



# Ağlayankaya plaj kumlarında doğal radyoaktivite düzeylerinin ve radyolojik tehlike indekslerinin değerlendirilmesi

Kadir Günoğlu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta-TÜRKİYE, kadirgunoglu@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Ağustos 2018 ve Kabul Tarihi 31 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.452831)

## Öz

Bu çalışmada, Şile-İstanbul'da bulunan Ağlayankaya plajından toplanan kumların doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek için <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K konsantrasyonları gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Kum numunelerindeki <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları, sırasıyla 35.170, 31.637 ve 382.284 Bq / kg ortalamaları ile 27.368 ile 41.773, 22.147 ile 40.125 ve 293.667 ile 463.582 Bq / kg arasındadır. Ölçümler sonucunda elde edilen <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları kullanılarak soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri, radyum eşdeğer aktivitesi, iç tehlike endeksi ve dış tehlike endeksi değerleri hesaplanmıştır. Bunların yanı sıra, radyasyon maruziyetinin bir sonucu olan yaşam boyu kanser riski (LCR) hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, hem radyolojik zarar indeksleri açısından hem de doz parametreleri açısından hiç bir zarar teşkil etmediği sonucuna varılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal radyoaktivite, kum, radyolojik tehlike indeksleri, Ağlayankaya plajı

## Assessments of natural radioactivity levels and radiological hazard indices in Ağlayankaya beach sands

### Abstarct

In this study, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K concentrations were measured by gamma spectrometry system to determine the natural radioactivity levels of sand collected from Ağlayankaya beach in Şile-Istanbul. The activity concentrations of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K in the sand samples are between 27.368 and 41.773, 22.147 to 40.125 and 293.667 to 463.582 Bq / kg, respectively, with averages of 35.170, 31.637 and 382.284 Bq / kg. The absorbed dose rate, annual effective dose equivalent, radium equivalent activity, internal hazard index and external hazard index values were calculated using the <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K activity concentrations obtained as a result of the measurements. In addition, lifetime cancer risk (LCR), which is a consequence of radiation exposure, has been calculated. All the results obtained are compared with the limit values recommended by international organizations. According to these results, it can be concluded that there is no harm in terms of both radiological damage indices and dose parameters.

**Keywords:** Natural radioactivity, sand, radiological hazard indices, Ağlayankaya beach

## 1. Giriş

Dünyanın oluşumundan bu yana yer kabuğundaki kozmojenik ve primordial radyonüklidlerin varlığından dolayı insanlar ve diğer organizmalar radyasyona maruz kalmaktadır. Kozmik radyonüklidler, kozmik ışınların atmosferdeki atom çekirdeği ile etkileşimi ile üretilirken, nükleo-sentez işlemiyle primordial olanlar (karasal arka plan radyasyonu) oluşmuştur. Sadece Dünya'nın yaşı ile karşılaştırılabilir yarı ömürlü, örneğin  $^{40}\text{K}$ , uranyum ve toryum serilerinin üyeleri olan radyonüklidler, günümüzde farklı jeolojik materyallerde bulunabilir. Bu radyonüklidlerden gelen gama ışınması, insan vücudunun ana ışınlama dış kaynağını temsil eder ve dünyanın nüfusu tarafından emilen dış doza en büyük katkı maddesi olarak kabul edilebilir. Bu radyonüklidler özellikle taş, toprak ve kum gibi oluşumlarda homojen olarak dağılmadığından dolayı jeolojik ve coğrafi koşullara bağlı olarak her bölgede farklılık göstermektedir [1,2]. Bu nedenle, genellikle yapı malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahip olan taş, toprak ve kum gibi çevresel oluşumlar içerisindeki radyonüklid aktivitelerinin belirlenmesi özellikle insan sağlığı için önem kazanmıştır.

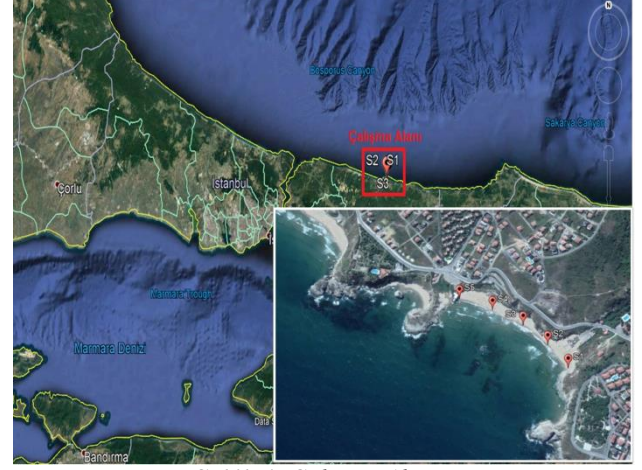
Öte yandan, özellikle sahil kumu içindeki karasal doğal radyasyon, doğal radyoaktivite açısından önemlidir. Örneğin, plaj kumları sanayi ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Böylece, radyoaktivite seviyeleri izin verilen aralıkta olmalıdır. Plaj kumunun maden yatakları hava ve erozyon ile oluşur. Bu maden yataklarının ana kaynağı metamorfik ve magmatik kayalardan gelmektedir. Bazı metamorfik ve magmatik kayalar, çevreye radyasyon yayan doğal radyonüklidler içermektedir [3].

Dünya genelinde taş, toprak gibi çevresel örneklerdeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları Bq/kg birimlerinde ölçülmüştür. Bu çalışmalarda elde edilen aktivite sonuçları kullanılarak sağlık risklerini belirlemek amacıyla gerekli doz ve radyolojik zarar indeksleri hesaplanmıştır [4-12].

Şile-İstanbul'da bulunan Ağlayankaya plajından toplanan kumların doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları gama spektrometre sistemi ile ölçülmüştür. Bu çalışmanın diğer bir amacı, ölçülen aktivite konsantrasyonlarından yararlanarak soğrulan gama doz hızını (D), Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE), radyum eşdeğer aktivitesini ( $R_{\text{eq}}$ ), iç tehlike indeksi ( $H_i$ ) ve dış tehlike indeksi ( $H_d$ ) parametreleri hesaplayarak radyolojik tehlikelerin araştırılmasıdır. Ayrıca, doğal olarak maruz kalınan radyasyonun sebep olduğu yaşam boyu kanser riski tespit edilmesi de amaçlanmıştır. Bu çalışmada üretilen veriler, bu bölge için doğal radyoaktivite düzeyi veri tabanına katkıda bulunabilir.

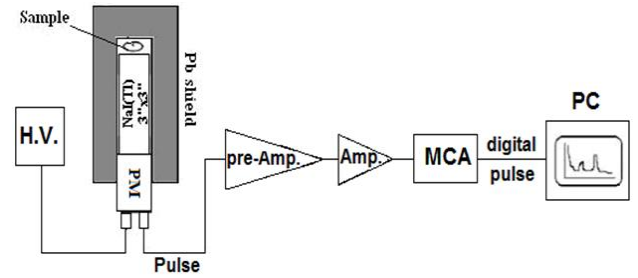
## 2. Materyal ve Yöntem

Şile-İstanbul'da bulunan Ağlayankaya plajının 5 farklı noktasından kumlar toplanmıştır. Çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir. Toplanan örnekler ölçüm öncesinde bir dizi hazırlık aşamasından geçirilmiştir. Öncelikle örnekler öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler neminden arındırılmak amacıyla 24 saat boyunca  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler, herhangi bir gaz kaçağını engellemek için kapakları sıkıca kapatılmış kaplar içerisine doldurulmuştur.  $^{238}\text{U}$ 'un bozunum zincirindeki uzak ürün radyonüklitleri  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  vb. ile kalıcı (seküler) dengede olması gerekmektedir. Bunun için  $^{226}\text{Ra}$  (1620 yıl)'nın, kendisine göre yarı-ömrü çok kısa olan  $^{222}\text{Rn}$  (3,8 gün) ile kalıcı dengede olması gerekir. Analiz edilecek örnekler, bu kalıcı dengenin sağlanabilmesi için sızdırmaz kaplar içinde 1 ay süreyle bekletilmiştir.



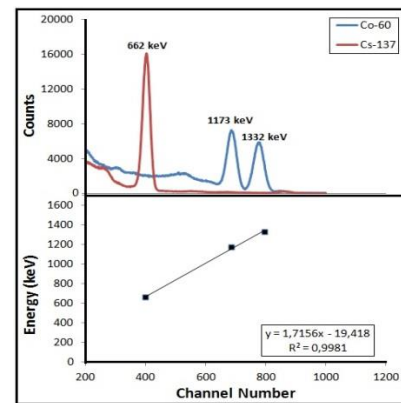
Şekil 1. Çalışma Alanı

Kum numunelerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonları Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde bulunan Gama Spektroskopi laboratuvarında bulunan Çok-Kanallı Analizöre (MCA) bağlı  $3''\times 3''$  NaI (TI) detektöründen oluşan bir gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen spektrumlar MAESTRO32 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçüm sisteminin şematik görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



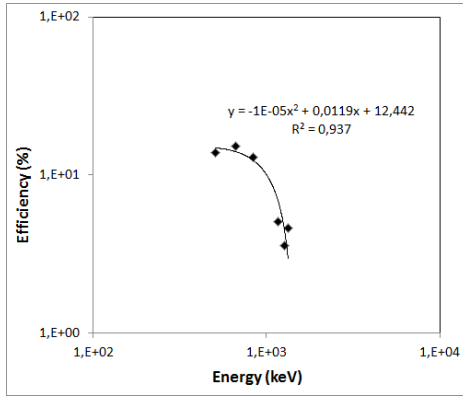
Şekil 2. Gama Spektrometre sistemi ve elektronik birimlerin şematik görünümü

Ölçümlerden önce sistemin enerji kalibrasyonunu ve algılama verimliliği kalibrasyonunu gerçekleştirmek gerekir. Enerji kalibrasyonu için 662 keV enerjili  $\gamma$ -ışını yayımlayan  $^{137}\text{Cs}$  ve 1173 ve 1332 keV enerjili  $\gamma$ -ışını yayımlayan  $^{60}\text{Co}$  radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Söz konusu kaynaklardan elde edilen gama ışını spektrumu Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  kaynaklarından elde edilen  $\gamma$ -ışını enerji spektrumu (üst) ve enerjiye (keV) karşılık gelen uygun kanal.

Dedektörün algılama verimliliği kalibrasyonu için 6 farklı gama enerjisi kullanılarak yapılmıştır [13]. Elde edilen algılama verimliliği değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

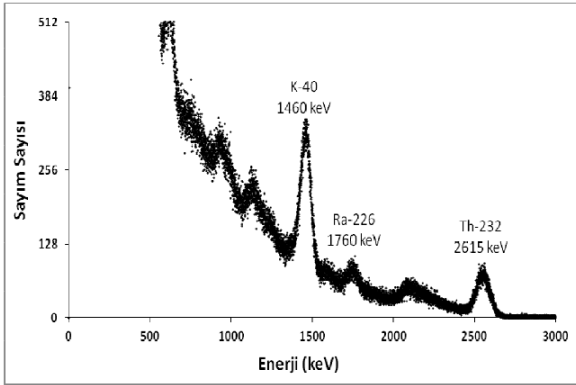


Şekil 4. Gama ışını enerjilerinin bir fonksiyonu olarak algılama verimliliği

Kum numunelerindeki doğal radyonüklidlerin ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [4].

$$C(\text{Bq/kg}) = \frac{N_S - N_B}{E_\gamma \cdot P_\gamma \cdot t \cdot M_S} \quad (1)$$

Burada,  $N_S$ , numune için ölçülen net pik sayımlarını,  $N_B$ , background için ölçülen net pik sayımlarını,  $E_\gamma$  spesifik  $\gamma$ -ışının detektör verimini,  $P_\gamma$   $\gamma$ -ışının emisyon olasılığını,  $t$  sayım zamanını ve  $M_S$  numunenin kütlesini (kg) göstermektedir. Ölçümler sonucunda elde edilen örnek bir spektrum şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ölçümlerden elde edilen örnek spektrum

Spektrumdan da görüldüğü gibi numunelere ait doğal radyonüklid aktivite hesapları  $^{40}\text{K}$  için 1460 keV,  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ) için 1760 keV ve  $^{232}\text{Th}$  ( $^{208}\text{Tl}$ ) için 2615 keV enerjilerinde gelen gama piklerinin altındaki alanlar kullanılmıştır [4].

Dış karasal gama ışınının ayırt edici bir özelliğini temin etmek için deneysel olarak elde edilen aktivite konsantrasyonları kullanılarak, Absorblanmış Doz Hızı (D) hesaplanmaktadır. UNSCEAR 2000 raporlarında çevresel numuneler için dönüşüm katsayıları  $^{40}\text{K}$  için 0,0417,  $^{226}\text{Ra}$  için 0,462 ve  $^{232}\text{Th}$  için 0,604 nGy/h başına Bq/kg olarak verilmiştir [1]. Absorblanmış doz hızı Denklem (2) ile hesaplanır.

$$D(\text{nGy/hr}) = (0.042)C_K + (0.462)C_{Ra} + (0.604)C_{Th} \quad (2)$$

Burada,  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  Bq/kg cinsinden spesifik aktivitelerdir. Hesaplanmış olan absorblanmış doz hızı değerlerinden faydalanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanabilir. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlarla gerek

dışarıdan maruz kalmak suretiyle gerekse aldığı besinlerle ve teneffüs ettiği havada bulunan radyonüklidleri vücuda alarak içten maruz kalmak suretiyle 1 yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri hesabı için Denklem (3) kullanılır.

$$YEDE(\text{mSv/y}) = D \times DDF \times ZGF \times T \quad (3)$$

Burada,

D = Absorbe Edilen Doz Hızı (nGy/h)

DDF = Doz Dönüşüm Faktörü ( Sv/Gy)

ZGF = Zaman Geçirme Faktörü

T = Zaman (h/y)

Çevresel gama ışınlamaları için DDF değeri 0.7 Sv/Gy alınmaktadır [14]. Bu değer, hem ev içi (indoor) hem de ev dışı (outdoor) çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplarırken dikkate alınması gereken en önemli faktör, insanların bu ışınlarla ne kadar süre maruz kaldıklarıdır. Dışarıda geçirilen zamana ilişkin ZGF faktörü; bir insanın zamanının yaklaşık %80' ini ev içerisinde veya kapalı alanlarda, %20' sini de ev dışı alanlarda geçireceği düşünülerek kullanılır [15]. T değeri ise 12 ay düşünülerek 8760 saat/yıl alınmıştır.

$^{226}\text{Ra}$  ve bozunma ürünleri arasındaki radyoaktivite dengesizliğinden dolayı, materyallerdeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyoaktif nüklidler homojen olarak dağılmamıştır [16]. Bu doğal radyonüklidler materyallerde farklı miktarlarda bulunur. Radyum eşdeğer aktivitesi, doğal radyoaktif nüklidlerle ilgili radyasyon tehlikelerini dikkate alan ve materyaldeki aktivite konsantrasyonunu kontrol etmek için kullanılan bir hesaplama yöntemidir.  $Ra_{eq}$  için radyolojik sağlık güvenliği değerlendirmesi açısından izin verilen en yüksek değer 370 Bq / kg'dır [17]. Hesaplama kullanılan denklem aşağıdaki gibi verilir:

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + (1,43)C_{Th} + (0,077)C_K \quad (4)$$

Primordial radyonüklid içeren materyallerin sağlık etkilerini değerlendirmek için kullanılan diğer bir kriter de İç (Hi) ve Dış (Hd) Tehlike İndeksi' dir. Hi ve Hd, radyasyon tehlikesinin göz ardı edilebilmesi için 1 sınırını aşmamalıdır. Hi ve Hd aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Hi = \left(\frac{1}{370}\right)C_{Ra} + \left(\frac{1}{259}\right)C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right)C_K \leq 1 \quad (5)$$

$$Hd = \left(\frac{1}{185}\right)C_{Ra} + \left(\frac{1}{259}\right)C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right)C_K \leq 1 \quad (6)$$

Yaşam boyu kanser riski (LCR), bir kişinin yaşamı boyunca belirli bir kanserojen veya radyasyon dozuna maruz kalması durumunda kanser gelişmesi olasılığı olarak tanımlanır. Yaşam boyu kanser riski hesaplanırken insanın ortalama yaşam süresi 70 yıl olarak kabul edilmektedir. Buna göre, Yaşam boyu kanser riski (LCR) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

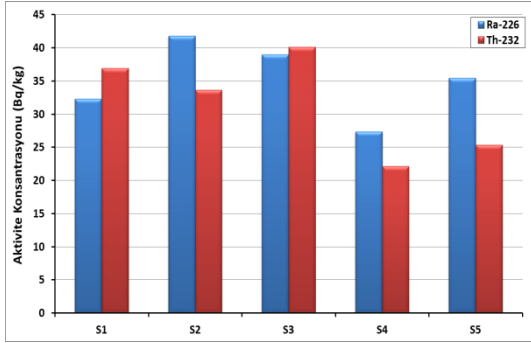
$$LCR = YEDE \times YS \times RF \quad (7)$$

Burada, YEDE denklem (3) ile hesaplanan yıllık etkin dozdur, YS bir insan için ortalama yaşam süresi (yaklaşık 70 yıl olduğu varsayılmaktadır) ve RF insanlar için ölümcül bir kanser risk faktörüdür ve ICRP60 raporlarına göre bu değer  $0.05 \text{ Sv}^{-1}$  olarak verilmiştir [18].

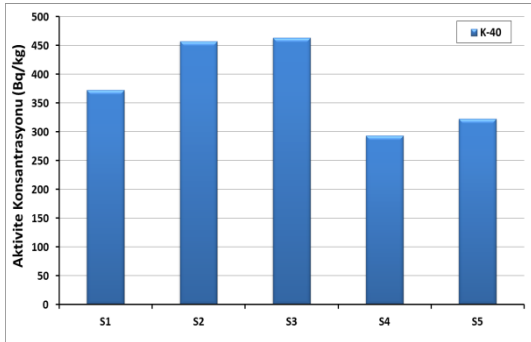
### 3. Araştırma Bulguları

#### 3.1. Aktivite Konsantrasyonu Sonuçları

Ağlayankaya Plajında farklı noktalardan toplanan kum örneklerinde  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  primordial radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda elde edilen aktivite konsantrasyon sonuçları  $^{226}\text{Ra}$  için 27.368 – 41.773 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 22.147 – 40.125 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 293.667 – 463.582 Bq/kg arasında değişmektedir. Elde edilen  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sonuçları Şekil 6’ da ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sonuçları Şekil 7’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sonuçları



Şekil 7.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sonuçları

Özellikle plaj kumları ile ilgili Türkiye’de ve Dünya’nın farklı bölgelerinde yapılmış olan doğal radyoaktivite çalışmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 1’ de verilmiştir.

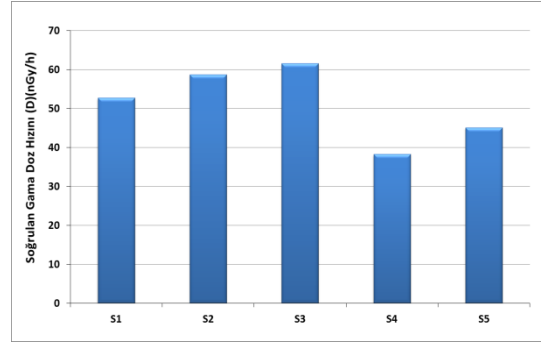
Tablo 1. Türkiye’de ve Dünya’da yapılmış bazı çalışma sonuçları

Bölge	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)			Referans
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	
Hindistan	35.12	713.6	349.6	[19]
Çin	14.6	10.9	396.4	[20]
İran	14.6–29.6	14.8–21.7	179.5–464.5	[21]
Tayland	22.6	26.4	523	[22]
Malezya	31	36	369	[23]
S.Arabistan	11.3	6.7	153.8	[24]
Umman	11.83–22.68	10.7–25.02	222.89–535.07	[25]
Türkiye	157.7	9	12.2	[26]
Mısır	930	11.6	21.1	[27]
Türkiye	35.170	31.637	382.284	Bu çalışma

Tablo 1’ den görüldüğü gibi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları için her bölgede farklı sonuçlar ölçülmüştür.

#### 3.2. Radyolojik Tehlike İndeksi Sonuçları

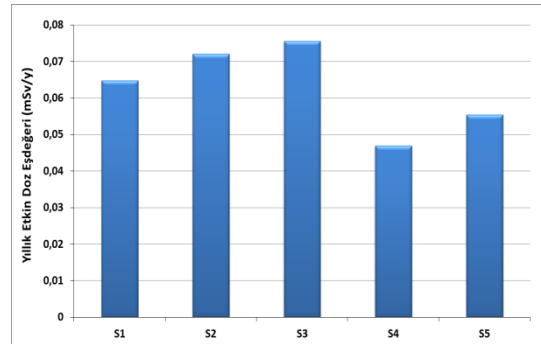
Ölçümler sonucunda elde edilen aktivite konsantrasyonları yardımı ile Soğurulan Gama Doz Hızını (D), Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE), Radyum Eşdeğer Aktivitesini ( $Ra_{eq}$ ), İç Tehlike Endeksi (Hi) ve Dış Tehlike Endeksi (Hd) parametreleri 2-7 denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Soğurulan Gama Doz Hızını (D) için elde edilen sonuçlar Şekil 8’ de gösterilmiştir.



Şekil 8. Soğurulan Gama Doz Hızı (D) sonuçları

Şekil 8’ den görüldüğü gibi soğurulan gama doz hızı için hesaplanan en düşük değer S4 noktasında, en yüksek değer S3 noktasında bulunmuştur. Soğurulan gama doz hızı sonuçlarına bakıldığında S1, S2 ve S3 noktalarından elde edilen sonuçlar UNSCEAR, 2000 raporlarında verilen ortalama değer olan 55 nGy/saat ten yüksek çıktığı ve diğer noktaların bu ortalama değerden düşük olduğu görülmüştür.

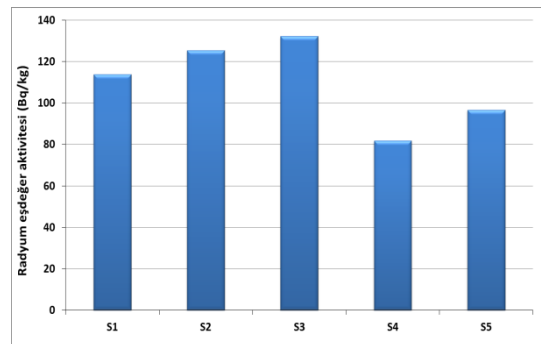
Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) için elde edilen sonuçlar Şekil 9’ da gösterilmiştir.



Şekil 9. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE) sonuçları

Yıllık etkin doz eşdeğeri için elde edilen sonuçlar 0.047 ila 0.076 mSv/yıl arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, YEDE için bulunan sonuçların hiçbirinin belirtilen 0.460 mSv/yıl sınır değerini aşmadığı açıktır.

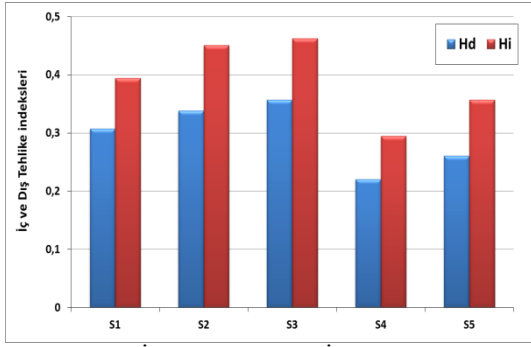
Radyum eşdeğer aktivitesi ( $Ra_{eq}$ ) sonuçları, Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Radyum eşdeğer aktivitesi ( $Ra_{eq}$ ) sonuçları

Şekil 10’ dan görüldüğü gibi Radyum eşdeğer aktivitesi için en yüksek değer S3 noktasında ve en düşük değer S4 noktasında hesaplanmıştır.  $Ra_{eq}$  için radyolojik sağlık güvenliği değerlendirmesi açısından izin verilen en yüksek değer 370 Bq/kg’dır [17]. Şekilden de görüldüğü gibi tüm numuneler için elde edilen sonuçlar belirlenen limit değeri aşmamıştır.

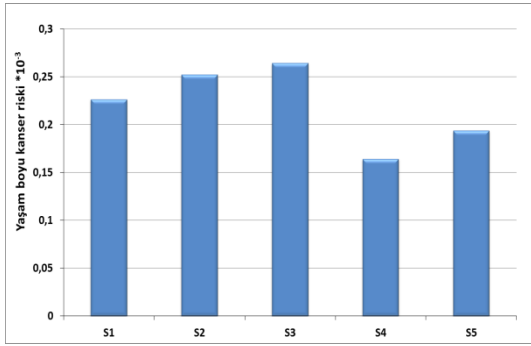
İç ve Dış Tehlike İndeksi sonuçları, Şekil11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. İç ve Dış Tehlike İndeksi sonuçları

Şekil 11' den görüldüğü gibi mermer numuneleri için hesaplanan iç ve dış tehlike indeksi değerlerinden tümü belirlenen 1 değerinden daha düşüktür.

Yaşam boyu kanser riski (LCR) için elde edilen sonuçlar Şekil 12' de gösterilmiştir.



Şekil 12. Yaşam boyu kanser riski (LCR) sonuçları

Yaşam boyu kanser riski (LCR) için limit değer  $0.290 \times 10^{-3}$  olarak verilmiştir. Şekil 12' de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar verilen bu limit değerden düşük olduğunu göstermektedir

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ağlayankaya Plajında 5 farklı noktadan toplanan kum örnekleri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  izotopları nedeniyle radyoaktivite açısından analiz edildi. Aktivite konsantrasyonunu belirlemek için bir NaI(Tl) detektörlü gama ışın spektrometresi kullanıldı. Radyolojik tehlike indeksleri ve doz değerleri, analizler sonucunda elde edilen spesifik aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplandı.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama spesifik aktiviteleri sırasıyla 35.170 Bq/kg, 31.637 Bq/kg ve 382.284 Bq/kg olarak bulunmuştur. Kum numuneleri için hesaplanan Raec değerleri, radyolojik sağlık değerlendirmesi için izin verilen en yüksek değer olan 370 Bq / kg'dan azdır. Kum örneklerinin iç ve dış tehlike indeksi değerleri, birim olarak önerilen güvenlik sınırının altındaydı. Soğrulan gama doz hızı için elde edilen sonuçlardan bazıları önerilen güvenlik sınırından daha yüksek bulunmuştur. Yıllık etkili doz eşdeğeri ve aşırı yaşam boyu kanser riskinin hesaplamaları önerilen güvenlik sınırlarının oldukça altındadır. Elde edilen sonuçlar ışığında, incelenen kum örneklerini radyolojik açıdan bir zarar teşkil etmediği söylenebilir.

#### References

- [1]. UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the effect of atomic radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York.
- [2]. Veiga, R., Sanches, N., Anjos, R.M., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, M., Aguiar, J.G., Santos, A.M.A., Mosquera, B., Carvalho, C., Filho, M.B., Umisedo, N.K., 2006. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. Radiat. Meas. 41 (2), 189–196.
- [3]. Peterson, J.M., Mac Donell, M., Haroun, L., Monette, F., Hildebrand, R.D., Taboas, A., Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas, Human Health Fact Sheet, Argonic, 38-39(2007).
- [4]. Akkurt I. and Gunoglu,K., 2014. Natural Radioactivity Measurements and Radiation Dose Estimation in Some Sedimentary Rock Samples in Turkey. Science and Technology of Nuclear Installations Volume 2014, Article ID 950978
- [5]. Akkurt, I., Oruncak, B., Gunoglu,K., 2010. Natural radioactivity and dose rates in commerciallyused marble from Afyonkarahisar – Turkey. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5 (2), p:170-173.
- [6]. Günay O., 2018 , Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-Istanbul, European Journal of Science and Technology No. 12, pp. 9-14, April 2018 ISSN:2148-2683
- [7]. Carvalho, C., Anjos, R.M., Veiga, R., Macario, K., 2011. Application of radiometric analysis in the study of provenance and transport processes of Brazilian coastal sediments. J. Environ. Radioact. 102, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.11.011>
- [8]. İskender AKKURT, N. Ayten UYANIK, Kadir GÜNOĞLU “Radiation dose Estimation: An in vitro Measurement for Isparta-Turkey” IJCESEN 1-1(2015)1-4 DOI: 10.22399/ijcesen.194376
- [9]. Carvalho, C., Anjos, R.M., Veiga, R., Macario, K., 2011. Application of radiometric analysis in the study of provenance and transport processes of Brazilian coastal sediments. J. Environ. Radioact. 102, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.11.011>
- [10]. Malik, F., Matiullah, M., Akram, M., Rajput, M.U., 2010, Measurement of natural radioactivity in sand samples collected along the bank of rivers Indus and Kabul in northern Pakistan. Radiat. Protect. Dosim. 143, 97–105. doi: 10.1093/rpd/ncq356.
- [11]. Ramasamy, V., Sundarajan, M., Paramasivam, K., Suresh, G., 2015. Spatial and depth wise characterization of radionuclides and minerals in various beach sediments from high background radiation area, Kerala, India. Appl. Radiat. Isot. 95, 159–168.
- [12]. Seçkiner S., Akkurt, I., Günoglu K., 2017, Determination of  $^{40}\text{K}$  concentration in gravel samples from Konyaaltı Beach, Antalya. Acta Phys. Pol. A., Vol 132 (3-II), 1095-1097,doi: 10.12693/APhysPolA.132.1095.
- [13]. Akkurt, I., Gunoglu, K., & Arda, S. S. 2014. Detection efficiency of NaI (Tl) detector in 511–1332 keV energy range. Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2014, Article ID 186798.
- [14]. Veiga, R., Sanchez, N., Anjos, R.M., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, J.G., Aguiar, J.G., Santos, A.M., Mosquera, B., Carvlho, C., 2006, Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. Radiat. Meas. 41, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.05.001>
- [15]. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 1988. Sources, effects and risk of ionizing radiation, United Nations, New York.

- [16]. Al-Trabulsi, H., Khater, A., Habbani, F., 2011. Radioactivity levels and radiological hazard indices at the Saudi coastline of the Gulf of Aqaba. *Radiat. Phys. Chem.* 80, 343–348.
- [17]. Beretka, J., Mathew, P.J., 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys.* 48, 87–95.
- [18]. ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.
- [19]. Gandhi, S.M., Ravisankar, R., Rajalakshmi, A., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Anand, P.D., 2014. Measurements of natural gamma radiation in beach sediments of North east coast of Tamilnadu, India by gamma ray spectrometry with multivariate statistical approach. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7 (1), 7–17.
- [20]. Huang, Y., Lu, Xinwei, Ding, X.W., Feng, T., 2015. Natural radioactivity level in beach sand along the coast of Xiamen Island, China. *Mar. Pollut. Bull.* 91, 357–361.
- [21]. Tari, M., Zarandi, S.A.M., Mohammadi, K., Zare, M.R., 2013. The measurement of gammaemitting radionuclides in beach sand cores of coastal regions of Ramsar, Iran using HPGe detectors. *Mar. Pollut. Bull.* 74, 425–434.
- [22]. Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A., Santawamaitre, T., 2012. An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami. *Appl. Radiat. Isot.* 70 (8), 1467–1474.
- [23]. Almayahi, B.A., Tajuddin, A.A., Jaafar, M.S., 2012. Effect of the natural radioactivity concentrations and  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  disequilibrium on cancer diseases in Penang, Malaysia. *Radiat. Phys. Chem.* 81, 1547–1558.
- [24]. Al-Ghamdi, H., Al-Muqrin, A., El-Sharkawy, A., 2016. Assessment of natural radioactivity and  $^{137}\text{Cs}$  in some coastal areas of the Saudi Arabian gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 104, 29–33.
- [25]. Zare, M.R., Mostajaboddavati, M., Kamali, M., Abdi, M.R., Mortazavi, M.S., 2012.  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  activity concentrations in marine sediments along the northern coast of Oman Sea using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Mar. Pollut. Bull.* 64 (9), 1956–1961.
- [26]. Özmen, S.F., Cesur, A., Boztosun, I., Yavuz, M., 2014. Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey. *Radiat. Phys. Chem.* 103, 37–44.
- [27]. Harb, S., 2008. Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal Red Sea in Egypt. *Radiat. Prot. Dosimetry* 130 (3), 376–384.