

**Bu makale, 2008. Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı (Editör: Dr. Eşref Atabey), ISBN: 978-975-7946-33-5, Sayfa: 79-84 yayımlanmıştır.**

## **Köprübaşı (Manisa) uranyum sahasındaki radyoaktivite düzeyi ve insan sağlığı açısından değerlendirilmesi**

*Human health risk assessment of radioactivity levels in Köprübaşı (Manisa) uranium area*

**Celalettin ŞİMŞEK**

*Dokuz Eylül Ü. Torbalı Meslek Yüksekokulu, Torbalı/İzmir*

*celalettin@deu.edu.tr*

### **Öz**

Türkiye'nin en önemli uranyum yataklarından bir olan Köprübaşı uranyum sahası Ege Bölgesinde Manisa İli sınırları içerisinde yer alır. Köprübaşı uranyum yatakları "Neojen yaşlı" ayrılmış kumtaşı ve çakıldaşları içerisinde gelişmiştir. Uranyum bulunduran kumtaşı ve çakıldaşı serisi bölgedeki en önemli yeraltı suyu akiferini oluşturur. Yürütülen bu çalışmada Köprübaşı ve çevresindeki akifer ortamı oluşturan kaya, sediman ve sulardaki doğal radyoaktivite düzeyinin saptanması için kaya ve toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  analizleri, sulara ise doğal U ve  $^{226}\text{Ra}$  analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en önemli yeraltı su akiferini oluşturan çakıldaşı ve kumtaşı içerisinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama değerleri 49,5, 43,9 ve 685,2 Bq/kg arasında değiştiği belirlenmiştir. Uranyum cevherinin yer aldığı Kaşar bölgesindeki kumtaşı ve konglomeraların  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi UNSCEAR (2000) belirtilen 40 Bq/kg değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bölgede içme ve sulamada kullanılan yeraltı suyundan alınan örneklerde ise 0,12–0,51 Bq/l arasında değişen  $^{226}\text{Ra}$ , ve 0,09–27,1 µg/l arasında değişen U belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Uranyum madeni, Radyoaktif elementler, Köprübaşı, Türkiye

### **Abstract**

The important uranium site is Koprubasi which is located within Manisa country near the Izmir in Aegean Region. This uranium ores in Koprubasi basin originate from Neogene aged altered sandstone and conglomerate layers that are main groundwater aquifer in the region. A main objective of this study is to determine the radioactivity levels of aquifer medium that contain uranium ore, rocks and sediments in Koprubasi Boundary in Turkey. In order to determine the radioactive elements level in aquifer medium the activity concentration of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  were done in rock and sediments samples, U and  $^{226}\text{Ra}$  were done in groundwater samples. The activity levels of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in uranium bearing conglomerate and sandstone aquifer were measured 49,5, 43,9 and 685,2 Bq/kg, respectively. The  $^{226}\text{Ra}$  activity exceeds 40 Bq/kg of the UNSCEAR (2000) activity level. In addition,  $^{226}\text{Ra}$  range from 0,12-0,51 Bq/l and and U concentration range from 0,09 to 27,1 µg/l in groundwater that are used for irrigating and drinking.

**Key words:** Uranium mine, radioactive elements, Köprübaşı, Turkey

### **1. Giriş**

Çevremizdeki doğal radyoaktivitenin ana kaynağını uranyum ve toryum dizileriyle potasyumun K-40 numaralı radyo izotopu oluşturmaktadır. Bunların arasında, insana etkileri

yönünden en önemli radyoaktivite kaynağı, uranyum dizisindeki radyumdan oluşan radon gazıdır. Uranyumun oluşmasında kumtaşları ve diğer kırıntılı birimlerin etkin olmasına bağlı olarak dünya uranyum rezervlerinin büyük bir kısmı kumtaşı ve kırıntılı birimlerin içerisinde gelişmiştir (Adler, 1974). Kumtaşlarının bu özellikleri yanında içerisinde önemli oranda yeraltı suyu bulundurur. Yeraltı suları yüzeyden akifer ortama girdikten sonra belli bir süre su-kayaç ilişkisine bağlı olarak etkileşir ve bünyesine çeşitli radyoaktif ve diğer elementleri katar. Uranyum cevheri veya madenlerinin bulunduğu akifer ortamında, sudaki radyoaktif element düzeyi bu yörede yaşayan insanların sağlığı için önem taşır.

Türkiye’de en önemli uranyum yataklarının biri ise Manisa İli sınırlarında yer alan Köprübaşı ilçesinde yer almaktadır. Bölgedeki uranyum madeni kısmen işletilmiş ve sonra terkedilmiş olması nedeniyle de su ve çevre ortamındaki radyoaktif element düzeyinin belirlenmesi çevredeki halk sağlığı için, durumun ortaya konulması yönünden önem taşımaktadır. Yürütülen bu çalışma kapsamında, Köprübaşı havza sınırları içerisinde yer alan ve kısmen işletilmiş olan uranyum maden sahası, çevre kayaçlar ve su kaynaklarından örnekler alınarak radyoaktif elementlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Çalışma alanının genel özellikleri

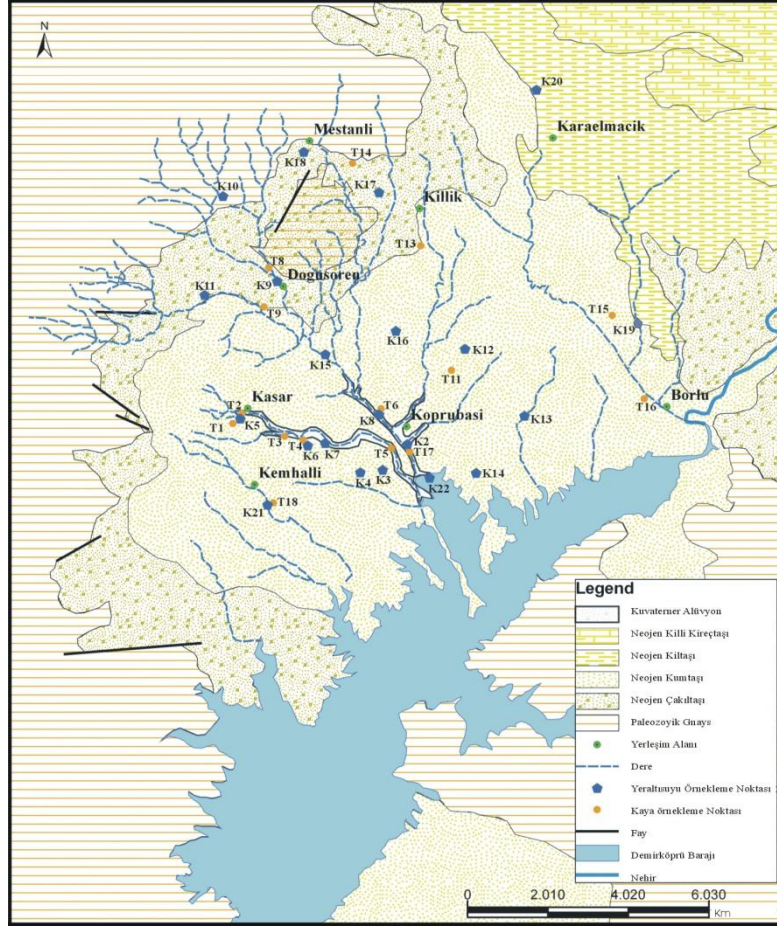
Çalışma alanı, Ege Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Manisa İline bağlı Köprübaşı havzası ve çevresini oluşturur. Köprübaşı havzası içerisinde yer alan yerleşim alanlarında 2000 nüfus verilerine göre 25000’e yakın bir nüfusa sahiptir. Halkın büyük bir kısmı tarım ve hayvancılık yaparak geçimini sağlamaktadır. Çalışma alanının güneyinde yer alan Demirköprü Barajı bölgedeki en önemli yüzeysel su kaynağını oluşturur. Köprübaşı ilçesi ve çevresinde yer alan yüzeysel drenaj ağları Demirköprü barajına bağlıdır. Genellikle çalışma alanı iç Ege bölgesi iklim tipini yansıtmakta ve son 20 yıllık yağış verilerine göre yıllık ortalama 750.3 mm yağış düşmektedir (Manisa, 2004).

### 2.1. Jeolojik ve hidrojeolojik yapı

Köprübaşı ve çevresinde temel kayasını Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Ege Bölgesinde yaygın olarak gözlemlenen birimler, çalışma alanında genel olarak biyotit ve bantlı gnayslarla temsil edilmektedir (Yılmaz, 1982; Kaçmaz ve Nakoman, 2006). Temel kayası üzerine uyumsuzlukla Neojen yaşlı seriler gelmektedir. Neojen yaşlı seriler, konglomera, kumtaşı, silttaşı ve üst seviyelerde ise killi kireçtaşlarından oluşur (Şekil 2). Yüzeysel drenaj ağları ve çevresinde ise Kuvaterner yaşlı alüvyonel sedimanlar yer almaktadır. Uranyum cevherleşmeleri genellikle temel kayasına yakın olan Kaşar ve Killik mevkiilerinde konglomera ve kumtaşı seviyelerinde oluşmuştur.

Özellikle, Kaşar kesiminde uranyum yataklarından kısmen işletilmiş ve sonra terkedilmiştir. Bu bölgede MTA tarafından yapılan araştırmalarda 3,000 tona yakın uranyum cevheri belirlenmiştir. Genellikle  $U_3O_8$  formunda olan uranyum cevheri % 0,05 ile % 0,08 arasında değişen bir tenöre sahip olduğu belirtilmektedir (Yılmaz, 1982). Çalışma alanını oluşturan Köprübaşı uranyum sahasında, gerek uranyum gerekse uranyumun yer aldığı kumtaşı ve konglomeralar oldukça ayrılmış olduklarından, silt, kum ve çakıl boyutunda malzeme üretir. Bu malzemeler aşınma ve yüzeysel drenajlarla taşınarak dere yataklarını doldurur ve alüvyonları oluşturur (Şekil 1).

Çalışma alanında iki önemli yeraltı suyu akiferi belirlenmiştir. Birincisi derin yeraltı sularının yer aldığı kumtaşı ve konglomeralar, diğeri ise yüzeysel alüvyon akiferler içerisinde yer alan sığ yeraltı sularıdır. En önemli akifer olan konglomera ve kumtaşları ise temel kayaları hidrolojik olarak bağlantılı olup, uranyumun taşınım ve oluşmasında önemli rol oynarlar. Konglomera ve kumtaşlarından üretim yapan kuyularının derinlikleri 60-130 m arasında olup, 3-5 lt/sn arasında değişen debilerle su sağlamaktadır. Bahsedilen su kuyularında yapılan su seviye ölçümlerinde, su derinliğinin yüzeyden 20-38 m derinde olduğu ve genel akım yönünün ise Demirköprü barajına doğru olduğu belirlenmiştir. Yüzeysel akiferdeki yeraltı suyu ise yüzeyden 1-3 m derinde olup genelde derinliği 4-6 m arasında değişen sığ kuyulardan üretim yapılmaktadır. Bu kuyulardan üretim yapılan sular tarımda sulama amaçlı kullanılmaktadır. Köprübaşı ilçesi ve çevre köylerinin içme ve sulama su ihtiyacı örnekleme yapılan kuyulardan sağlanmaktadır. Köprübaşı İlçesinin içme su kuyusu ise K2 nolu kuyudan sağlanmaktadır (Şekil1).



Şekil-1 Çalışma alanına ait jeoloji ve örnekle lokasyon haritası (Jeoloji haritası Yılmaz, 1982'den değiştirilerek hazırlanmıştır)

### 3. Örnekleme ve analiz yöntemleri

Çalışma alanında kaya ve sedimanları temsil eden alanlardan toplam 16 örnek alınmıştır. Uranyum taşınımını belirlemek için uranyum yatağı önünden aşağı kesimlere doğru dere sedimanlarından örnekleme yapılmıştır. Örneklemede auger kullanılarak, 25 cm derinliğindeki açılan bir delik içerisinde yaklaşık 2 kg örnekleme yapılmıştır. Kaya örnekleri ise kaya yüzeyinden parça örnek alınmış ve örnekler iki kat naylon poşetlerde muhafaza edilmiştir. Yeraltısuyu örnekleri ise bölgedeki açılmış olan derin ve sığ kuyulardan yapılmış olup, bir adet baraj suyu örneği ile birlikte toplamda 21 örnek alınmıştır. Kuyularda örnekleme yapılmadan önce en az 10 dakika üretim yapılmış ve 0.45 -µm filtreden geçirilerek 50 ve 500 ml polietilen şişelerde muhafaza edilmiştir. Suda çözülmüş uranyum konsantrasyonu ise Kanada ACME laboratuvarında ICP-MS ile analiz edilmiştir. Kayada radyoaktivite analizleri Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde gama spektrometre ile ölçülmüştür. Örnekler 24 saat 105<sup>0</sup>C'de kurutulduktan sonra kırılıp öğütülerek 2 mm elekten geçirilip, yaklaşık 100 g homojen örnek elde edilmiştir. Örnekler 44X54mm ebatında polietilen şişelere aktarılarak <sup>226</sup>Ra ve <sup>232</sup>Th dengesinin sağlanması için 45 gün bekletilmiştir. Daha sonra gama spektrometre ile <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite değerleri ölçülmüştür. Su örneklerinde <sup>226</sup>Ra konsantrasyonu ise Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde geliştirilmiş olan kollektör yöntemi ile ölçülmüştür (Kumru, 1992). Bu yöntem örneklerdeki radyumdan oluşan radon ürünlerinin alfa aktiviteleri sayımından hareketle radyum tayinine dayalıdır. Çalışmada kullanılan haritalar ArcMap 9.1 programı kullanılarak haritalanmıştır.

## 4. Akifer ortamdaki radyoaktif elementler

### 4.1. Kaya ve sedimanlar

Çalışma alanındaki uranyum madeni, gnays, kumtaşı-konglomeralar ve sedimanlarda radyoaktivite düzeyi araştırılmıştır. Bu kapsamda kaya ve sediman örnekleri üzerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktif analizleri yapılmıştır. Uranyum, kaya ve sediman noktalarına ait radyoaktivite analiz sonuçları Tablo 1’de ortalama, minimum ve maksimum değerler olarak verilmiştir. Analiz sonuçları, UNSCEAR (2000) tarafından belirlenen dünyadaki radyoaktivite aralıklarına göre değerlendirilmiştir. Radyoaktivite analiz sonuçlarına göre çalışma alanındaki uranyum, kaya ve sedimanlarda farklı oranda radyoaktivite belirlenmiştir. Kaşar bölgesinde yer alan eski uranyum maden sahasında (T1) ve uranyumun depolandığı MTA tesisindeki uranyum cevheri (T6)  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  değerleri ortalama 5369,8, 124,8 ve 10,0 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Temel kayası olan Gnays üzerine uyumsuzlukla gelen çakıltaşı ve kumtaşı içerisinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama değerleri 49,5, 43,9 ve 685,2 Bq/kg olup, en yüksek  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi T13 ve T18 nolu kumtaşı ve çakıltaşı örneklerinde saptanmıştır (Şekil 1). Kasar ve Killik bölgelerinde yer alan kumtaşı ve konglomeraların  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi UNSCEAR (2000) belirtilen 40 Bq/kg değerinin üzerindedir. Buna karşılık, doğu kesimlerinden alınan kumtaşı örneklerinde düşük  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  belirlenmiştir. Radyoaktivitenin belirlenmesi için uranyum maden sahasına yakın noktalardan alınan sediman örneklerde ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 73,9, 44,4 ve 928,2 Bq/kg olup UNSCEAR (2000) belirtilen değerlerin üzerindedir. Sedimanlardaki radyoaktif elementler uranyum sahasından uzaklaştıkça azalmaktadır. Sedimanlardaki aktivite konsantrasyonlarına göre, maden sahasından erozyon ve su yoluyla uranyum içerikli sedimanın aşağı kesimlere taşındığını göstermektedir.

### 4.2. Yeraltı suları

Kaya ve sedimanlarda belirlenen radyoaktif elementlerin, bölgedeki su kaynakları üzerindeki etkisinin belirlenmesi için yüzey ve yeraltı su kaynaklarından örnekleme yapılmıştır. Çalışma alanında dere sedimanlarının oluşturduğu yüzeysel alüvyon akiferden (K2, K5, K7 and K8), baraj suyundan (K22) ve kumtaşları içerisindeki yeraltı sularından (K3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 and 21) su örnekleri alınmıştır (Tablo 2). Örnekleme yapılan kuyular çevre köylerin ve özel sahil kuyuları olup içme ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. K2 nolu kuyu ise Köprübaşı İlçesine içme suyu sağlamaktadır. Alınan su örnekleri üzerinde U ve  $^{226}\text{Ra}$  analizi yapılmıştır. İçme sularında uranyum konsantrasyonu EPA (2001)’e göre 20 µg/l ve WHO (2004)’e göre ise 15 µg/l olarak öngörülmektedir. Çalışma alanında içme ve sulama sularının sağlandığı derin yeraltı sularında 0,07 ile 24,97 µg/l, yüzeysel akifer içerisindeki sulara 3,28-24,07 µg/l, baraj suyunda ise 4,06 µg/l U ölçülmüştür (Şimşek, 2007a ve Şimşek, 2007b). Uranyum madenine yakın sediman ve kumtaşları içerisindeki yeraltı sularında uranyum konsantrasyonu EPA ve WHO standartların üzerindedir. Diğer bir radyoaktif element olan radyum uluslararası standartlarda içme sularında toplam  $^{226}\text{Ra}+^{228}\text{Ra}$  0,185 Bq/l, sadece  $^{226}\text{Ra}$  için ise 0,55 Bq/l olarak belirlenmiştir (EPA, 1991). Bu bağlamda çalışma alanındaki yüzeysel akiferdeki sulara 0,31-0,47 Bq/l, kumtaşı içerisindeki yeraltı sularında 0,12-0,41 Bq/l, baraj suyunda ise 0,38 Bq/l olarak belirlenmiştir. Radyum çalışma alanındaki örnekleme yapılan tüm sulara EPA standart değer olan 0,55 Bq/l’nin altında değer vermiştir.

Tablo-1 Örnekleme yapılan kaya ve sedimanlardaki radyoaktivite sonuçları (Simsek, 2007b)

| Radyoaktif Elementler | Oranlar | Uranyum n=2 | Gnays n=2 | Konglomera ve kumtaşı n=7 | Alüvyon n=5 | UNSCEAR Oranları |
|-----------------------|---------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|------------------|
| Ra-226<br>Bq/kg       | Min     | 4526,4      | 10,0      | 17,7                      | 10,8        | 8                |
|                       | Max     | 6213,1      | 38,6      | 109,9                     | 208,6       | 160              |
|                       | Ort.    | 5369,8      | 24,3      | 49,5                      | 73,9        | 40               |
| Th -232<br>Bq/kg      | Min     | 123,1       | 51,5      | 26,9                      | 32,6        | 4                |
|                       | Max     | 126,4       | 54,3      | 76,7                      | 57,4        | 130              |
|                       | Ort     | 124,8       | 52,9      | 43,9                      | 44,4        | 35               |
| K-40<br>Bq/kg         | Min     | <10,0       | <10,0     | 222,6                     | 606,9       | 100              |
|                       | Max     | <10,0       | 1246,6    | 1040,8                    | 1386,5      | 700              |
|                       | Ort     | <10,0       | 623,4     | 685,2                     | 928,2       | 370              |

n: örnekleme sayısı

Tablo-2 Sulardaki U ve Ra analiz sonuçları

| Örnekleme No | X      | Y       | Z(m) | U (µg/l) | <sup>226</sup> Ra (Bq/l) |
|--------------|--------|---------|------|----------|--------------------------|
| K2           | 622014 | 4289685 | 249  | 13,38    | 0,31                     |
| K3           | 621481 | 4289103 | 260  | 0,66     | 0,21                     |
| K4           | 620995 | 4289048 | 289  | 2,1      | 0,33                     |
| K5           | 618387 | 4290254 | 370  | 21       | 0,37                     |
| K6           | 619854 | 4289651 | 293  | 6,21     | 0,40                     |
| K7           | 620228 | 4289707 | 284  | 24,07    | 0,47                     |
| K8           | 621402 | 4290344 | 260  | 3,28     | 0,33                     |
| K9           | 619188 | 4293335 | 328  | 0,07     | 0,33                     |
| K10          | 618013 | 4295239 | 466  | 27,1     | 0,42                     |
| K11          | 617618 | 4293022 | 349  | 1,12     | 0,40                     |
| K12          | 623266 | 4291818 | 324  | 4,53     | 0,31                     |
| K13          | 624555 | 4290315 | 280  | 0,09     | 0,16                     |
| K14          | 623504 | 4289037 | 275  | 10,24    | 0,14                     |
| K15          | 620234 | 4291695 | 226  | 0,79     | 0,21                     |
| K16          | 621767 | 4292218 | 269  | 2,25     | 0,31                     |
| K17          | 621401 | 4295324 | 373  | 20,76    | 0,18                     |
| K18          | 619769 | 4296231 | 476  | 22,79    | 0,12                     |
| K19          | 627418 | 4212716 | 258  | 10,44    | 0,18                     |
| K20          | 624817 | 4297623 | 500  | 10,98    | 0,20                     |
| K21          | 618983 | 4288325 | 288  | 24,97    | 0,21                     |
| K22          | 622498 | 4288966 | 256  | 4,06     | 0,35                     |

## 5. Sonuç ve öneriler

Köprübaşı ve çevresindeki kaya ve su ortamında yapılan radyoaktif element analizlerinde, bölgedeki jeolojik birimlerin farklı oranlarda radyoaktif element içerdikleri belirlenmiştir. Özellikle uranyum cevheri içeren kumtaşı ve konglomeralarda ve Uranyum madenine yakın alınan dere sedimanlarında UNSCEAR (2000) ortalamalarının üzerinde <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K belirlenmiştir. Çalışma alanında yer alan konglomeraların ve kumtaşlarının en önemli yeraltı su kaynağı olması nedeniyle, bu akiferde açılan kuyulardan alınan su örneklerinde 0,09-27,1 µg/l arasında değişen U, 0,12-0,47 Bq/l arasında değişen <sup>226</sup>Ra belirlenmiştir. Özellikle Köprübaşı ilçesine içme suyu sağlayan K2 nolu örnekleme noktasında U ve <sup>226</sup>Ra EPA (2001) ve WHO (2004) standartlarının altındadır. Çalışma alanında yer alan uranyum cevherinin ince taneli olması nedeniyle su ve rüzgâr yoluyla çevreye kolayca taşınabilecek bir özelliğe sahiptir. Eski maden sahasından su yoluyla aşağı kesimlere taşınan uranyum bileşimli sedimanların önlenmesi çevresel ve su kalitesi üzerine etkileri azaltacaktır. Ayrıca, içme suyu olarak kullanılan kuyularda diğer kimyasal ve metal analizlerinin de yapılmasında yarar bulunmaktadır. Bu temel çalışmaların üzerine bölgedeki su ve topraktaki radyoaktif elementlerin insan sağlığı üzerine etkisinin daha detaylı bir çalışma ile ortaya konulması önerilmektedir.

## **Katkı Belirtme**

Bu çalışmaya mali açıdan destek veren Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu yönetimine, arazi çalışmalarında yardımcı olan Tekniker Osman Erdemirtekin'e, ayrıca bu bildiriye yapıcı görüşleri ile katkı sağlayan Dr. Yüksel Atakan'a teşekkür ederim.

## **Kaynaklar**

- Adler H.H (1974). Concept of uranium-ore formation in reducing environment in sandstone and other sediments; Formation of Uranium Ore Deposits, Proceedings of a Symposium Athens 6-10 May.
- Kaçmaz H, Nakoman ME (2006). The Effects of Mineralogic and Geochemical Features of The Gneisses of the Formation of Koprubasi (Manisa)Uranium Deposit. Science and Technology Bulletin on Earth Science: 48-49: 149-158
- Kumru M.N.(1992), Determination of radium-226 in environmental samples by the collector chamber method, Appl. Radiat. Isot. 43 (8);1031-1034
- Manisa, 2004. İl çevre durum raporu, pp 613.
- Simsek C. (2007a). Toxic elements in an uranium-bearing aquifer and their possible impact on groundwater quality, Koprubasi/Turkey, Fressenius Environmental Bulletin (in reviw).  
Simsek C. (2007b). Assessment of natural radioactivity in aquifer medium bearing uranium ores in Koprubaşı, Turkey, Environmental Geology; DOI 10.1007/s00254-007-1113-z
- United States Environmental Protection Agency ( 1991). National primary drinking water regulation radionuclides: proposed rule. Fed. Regist 56 (138): 34836-34862.
- UNSCEAR (2000). United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assesmbly, Report Vol I. Sources and Effects of Ionizing Radiation.
- Yılmaz H (1982). Köprübaşı uranyum yataklarındaki doğal radyoaktif dengesizlik hakkında, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C.25, 91-94.
- WHO (2004). World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality Third Edition.