oluşan alüvyondur. Bu alüvyon birimde bulunan travertenin kökenlerini tüfit, pomza, tüf ve volkanik kayalar oluşturmaktadır (35). Ayrıca, geniş bir alana yayılmış olan Gölcük formasyonu ve bu formasyonun en üst düzeyleri üzerindeki Gölcük volkanitlerine ait andazit birimin, çalışma alanını da içerisine alan ve kuzeydeki Çünür mahallesine kadar uzanan bir bölge üzerinde bulunduğu bildirilmektedir (39). Yükselteleri meydana getiren andezitler yapısal olarak oldukça sert olmasına rağmen, birimin büyük bir kısmı ayrılmış ve bozunmuş andezitten oluşmaktadır (35).

Ölçüm tekniği

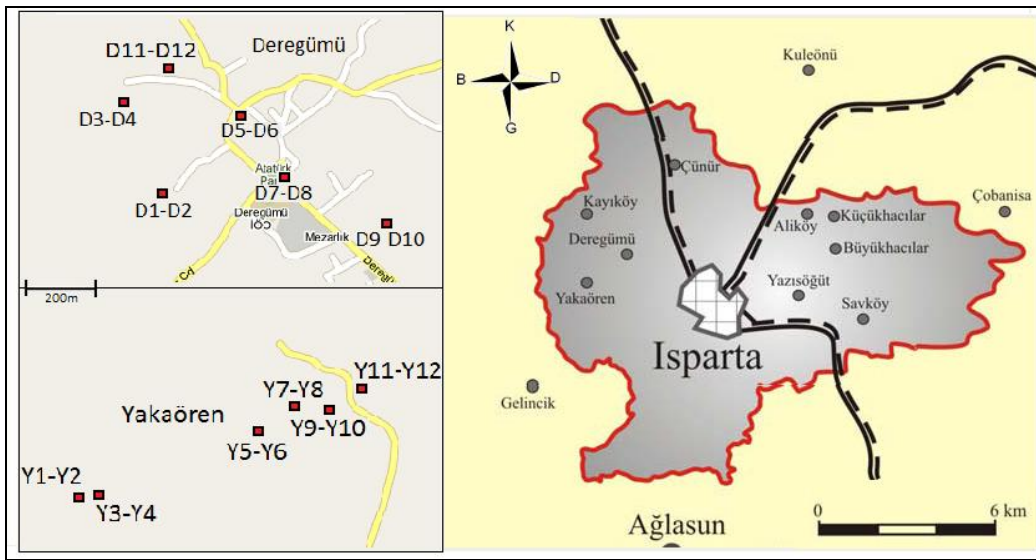
Radyoaktif bir madde bozunma mekanizması sonucunda bulunduğu çevreye radyasyon yayacağı için bu maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarının yani

aktivitesinin bilinmesi önemlidir. Renksiz, kokusuz ve tatsız olan radyoaktif radon gazının algılanabilmesi ve konsantrasyonunun belirlenebilmesi, aktif veya pasif ölçüm tekniği esasına dayanan özel cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir (40, 41). Yakaören ve Deregümü köylerindeki meskenlerde ve bu köylerde kullanılan su kuyuları başında yapılmış olan atmosferik radon seviyesi ölçümleri için Radosys firmasınınca (Budapeşte, Macaristan) üretilen ve pasif ölçüm tekniği kapsamında sıkça tercih edilen ve ticari adı CR-39 olan (poli alil diglikol karbonat) nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır (42, 43). Çalışmada kullanılan pasif yöntem, uzun zamanlı ölçümler için aktif ölçüm tekniğine göre daha ekonomik olması, eşzamanlı ölçümler için uygun olması ve bir ortalama değer elde edilmesinde uzun zamanlı çalışmalarda daha sağlıklı sonuçlar vermesi gibi avantajları nedeniyle seçilmiştir. Ölçme işlemi, plastik plakalardan yapılmış nükleer iz dedektörüne çarpan iyonize alfa

radyasyonunun yüzey tabakası üzerine bıraktığı izlerin belirginleştirilerek sayılması esasına dayanmaktadır. Atmosferik radon seviyesi ölçümlerinde kullanılan CR-39 dedektörleri, 26mm çapında ve 55mm yüksekliğindeki bir silindirik radon difüzyon kabının içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Kabın ağzı, radon bozunma ürünlerini filtreleyerek yalnız radon gazını geçiren bir kapakla kapatılmış ve CR-39 dedektörü kapağın iç yüzüne yerleştirilmiştir.



Şekil 1: Radon gazının ölçülmesinde kullanılan RSKS tipi CR-39 dedektörüne ait difüzyon kabı.



Şekil 2: Isparta merkez haritası ve Yakaören ile Deregümü köylerine yerleştirilen dedektörlerin konumları (Referans (36)'dan uyarlanmıştır).

Radon gazı difüzyon kabının içine girdiğinde, yarılanma ömrü sonunda bozunarak bir alfa tanecığı (He çekirdeği) yayılmaktadır. Yayınlanan bu alfa radyasyonu dedektöre

çarptığında plaka yüzeyi üzerinde iz bırakmaktadır. Dedektör plakası üzerindeki alfa izlerinin sayısı, ölçüm yapılan yerdeki radon konsantrasyonu ile orantılıdır.

Yakaören ve Deregümü köylerindeki farklı ölçüm noktalarına (her bir ölçüm noktası için bir çift olarak) yerleştirilen dedektörler (Şekil 2), 2010 yılı yaz mevsiminde 11 haftalık bir süre boyunca bu ortamlardaki radon gazına maruz bırakılmıştır. Ölçüm süresi sonunda toplanan dedektörler, çıkarıldıkları alüminyum kılıflar içerisine tekrar konularak hava ile temasları kesilmiş ve ölçüm noktası haricinde dedektör kabı içerisine radon gazının girişi engellenmiştir. Dedektörlerin analizleri Ankara'da, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Sağlık Fiziği biriminde yapılmıştır. Sayım işlemine geçilmeden önce CR-39 plakalarının kayıt ettiği alfa izlerinin görünür hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için Radobath banyo ünitesi (Radosys, Budapeşte, Macaristan) içerisine konulan dedektörlere 4 saat süreyle 90°C sıcaklıktaki %25'lik NaOH çözeltisinde kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra Radobath haznesine saf su ile asetik asit eklenerek CR-39 plakaları nötrale edilmiş ve sayım işlemi için kuruma bırakılmıştır.

Banyo işleminin ardından dedektör plakaları üzerinde belirginleşen alfa izlerinin sayımı, optik bir sistem olan Radosys firmasınınca üretilmiş RadoMeter ünitesinde (Radosys, Budapeşte, Macaristan) otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. İzlerin okunması ışık mikroskobuna bağlı 100× büyütmeli bir CCD kamera ile sağlanmakta ve elde edilen görüntü dijital hale çevrilerek bilgisayara aktarılmaktadır. Bu görüntü işleme seti ile, 1cm² yüzey alanına sahip olan CR-39 plakalarının yaklaşık 47mm²'ik yüzey alanı taranmakta ve dedektörler üzerindeki iz yoğunlukları Linux işletim sistemi (açık erişim) altında çalışan bir yazılım kullanılarak sisteme kayıt edilmiştir. Bu otomatik okuma işlemi (alfa izlerinin tek tek okunması ve üst üste geçmiş izler için 150iz/mm²'ye kadar hassaslıkta okunma işlemi) dedektör başına ortalama 60 saniyelik bir sürede tamamlanmıştır. Analiz aşamasında kullanılan

432 dedektör kapasiteli Radobath iz kazıma ünitesi ve RadoMeter görüntü işleme setine ait mikroskop ünitesinin teknik özellikleri ile bu setin operasyonel özellikleri hakkında daha fazla bilgi, üretici firmanın kullanım kılavuzu ve internet sayfasından temin edilebilir (42, 43). Analiz işlemi tamamlanmış dedektörler için belirlenen alfa iz yoğunlukları yardımıyla ölçüm noktalarındaki atmosferik radon konsantrasyonları (C_{Rn})

$$C_{Rn} = \frac{d \times kf \times 1000}{s} \quad (1)$$

bağıntısı kullanılarak Bq/m³ cinsinden hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu eşitlikte d taranan plaka yüzeyi üzerindeki alfa izlerinden elde edilen iz yoğunluğunu, s ise saat cinsinden dedektörün radon ölçümü yaptığı toplam zamanı göstermektedir. Hesaplamalarda kf , kalibrasyon faktörü için SANAEM Sağlık Fiziği birimi tarafından belirlenen 42.95(kBq/m³)/(iz/saat) değeri kullanılmıştır.

Sonuçlar

28 Haziran 2010 ile 13 Eylül 2010 tarihleri arasında 77 gün süreyle Yakaören ve Deregümü köylerindeki 12 ölçüm noktasına (Şekil 2) yerleştirilen (her ev için farklı iki odada solunum seviyesine yani zeminden yaklaşık 1.5m yüksekliğe, su ve sondaj kuyularında ise kuyu ağzı seviyesine takılan) 24 adet CR-39 nükleer iz dedektörü ile atmosferik radon konsantrasyonlarının ölçüldüğü bu çalışmada, meskenlerdeki radon düzeylerinin 46Bq/m³ ile 465Bq/m³ arasında değiştiği, Yakaören'deki sondaj kuyusu başındaki atmosferik radon seviyesinin 47Bq/m³ ve Deregümü köyündeki su kuyularına ait radon düzeyinin ise 57Bq/m³ civarında olduğu saptanmıştır (Tablo 1 ve 2). Deregümü köyündeki yaz dönemi ölçümlerine göre, bina içi radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalamasının 120Bq/m³ olduğu (Tablo 1) ve aynı dönem için bu ortalamanın Yakaören köyü meskenlerinde 181Bq/m³ düzeyinde bulunduğu (Tablo 2) tespit edilmiştir.

Deregümü ve Yakaören köylerinde ölçüm yapılan meskenlerden elde atmosferik radon konsantrasyonlarının dağılımı incelendiğinde, meskenlerin sadece %6'sında 50Bq/m^3 'ten düşük radon yoğunluğu kayıt edilirken ölçümlerin %19'unun 200Bq/m^3 değerinden daha yüksek çıktığı ve meskenlerin %75'inde radon yoğunluklarının bu değerler arasında olduğu bulunmuştur (Şekil 3). Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), herhangi bir radyasyon kaynağına maruz kalınması durumunda, bir yıl süresince alınacak radyasyon dozu olarak tanımlanmaktadır. Yakaören ve Deregümü köylerinde yaşayanların radon ve radonun bozunma ürünlerinden dolayı maruz kaldıkları radyasyon dozunun hesaplanması için ölçüm yapılan mekanlarda elde edilen atmosferik radon konsantrasyonu ortalamalarından hareketle alınan yıllık etkin dozlar, UNSCEAR 1993 (44) ve UNSCEAR 2000 (18) raporlarında öngörülen model çerçevesinde

$$YEDE = C_{Rn} \times F \times EEC \times BMF \times 8760(\text{saat} / \text{yıl}) (2)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu ifadede C_{Rn} , Bq/m^3 cinsinden ortalama radon konsantrasyonunu göstermektedir. Radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörünü temsil eden F ise 0.4 değerinde alınmıştır (45).

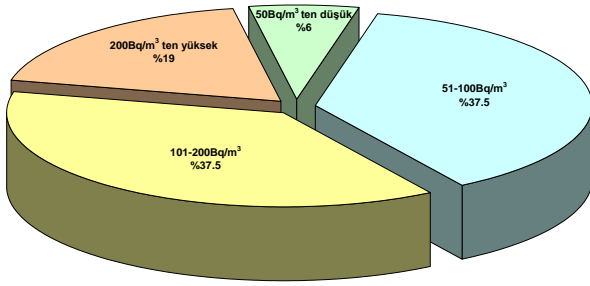
Eşitlik 2'deki EEC (equilibrium equivalent concentration) çarpanı yani denge eşdeğer konsantrasyonu çarpanı 9.0×10^{-9} (Sv/saat) (Bq/m^3) değerinde olup (44), mekanların kullanılma miktarının bir ölçüsü olan bina içi meşgüliyet faktörü (BMF) ise Yakaören ve Deregümü köylerindeki halkın zamanın %80'ini kapalı mekanlarda geçirdiği varsayılarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Böylelikle, radon nedeniyle (bina içindeki havanın solunmasıyla) maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmış (Şekil 4 ve 5), yıllık doz ortalamalarının, Deregümü köyünde yaşayanlar için 3.03mSv ve Yakaören köyündekiler için 4.57mSv düzeyinde olduğu bulunmuştur.

Tablo 1. CR-39 dedektörlerinin yerleştirildiği Deregümü köyündeki ölçüm noktaları ve bu noktalarda kayıt edilen alfa iz yoğunluğuna karşılık gelen radon düzeyleri. Ölçüm yapılan yerlerdeki nem ve sıcaklık değerleri (Şekil 2'de konumları gösterilen nükleer iz dedektörleri için kullanılan kodlar Tablo 1'de aynı kodlamayla verilmektedir).

Kod	Konumlandığı Yer	Alfa İz Yoğunluğu	C_{Rn} (Bq/m^3)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Nem (%)
D1	Ana su kuyusu	2484	58	30	25
D2	(bağ arası)	2441	57		
D3	Yedek su	2179	51	30	26
D4	kuyusu (çay kenarı)	2572	61		
D5	Mesken 1	6581	155	28	30
D6		6015	142		
D7		1961	46		
D8	Mesken 2	2397	56	28	25
D9		4228	100		
D10	Mesken 3	3748	88	27	28
D11		4184	99		
D12	Mesken 4	11507	271	28	27
<i>Su kuyusu ölçümleri için aritmetik ortalama</i>			57	30	26
<i>Mesken ölçümleri için aritmetik ortalama</i>			120	28	28

Tablo 2. Yakaören köyündeki ölçümlerde kullanılan nükleer iz dedektörlerinin konumları ve bu noktalarda ölçülen radon düzeyleri ile sıcaklık ve nem değerleri (Şekil 2'de konumları kodlanarak gösterilen CR-39 dedektörleri için Tablo 2'de aynı kodlama kullanılmıştır).

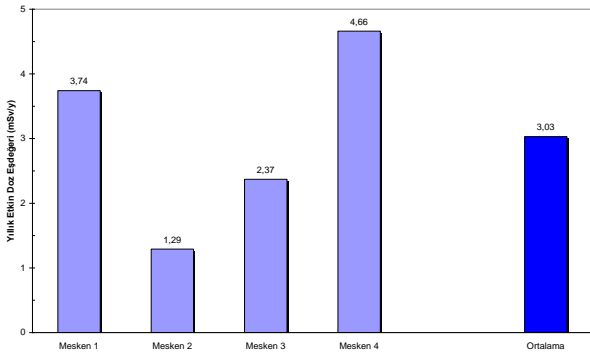
Kod	Konumlandığı Yer	Alfa İz Yoğunluğu	C_{Rn} (Bq/m^3)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Nem (%)
Y1	Sondaj kuyusu	-	-	32	26
Y2	(batı yönü)	1918	45		
Y3	Sondaj kuyusu	-	-	32	25
Y4	(doğu yönü)	2092	49		
Y5	Mesken 1	19744	465	30	40
Y6		3182	75		
Y7		6276	148		
Y8	Mesken 2	4402	104	32	35
Y9		2920	69		
Y10	Mesken 3	14165	333	28	30
Y11		5797	136		
Y12	Mesken 4	5012	118	28	37
<i>Sondaj kuyusu ölçümleri için aritmetik ortalama</i>			47	32	26
<i>Mesken ölçümleri için aritmetik ortalama</i>			181	29	36



Şekil 3. Deregümü ve Yakaören meskenlerinde ölçülen radon konsantrasyonları dağılımı.

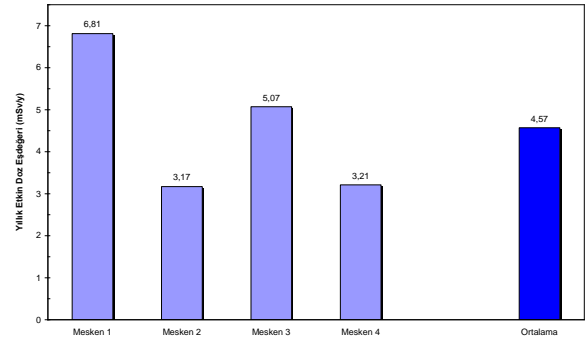
Tartışma

Atmosferik radon yoğunluğu ve sularındaki flor konsantrasyonları dünya ve ülke ortalamalarından çok daha yüksek olan Isparta ili için bina içi radon seviyelerinin ve sularındaki flor düzeylerinin belirlenmesi halk sağlığını yakından ilgilendiren çok önemli bir konudur. Sulardaki radon ile florun birleşerek radon florid oluşturabileceği yönündeki çalışmalar, bu yöreyi konunun bilimsel olarak araştırılabileceği ender bir bölge haline getirmektedir. Aşırı derecede florun, genellikle içme suları yoluyla alınması sonucu



Şekil 4. Deregümü meskenlerinde radon nedeniyle alınacak yıllık doz miktarları (Deregümü köyündeki bina içi ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 120Bq/m³'lük ortalama radon konsantrasyonu kullanılarak hesaplanmış, meskenlere ait doz hesaplamalarında ise Tablo 1'de verilen radon konsantrasyonlarının ortalamaları baz alınmıştır).

oluşan endemik florozis önemli bir halk sağlığı problemidir ve prevalansı jeolojik çevreye bağlı olarak artabilir. Volkanik alanlar yüzey veya yer altı sularındaki yüksek floridlerden dolayı florozisle ilişkilendirilirler.



Şekil 5. Yakaören meskenlerinde maruz kalınacak yıllık etkin doz miktarları (Meskenler için Tablo 2'de verilen radon konsantrasyonlarının ortalamaları kullanılmış, Yakaören köyü için ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise 181Bq/m³'lük bina içi radon konsantrasyonu ortalamasıyla hesaplanmıştır).

Gölcük volkanizması üzerinde kurulu Isparta ili, 50 yılı aşkın süredir endemik florozis bölgesi olarak bilinmektedir. Bölgede yapılan ilk çalışmalarda (46, 47) çocuklarda dental florozis oranı %100 olarak tespit edilmiş ve florozisin içme suyundaki yüksek florid düzeyi ile (1.15-3.6 mg/l) ile ilgili olduğu bildirilmiştir (47). 1996 yılında Isparta içme suyu kaynaklarından Gölcük gölü, Eğirdir gölü ve Andık deresinde yıllık florid seviyelerini ölçülmüş ve ortalamalar, yıllık en düşük ve yüksek dozları göstermek üzere sırasıyla, 1.2 ± 0.29 (0.79-1.55mg/l), 0.22 ± 0.077 (0.14-0.35mg/l) ve 2.96 ± 0.31 (2.55-3.40mg/l) olarak bildirilmiştir (48). Uşmen ve ark. tarafından 1997 yılında ülke genelinde yapılan ölçümlerde, Isparta merkezindeki sulara florid konsantrasyonunun 0.15-2.16 mg/l arasında olduğu tespit edilmiştir (49). 2003 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise, il merkezi sularındaki florid seviyesinin 0.15-1.90mg/l arasında olduğu rapor edilmektedir (50). Davraz ve ark. 1990-2003 yılları arasında Gölcük krater gölündeki florid seviyelerinin 1.4-2.61mg/l ve Andık deresi için ise 2.61 ile 5.3mg/l arasında değiştiğini bildirmiştir (4). Isparta şehrinde içme suyu 1962'den 1995'e kadar Gölcük gölü ve Andık deresinden sağlanmış, şebeke suyundaki florid düzeyinin düşürülmesi amacıyla 1995 yılından itibaren (florid düzeyi WHO içme suyu standartlarına uygun olan) Eğirdir gölünden yararlanılmaktadır. Ancak Andık deresinden

şehir suyunun sağlandığı bazı bölgelerde hala WHO standartlarının (1.5mg/l) üstünde florid içeren içme suyu kullanıldığı bildirilmiştir (4). 2010 yılında Isparta merkeze yakın Deregümü köyünde yapılan bir çalışmada ise içme suyu olarak kullanılan kuyu suyunda flor miktarı 1.83mg/l olarak ölçülmüş ve bölge halkında florozis oranının %97.5 olduğu bildirilmiştir (51). Dental florozis Isparta halkı için önemli bir problem olmaya devam etmektedir. Sulardaki yüksek florun kaynağı olarak ise bölgenin jeolojisi ve volkanik yapısı gösterilmektedir. Gölcük gölü ve Andık sularındaki yüksek floridin bölgedeki volkanik kayalardan apatit'in ya da florid içeren mika ve amfibollerin çözünmesi sonucu oluştuğu gösterilmektedir. (4). Gölcük krateri, Deregümü ve Yakaören köylerini de içine alan, Gölcük volkanizmasından aşağıya sürüklenen tüfit ve pomzaların en yoğun olduğu bildirilen bu bölgede yapılmış karasal kaynaklı gama radyoaktivitesinin ölçüldüğü başka bir çalışmada ise, soğurulmuş doz hızlarının 280-365nGy/saat arasında değiştiği ve dünya ortalamasının yaklaşık 6.5 katına kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Isparta il merkezi ve yakın çevresine ait ortalama soğurulmuş doz hızının 267nGy/saat olduğu rapor edilen bu çalışmada, bölgedeki yüksek radyasyonun kaynağının Gölcük volkanitleri ile Gölcük formasyonu üyelerinin olabileceği bildirilmektedir. (39). Aynı çalışmada, Isparta il merkezi ve civarında ölçülen soğurulmuş doz hızı, doğal radyonüklitlerin katkıları bakımından da incelenmiş ve radonun kaynaklandığı Uranyum-238 ile Toryum-232 nin katkısının %80 civarında olduğu bildirilmiştir (39). Bu bulgular, Isparta'da gözlenen yüksek atmosferik radon düzeyleri ile paralellik göstermektedir.

Jeolojik çevreye bağlı olarak oluşan ve halk sağlığını ilgilendiren diğer bir tehdit ise inhalasyon ve içme suları yoluyla vücudumuza aldığımız radyoaktif radon gazıdır. Yüksek seviyede atmosferik radona maruz kalmanın akciğer kanseri riskini artırdığı, sularda bulunan radonun ise atmosfere geçerek etkili olabileceği bildirilmektedir. Radon bulunduran suyu içmenin ise kesin olmamakla birlikte mide

kanseri riskini artırdığına dair endişeler vardır. Genelde musluk suyundan açığa çıkan ve solunan radon, içme suyuyla alındıktan daha çok risk içerir (52). Kayalar ve topraktan radonun salınımı, bu jeolojik yapıların uranyum ve radyum ihtiva eden mineraller içermesiyle ilişkilidir. Literatürde yer altı sularında radon ve florid arasında pozitif bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (53, 54). A.B.D.'de yer altı sularındaki radon ve uranyum konsantrasyonlarının dağılımının incelendiği bir alan çalışmasının sonucunda, bu iki element arasında pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Yer altı sularındaki yüksek florid ve alkalinitenin, radon konsantrasyonunun yüksek olabileceği yönünde hidro-jeokimyasal belirtiler olduğu ve bu suları çevreleyen kayalardan radonun ana kaynağı olan uranyumun mobilizasyonunu sağlayacak kimyasal reaksiyonlara işaret ettiği bildirilmektedir (53). Radonun sularda birikmesini etkileyen elementlerle ilgili olarak yapılan başka bir çalışmada ise sulardaki uranyum ve floridin, sudaki radon düzeyini etkilediği ve flor iyonu arttıkça ²²²Rn'nin suda tutulumunun arttığı bildirilmiştir (54).

Bu çalışmada flor konsantrasyonu yüksek su kaynaklarını kullanan ve geniş bir alana yayılmış Gölcük volkanitlerinin oluşturduğu formasyon üzerinde bulunan Yakaören ve Deregümü köylerindeki atmosferik radon düzeyleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda Yakaören ve Deregümü köylerinde 46Bq/m³ ile 465Bq/m³ arasında değişen bina içi radon konsantrasyonları tespit edilmiştir. Gölcük kraterine daha yakın bir konumda bulunan Yakaören köyündeki meskenler için 181Bq/m³ seviyesinde bir aritmetik ortalama söz konusuysen, Deregümü köyü meskenlerdeki ortalama radon düzeyinin 120Bq/m³ olduğu bulunmuştur. Bu ortalamalar TAEK'in meskenler için belirlediği 400Bq/m³'lük müdahale düzeyinin altında olmakla birlikte, ölçüm yapılan meskenlerin sadece %6'lık kısmında 50Bq/m³'ten daha düşük radon yoğunluğuna rastlanması oldukça dikkat çekici bir bulgudur. Çünkü, hem dünyadaki bina içi atmosferik radon konsantrasyonu ortalaması (25) hem de Türkiye'deki meskenler için

bildirilen ortalama (27) 50Bq/m^3 'ten küçüktür. Ülke ortalamasının belirlendiği çalışmada Türkiye'deki illerin üçte biri taranmış ve rasgele seçilmiş 1414 evde yaz ve kış dönemindeki üçer aylık periyotlarda yapılan ölçümlerin sadece %2'sinde radon gazı düzeyinin 200Bq/m^3 'ten daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (27). Bununla birlikte, çalışmamızda ölçüm yapılan meskenlerin %19'unda 200Bq/m^3 'ten daha yüksek radon yoğunluğu saptanmıştır. Yakaören ve Deregümü köylerindeki evlerin atmosferik radon yoğunlukları için elde edilen bu sonuçlar, Isparta merkezi için daha önce yapılmış ev ve işyerlerindeki ölçümlerle (17-21) uyumludur (Tablo 3). Isparta'ya ait tüm bina içi atmosferik radon ölçümü çalışmaları değerlendirildiğinde, ölçüm yapılan meskenlerin %1'inden fazlasında 200Bq/m^3 'ün üzerinde radon konsantrasyonlarının gözlemlenmesi durumunda kullanılan "radondan etkilenmiş bölge" tanımlamasının (32), Isparta il merkezi için geçerli olduğu açıktır.

ICRP'nin "Ev ve İşyerlerinde ^{222}Rn 'ye Karşı Korunma" hakkında yayınladığı 65 nolu raporda radon ve radon ürünlerinin solunmasının insan sağlığı üzerine etkileri incelenmiş ve radon kaynaklı alınacak yıllık etkin doz için müdahale limitleri 3-10mSv olarak belirlenmiştir (30). Yakaören ve Deregümü köylerindeki meskenler için elde edilen ortalama radon konsantrasyonlarına ait veriler yardımıyla, bu köylerdeki halkın evlerinde radon nedeniyle alacakları yıllık etkin dozlar hesaplanmıştır. Yakaören köyünde yaşayanlar için ortalama yıllık etkin doz eşdeğerinin 4.57mSv seviyesinde olduğu ve Deregümü köyü halkı içinse 3.03mSv 'lik bir ortalamanın söz konusu olduğu bulunmuştur.

Yakaören ve Deregümü köyleri meskenlerindeki etkin doz ortalamaları, her ne kadar ICRP'nin 10mSv/yıl değerindeki zorunlu müdahale düzeyinden daha küçük olsa da 3mSv 'lik alt limit değerini aşmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları ve Isparta ili için bu güne kadar yapılmış bina içi radon ölçümlerine ait farklı çalışmalarda rapor

Tablo 3. Isparta ili için yapılmış bina içi atmosferik radon ölçümü çalışmalarına ait sonuçlar.

Ölçüm Yapılan Yer	Yöntem	Ortalama Rn Düzeyi (Bq/m^3)	Referans
Isparta il merkezi (25 evde yapılan ölçümler)	Pasif ölçüm (CR-39)	164	Uluğ ve ark. 2004 (17)
Isparta il merkezi (9 mahalleye ait ev ve işyeri ölçümleri)	Aktif ölçüm (Alpha Guard)	179	Akyıldırım 2005 (18)
S.D.Ü. Merkezi (20 noktası)	Bigi ölçüm (CR-39)	188	Karakılıç ve ark. 2009 (19)
Isparta il merkezi (15 mahalledeki 30 işyeri)	Pasif ölçüm (CR-39)	144	Kürkçüoğlu M. ve ark. 2010 (20)
S.D.Ü. Dışhekimliği Fakültesi (20 noktası)	Pasif ölçüm (CR-39)	217	Kürkçüoğlu I. ve ark. 2010 (21)

edilen $144-217\text{Bq/m}^3$ arasındaki ortalamalar (17-21) göz önüne alındığında, Isparta'nın atmosferik radon seviyesi bakımından Türkiye genelinde en riskli illerden biri olduğu görülmektedir. İl merkezindeki radon davranışının kesin bir biçimde ortaya çıkarılabileceği ve halk sağlığına etkisi bakımından epidemiyolojik çalışmaların yapılabilmesi için atmosferik radon yoğunluklarının belirlenmesine yönelik çalışmaların genele yayılarak düzenli mevsimsel ölçümler şeklinde yürütülmesi gerekmektedir. Ayrıca, Isparta'da görülen yüksek radon ve flor konsantrasyonları (özellikle Gölcük volkanizmasının etkili olduğu bölgedeki) yer altı kaynaklı sulara bu iki elementin radon florid bileşiği oluşturabileceği yönündeki şüpheleri arttırdığından, radon ve flor arasındaki olası ilişkinin açıklığa kavuşturulabilmesi için bölgedeki sulara sistematik olarak radon ve flor ölçümlerinin, bu noktalarda yapılacak atmosferik radon ölçümleri ile eş zamanlı yürütülmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmanın yapılabilmesi için bina içi radon ölçümlerine izin veren Isparta Valiliği'ne ve dedektör analizleri için TAEK SANAEM Sağlık Fiziği Birimi elemanlarına teşekkür ederler.

Kaynaklar

1. D'Alessandro W. Human fluorosis related to volcanic activity: A review. *Environmental Toxicology Transaction: Biomedicine and Health* 2006;10: 21–30.
2. Sreedevi PD, Ahmed S, Made B, et al. Association of hydrogeological factors in temporal variations of fluoride concentrations in a crystalline aquifer in India. *Environ Geol* 2006;50:1-11.
3. WHO (World Health Organization). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Third Edition. Geneva. 2006; 221-459.
4. Davraz A, Sener E, Sener S. Temporal variations of fluoride concentration in Isparta public water system and health impact assessment (SW-Turkey) *Environ Geol* 2008; 56: 159-170.
5. Murray JJ (Ed.) *Appropriate use of fluorides for human health*. World Health Organization, Geneva 1986; 3.
6. Oruç N. Occurrence and problems of high fluoride waters in Turkey: an overview. *Environ Geochem Health* 2008; 30: 315-323.
7. Atabey E. *Tıbbi Jeoloji*. Ankara. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 2005; 216.
8. Varol E, Varol S. Çevresel bir hastalık olarak florozis ve insan sağlığı üzerine etkisi. *TAF Prev Med Bull* 2010; 9: 233-238.
9. IPCS. *Fluorides*. World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 227) Geneva. 2002; 5-268.
10. Küçükeşmen Ç, Sönmez H. Diş hekimliğinde florun, insan vücudu ve dişler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. *SDÜ Tıp Fak Derg* 2008;15: 43-53.
11. Burt BA. The changing pattern of systemic fluoride intake. *J Dent Res* 1992;71: 1228-1237.
12. Alvarez JA, Rezende KM, Marocho SM, et al. Dental fluorosis: Exposure, prevention and management. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009;14: 103-107.
13. Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA. *Fluoride in dentistry*. Copenhagen, Munksgaard; 1996: 69-152.
14. Aoba T. The effect of fluoride on apatite structure and growth. *Crit Rev Oral Biol Med* 1997; 8:136-153.
15. Özay Ertürk MS. Florozisli ve sağlıklı süt ve daimi dişlerde flor miktarının ve dentin geçirgenliğinin in vitro karşılaştırılması (Doktora tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü 2006-İsparta
16. WHO. *Fluorides and oral health*. Report of a WHO expert committee on oral health status and fluoride use. World Health Organization (WHO Technical Report Series 846) Geneva; 1994.
17. Uluğ A, Karabulut MT, Çelebi N. Radon measurement with CR-39 track detectors at specific locations in Turkey. *Nuclear Technology & Radiation Protection* 2004; 19-1: 46-49.
18. Akyıldırım H. Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Isparta-2005.
19. Karakılıç V, Bayraktar G. Kürkçüoğlu ME, ve ark. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde radon ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2009; 13-3: 201-207.
20. Kürkçüoğlu ME, Karakılıç V, Cof G, ve ark. Isparta il merkezindeki iş yerlerinde atmosferik radon ölçümleri. Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi 14-17 Eylül İstanbul-Türkiye 2010; 757.
21. Kürkçüoğlu I, Karakılıç V, Kürkçüoğlu ME. Assessment of atmospheric radon exposure of the dental faculty staff in Isparta in Turkey. 34th Annual Conference of the European Prosthodontic Association and 1st Conference of the Association of Prosthetic Dentistry of Kosovo, September 23-25 Prishtina-Kosovo 2010; 85.
22. NCRP Report No 97. *Measurement of radon and radon daughters in air*. 1988; 14.
23. UNSCEAR Report. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources*. Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York. United Nations Publications; 2000.
24. NCR National Research Council. *Health effects of exposure to radon*. Committee on the biological effects of ionizing radiations.

Washington. DC: National Academy Press; 1999.

25. WHO. Radon and Cancer. World Health Organization Fact Sheet 2005; No: 91.

26. Durrani AS, Ilic R. Radon measurements by etched track detectors: Applications in radiation, earth sciences and environment. Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, Eds., World Scientific: Singapore; 1997: 163.

27. Köksal EM, Çelebi N, Ataksor B, ve ark. A Survey of ²²²Rn concentrations in dwellings of Turkey. J Radioanal Nucl Chem 2004; 259-2: 213-216.

28. Resmi Gazete. (24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinin, 29 Eylül 2004 tarih ve 25598 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile değişik 37. maddesi) 2004.

29. TAEK Teknik Rapor. Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin izlenmesi 2008; 17.

30. ICRP. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication. Ann ICRP Oxford:Pergamon 1993; No:65.

31. WHO Handbook on indoor radon: a public health perspective / edited by Hajo Zeeb. and Ferid Shannoun. World Health Organization 2009; 83.

32. Denman AR, Phillips PS. Workplace radon in Northamptonshire. Environmental Management and Health 1998; 9/5: 194-199.

33. Darby S, Deo H, Auvinen A, et al. Residential radon and lung cancer: Detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand J Work Environ Health 2006; 32 (Suppl 1): 1-83.

34. Akten M. Isparta ovasının optimal alan kullanım planlaması üzerine bir araştırma, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi. Isparta-2008.

35. Irlayıcı A. Isparta ovası hidrojeolojisi ve yer altı suları ile ilgili çevre sorunları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Isparta-1993.

36. Demer S. Isparta ve yakın çevresi yer altı sularının hidrojeolojik hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal incelenmesi ve içme suyu kalitesinin izlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi. Isparta-2008.

37. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul> (Erişim Tarihi: 25.03.2010) 2009.

38. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/veridegerlendirme/i1-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA> (Erişim Tarihi: 25.03.2010) 2010.

39. Kalyoncuoğlu ÜY, Anadolu NC, Baykul A, ve ark. Isparta şehir merkezi yüzey toprağındaki radyoaktivite düzeyi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2010; 14-1: 111-119.

40. Monnin MM, Seidel JL. Radon measurement techniques. In: Durani SA and Ilic R Eds. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. Earth Sciences and Environment. World Scientific, Singapore; 1997: 51-65.

41. Papastefanou C. An overview of instrumentation for measuring radon in soil gas and groundwaters. J Environ Radioact 2002; 63: 271-283.

42. Radosys 2000. User's Manual (revised at 07/25/01).

43. <http://www.radosys.com/products.html>, (Erişim Tarihi: 25.03.2010) 2010.

44. UNSCEAR Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York: United Nations Publications 1993.

45. Değerlier M. Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Adana-2007; 145.

46. Usmen E. Isparta il, ilçe ve köylerinde diş fluorosisi. İstanbul Üni Diş Hekimliği Fak Dergisi 1976; 10: 285-296.

47. Samsar E. Fluoroz. Akdeniz Üni Isparta Müh Fak 1. Müh Haftası, 7-10 Haziran 1983, Bildiriler, 45-48.

48. Kır E. Isparta ili içme suyu kaynaklarında nitrat, fosfat ve florür dağılımının araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 1996-Isparta.
49. Usmen E, Altay N, Ölmez S, ve ark. Türkiye genelinde sularındaki flor seviyeleri. TDBD 1997; 39: 42-43.
50. Ulusu T, Ölmez S, Köse MR, ve ark. T.C. Sağlık Bakanlığı Ana Çocuk Sağlığı ve Aile Planlaması Genel Müdürlüğü. Türkiye'nin su fluor haritası. Ankara: Bakanlık Basımevi, 2003; 185.
51. Keçeci AD, Üreyen Kaya B, Gültaş E, ve ark. Isparta'da dental florozis sorunu çözüldü mü? Deregümü Köyü örneği. 17.Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi 24-26 Haziran Bursa 2010; 180-181.
52. NRPB, 2000. Health risks from radon. National Radiological Board, UK.
53. Veeger AI, Ruderman NC. Hydrogeologic controls on Radon-222 in a buried valley-fractured bedrock aquifer system. Ground Water 1998; 36: 596-604.
54. Salih I, Backstrom M, Karlsson S, et al. Impact of fluoride and other parameters on radon concentration in natural waters. Appl Radiat Isot 2004; 60: 99-104.