

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞU KARADENİZ KIYISAL ALANINDA AKDENİZ
MİDYESİNİN (*Mytilus galloprovincialis*) RADYOAKTİVİTE
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ERKAN KIRIŞ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. HASAN BALTAŞ

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. UĞUR ÇEVİK

PROF. DR. AHMET TABAK

PROF. DR. BİROL ERTUĞRAL

DOÇ. DR. GÖKTUĞ DALGIÇ

DOKTORA TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2016

Her Hakkı Saklıdır

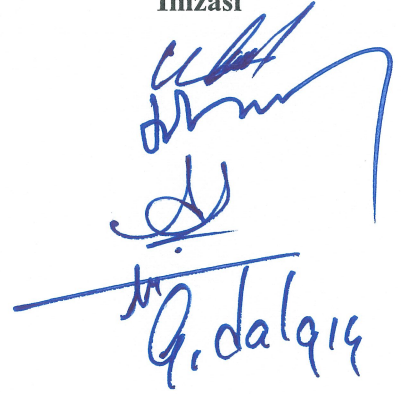
T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞU KARADENİZ KIYISAL ALANINDA AKDENİZ MİDYESİNİN (*Mytilus galloprovincialis*) RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Hasan BALTAŞ danışmanlığında, Erkan KIRIŞ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/04/2016 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **DOKTORA** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı	Adı	Soyadı
Başkan	:	Prof. Dr. Uğur	ÇEVİK
Üye	:	Prof. Dr. Hasan	BALTAŞ
Üye	:	Prof. Dr. Ahmet	TABAK
Üye	:	Prof. Dr. Birol	ERTUĞRAL
Üye	:	Doç. Dr. Gökтуğ	DALGIÇ

İmzası





Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Doğu Karadeniz Kıyusal Alanında Akdeniz Midyesinin (*Mytilus galloprovincialis*) Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında “Doktora Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Doktora tez çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını ve gerek maddi gerekse manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hasan BALTAŞ’a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Doktora Tez çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Uğur ÇEVİK’e ve örneklerin toplanmasında yardımcı olan Doç. Dr. Göktuğ DALGIÇ’a teşekkürü bir borç bilirim. İstatistiksel hesaplamalarda ve yorumlamalarda yardımlarından dolayı Doç. Dr. Nurhayat ÖZDEMİR’e, organik madde miktarlarının belirlenmesinde desteğinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Serkan KORAL’a ve harita çizimi için Yrd. Doç. Dr. Cafer Mert YEŞİLKANAT’a teşekkür ederim. Her türlü manevi destekleriyle sürekli yanımda olan Doç. Dr. Vagıf NEVRUZOĞLU’na ve Arş. Gör. Sait Barış GÜNER’e çok teşekkür ederim.

Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarı’nda çalışmalarım boyunca ilgilerini ve desteklerini esirgemeyen Esra YILMAZ BAYRAK’a, Emrah KULOĞLU’na, Aysel AKDENİZ’e, Fatih DEVRAN’a, Meltem BUĞDAYCI’ya ve Ömer ÇORUH’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu zamana kadar her türlü desteğini esirgemeyen aileme büyük bir sevgiyle şükranlarımı sunuyorum.

Hazırlanan bu Doktora tezi, **113Y148** proje koduyla **TÜBİTAK**, Çevre Atmosfer Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (**ÇAYDAG**) tarafından desteklenmiştir. Verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

Erkan KIRIŞ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Doğu Karadeniz Kıyısız Alanında Akdeniz Midyesinin (*Mytilus galloprovincialis*) Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemleri kabul ettiğimi beyan ederim. 18/05/2016


Erkan KIRIŞ

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

DOĞU KARADENİZ KIYISAL ALANINDA AKDENİZ MİDYESİNİN (*Mytilus galloprovincialis*) RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Erkan KIRIŞ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Doktora Tezi
Danışmanı: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Giresun, Trabzon, Rize ve Artvin illerinin kıyıları boyunca 12 istasyondan mevsimsel olarak toplanan üç farklı büyüklükte Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) yumuşak dokusu, deniz suyu ve sediment örneklerinde doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite seviyeleri germanyum (HPGe) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde aktiflik konsantrasyon değerlerinin sırasıyla ^{226}Ra için 1,07–8,21 mBq L⁻¹, 5,89–23,13 Bq kg⁻¹, 0,69–14,37 Bq kg⁻¹, ^{232}Th için 1,56–6,71 mBq L⁻¹, 6,32–25,29 Bq kg⁻¹, 1,05–14,39 Bq kg⁻¹, ^{40}K için 102,66–559,40 mBq L⁻¹, 163,84–546,92 Bq kg⁻¹, 197,87–535,05 Bq kg⁻¹, ^{137}Cs için 0,49–2,68 mBq L⁻¹, 1,40–54,35 Bq kg⁻¹, 0,16–7,71 Bq kg⁻¹ aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bunlara ilaveten deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için soğurulan gama doz hızı (D), radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}) ve yıllık etkin doz (YED) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde elde edilen radyoaktif konsantrasyon sonuçlarından Akdeniz midyesi tüketimine bağlı olarak insanlar tarafından radyonüklidlerin günlük alımı (GA), yıllık alınan etkin doz (YAED), kanserojen risk (KR_m) parametreleri hesaplanmıştır. Sediment örneklerinde elde edilen aktivite sonuçlarından da kanserojen risk (KR_s) değerleri belirlenmiştir. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyon değerlerine göre midye büyüklükleri arasında istatistiksel açıdan fark olmasına rağmen (p<0,05), ^{226}Ra ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonlarına göre büyüklükler arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir (p>0,05). Radyonüklidlerin aktiflik konsantrasyon sonuçları ve hesaplanan radyolojik risk parametreleri uluslararası sınır değerleri ve literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ölçülen radyoaktivite değerleri tüm numunelerde doğal radyonüklidler için dünya ortalaması sınırlarında gözlenirken, Çernobil sonrası radyoaktif bulutlarla bölgemize kadar ulaşan ^{137}Cs radyonüklidinin etkisinin kısmen de olsa hala sürdüğünü göstermektedir. Ayrıca yapılan hesaplamalar, ortalama aktiflik konsantrasyonlarının halk sağlığı açısından herhangi bir risk taşımadığını göstermiştir.

2016, 151 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Akdeniz Midyesi, HPGe, Doğu Karadeniz Bölgesi, Radyolojik Parametreler.

ABSTRACT

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS OF THE MEDITERRANEAN MUSSEL (*Mytilus galloprovincialis*) IN THE EASTERN BLACK SEA COASTAL AREA

Erkan KIRIŞ

Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Ph. D. Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ

Natural (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radioactivity levels were measured using germanium (HPGe) detector in soft tissue of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in three different sizes, sea water and sediment samples gathered seasonally from 12 stations along the coast of Giresun, Trabzon, Rize and Artvin provinces in Eastern Black Sea Region. Activity concentrations in sea water, sediment and soft tissue of Mediterranean mussel samples were observed to vary in the range 1,07–8,21 mBq L⁻¹, 5,89–23,13 Bq kg⁻¹, 0,69–14,37 Bq kg⁻¹ for ^{226}Ra , 1,56–6,71 mBq L⁻¹, 6,32–25,29 Bq kg⁻¹, 1,05–14,39 Bq kg⁻¹ for ^{232}Th , 102,66–559,40 mBq L⁻¹, 163,84–546,92 Bq kg⁻¹, 197,87–535,05 Bq kg⁻¹ for ^{40}K , 0,49–2,68 mBq L⁻¹, 1,40–54,35 Bq kg⁻¹, 0,16–7,71 Bq kg⁻¹ for ^{137}Cs , respectively. In addition, absorbed gamma dose rate (D), radium equivalent activity (Ra_{eq}), external hazard index (H_{ex}) and annual effective dose (AED) values for sea water, sediment and soft tissue of Mediterranean mussel samples were calculated. Moreover, daily intake (D_{int}) of radionuclides, the annual taken effective dose (D_{eff}) and carcinogenic risk (CR) parameters were calculated depending on the Mediterranean mussel consumption by people from the resulting radioactive concentrations in soft tissue of Mediterranean mussel. Carcinogenic risk (KR_s) values from the activity results obtained in sediment samples were determined. Although there were statistically differences (p<0.05) among mussel sizes according to ^{232}Th and ^{137}Cs activity concentrations in soft tissue of Mediterranean mussel samples, it wasn't observed difference according to ^{226}Ra and ^{40}K activity concentrations (p>0.05). The activity concentration results of radionuclides and calculated radiological risk parameters were compared with the international limit values and other studies in the literature. Although the measured radioactivity values was observed in the world average limit for natural radionuclides in all samples, the partial effect of ^{137}Cs radionuclide reaching with radioactive cloud to our region after the Chernobyl radioactive is still ongoing. Furthermore, according to calculations, the average activity concentrations haven't shown any risk in terms of public health.

2016, 151 pages

Keywords: Radioactivity, Mediterranean mussel, HPGe, Eastern Black Sea Region, Radiological Parameters.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.1.1. Akdeniz Midyesi (<i>Mytilus galloprovincialis</i>).....	3
1.2. Literatür Özeti.....	5
1.3. Radyoaktivite.....	10
1.3.1. Doğal Radyoaktivite	10
1.3.2. Yapay Radyoaktiflik.....	11
1.3.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu	13
1.3.4. Peş Peşe Bozunma Kanunu	14
1.3.5. Radyoaktif Denge	16
1.3.5.1. Geçici Denge	16
1.3.5.2. Sürekli Denge	16
1.4. Radyasyon Birimleri.....	17
1.4.1. Radyoaktivite Birimleri	17
1.4.2. Işınlama Birimi	17
1.4.3. Soğurulma doz birimi	17
1.4.4. Eşdeğer Doz Birimi	18
1.5. Gama Işınlmasının Madde ile Etkileşmesi	18
1.5.1. Fotoelektrik Olay	19
1.5.2. Compton Saçılması.....	20
1.5.3. Çift Oluşumu	22
1.6. Gama Işını Dedektörleri	23
1.6.1. Yarıiletken Dedektörler	23

1.6.2.	Sintilasyon Dedektörleri	24
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	27
2.1.	Materyal.....	27
2.1.1.	Çalışma Alanı	27
2.1.2.	Araziden Örneklemeye Çalışmaları	28
2.1.3.	Örneklerin Radyoaktivite Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi.....	30
2.1.3.1.	Deniz Suyu Örnekleri	30
2.1.3.2.	Sediment Örnekleri.....	31
2.1.3.3.	Akdeniz Midyesi Örnekleri	33
2.2.	Yöntem	36
2.2.1.	Deney Sistemi.....	36
2.2.2.	DeneySEL Yöntem	39
2.2.2.1.	Enerji Kalibrasyonu.....	39
2.2.2.2.	Verim Kalibrasyonu	41
2.2.3.	Spektrumların Alınması.....	42
2.2.3.1.	Pik belirleme ve Değerlendirme	43
2.2.3.2.	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite.....	44
2.2.3.3.	Aktivite Hesabı	45
2.2.4.	Radyolojik Parametreler	46
2.2.4.1.	Radyum Eşdeğer Aktifliği ve Dış Tehlike İndeksi.....	46
2.2.4.2.	Soğurulan Gama Doz Hızı.....	46
2.2.4.3.	Yıllık Etkin Doz.....	47
2.2.4.4.	Radyonüklidlerin Günlük Alımı.....	47
2.2.4.5.	Yıllık Alınan Etkin Doz.....	48
2.2.4.6.	Kanserojen Risk.....	48
2.2.5.	Organik Madde Miktarının Belirlenmesi	49
2.3.	İstatistiksel Analiz	50
3.	BULGULAR	52
3.1.	Deniz Suyu Örneklerinin Fizikokimyasal Parametreleri.....	52
3.2.	Deniz Suyu Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri	54
3.3.	Sediment Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri ve Organik Madde Miktarları	62
3.4.	Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri	71

4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	81
4.1.	Deniz Suyu Örnekleri	81
4.1.1.	Deniz Suyunda ²²⁶ Ra	81
4.1.2.	Deniz Suyunda ²³² Th	82
4.1.3.	Deniz Suyunda ⁴⁰ K	83
4.1.4.	Deniz Suyunda ¹³⁷ Cs	84
4.2.	Sediment Örnekleri.....	85
4.2.1.	Sedimentde ²²⁶ Ra.....	85
4.2.2.	Sedimentte ²³² Th.....	86
4.2.3.	Sedimentte ⁴⁰ K.....	87
4.2.4.	Sedimentte ¹³⁷ Cs	88
4.3.	Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnekleri	89
4.3.1.	Midyede ²²⁶ Ra.....	89
4.3.2.	Midyede ²³² Th.....	91
4.3.3.	Midyede ⁴⁰ K	93
4.3.4.	Midyede ¹³⁷ Cs.....	94
4.4.	Deniz Suyu, Sediment ve Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnelerinde Korelasyon Analiz Sonuçları	96
4.5.	Deniz Suyu Parametrelerinin Değerlendirilmesi	98
4.6.	Radyoaktivlik Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	98
4.6.1.	Deniz Suyu Örnekleri	98
4.6.2.	Sediment Örnekleri.....	103
4.6.3.	Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnekleri	109
5.	ÖNERİLER	121
	KAYNAKLAR	122
	EKLER	130
	ÖZGEÇMİŞ	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819).....	4
Şekil 2.	¹³⁷ Cs'nin bozunma şeması.....	13
Şekil 3.	Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi.....	14
Şekil 4.	Fotoelektrik olay.	19
Şekil 5.	Compton saçılması.	21
Şekil 6.	Çift Oluşumu.	23
Şekil 7.	Yarıiletken dedektör şeması.	24
Şekil 8.	Bir çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.....	26
Şekil 9.	Doğu Karadeniz Bölgesinde örnek alınan istasyonlar.	28
Şekil 10.	a) YSI marka prob (sonda) ile deniz suyu parametrelerinin ölçümü. b) Bidonlara alınan deniz suyu örnekleri. c) Temiz poşete konulan sediment örnekleri. d) Akdeniz midyesi örnekleme amacıyla yapılan dalış hazırlığı. e) Alınan midye örneklerinden fooling organizmaların temizlenmesi.....	30
Şekil 11.	a) Deniz suyu örneklerinin elektrikli ısıtıcılar üzerinde buharlaştırılması. b) Deniz suyu örneklerinin 100 ml'lik marinelli kaplara alınması.	31
Şekil 12.	a) 85 °C'de etüvde kurutulmuş sediment örnekleri. b) Elekten (63 µm) geçirilen sediment örnekleri. c) Sediment örneklerinin 100 mL'lik marinelli kaplara alınması.	33
Şekil 13.	a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen midye örnekleri. b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması. c) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin istasyonlar dikkate alınarak ayrı ayrı kaplara yerleştirilmesi. d) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin etüve konulması. e) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin agatta öğütülmesi. f) Agatta toz haline gelmiş midyelerin yumuşak dokuları. g) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin 30 mL'lik kaplara alınması.	35
Şekil 14.	Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü.	36
Şekil 15.	Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı.....	37
Şekil 16.	¹⁵² Eu'nin bozunma şeması.	39
Şekil 17.	Enerji-Kanal grafiği.....	41
Şekil 18.	Enerji-Verim eğrisi.....	42
Şekil 19.	Akdeniz Midyesi yumuşak doku örneği için örnek spektrum.....	43
Şekil 20.	a) Sediment örneklerinin kül kaplarında etüve bırakılması. b) Sediment örneklerinin fırına bırakılması. c) Oda sıcaklığına değin soğuyan ve desikatörden alınan sediment örnekleri.	50

Şekil 21. Deniz suyu örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	82
Şekil 22. Deniz suyu örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	83
Şekil 23. Deniz suyu örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	84
Şekil 24. Deniz suyu örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	85
Şekil 25. Sediment örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	86
Şekil 26. Sediment örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	87
Şekil 27. Sediment örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	88
Şekil 28. Sediment örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	89
Şekil 29. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	91
Şekil 30. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	92
Şekil 31. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	94
Şekil 32. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.	95
Şekil 33. Deniz suyu örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları.	99
Şekil 34. Deniz suyu örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).	100
Şekil 35. Sediment örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları.	104
Şekil 36. Sediment örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).	105
Şekil 37. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları. ...	110
Şekil 38. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).	111

- Şekil 39.** Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs ortalama aktiflik konsantrasyonunun mevsimlerde boya göre değişimi (BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy). 114
- Şekil 40.** Sediment ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, toplam örnekleme sayısını göstermektedir). 116



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.	Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.....	11
Tablo 2.	Yapay radyoaktif çekirdekler.....	12
Tablo 3.	Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri.....	18
Tablo 4.	Örnekleme İstasyonları.....	28
Tablo 5.	¹⁵² Eu kalibrasyon kaynağının özellikleri.....	40
Tablo 6.	Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri.....	40
Tablo 7.	Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları.....	44
Tablo 8.	Dedektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) değerleri.....	44
Tablo 9.	Sertifikalı referans malzeme Midye (IAEA-437) ve Yosun-Toprak (IAEA-447) örneklerinin radyoaktiflik konsantrasyon sonuçları (Bq kg ⁻¹).....	46
Tablo 10.	Deniz suyu örneklerinde tuzluluk değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	52
Tablo 11.	Deniz suyu örneklerinde pH değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	53
Tablo 12.	Deniz suyu örneklerinde ²²⁶ Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	54
Tablo 13.	Deniz suyu örneklerinde ²³² Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	55
Tablo 14.	Deniz suyu örneklerinde ⁴⁰ K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	56
Tablo 15.	Deniz suyu örneklerinde ¹³⁷ Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	57
Tablo 16.	Deniz suyu örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	58
Tablo 17.	Deniz suyu örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra _{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	59
Tablo 18.	Deniz suyu örneklerinde dış tehlike indeksi (H _{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	60
Tablo 19.	Deniz suyu örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	61
Tablo 20.	Sediment örneklerinde ²²⁶ Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	62
Tablo 21.	Sediment örneklerinde ²³² Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	63

Tablo 22. Sediment örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	64
Tablo 23. Sediment örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	65
Tablo 24. Sediment örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	66
Tablo 25. Sediment örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	67
Tablo 26. Sediment örneklerinde dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	68
Tablo 27. Sediment örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	69
Tablo 28. Sediment örneklerindeki organik madde miktarı değerlerinin mevsimsel olarak değişimi (%)......	70
Tablo 29. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	72
Tablo 30. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	73
Tablo 31. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	74
Tablo 32. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.....	75
Tablo 33. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	77
Tablo 34. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi....	78
Tablo 35. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	79
Tablo 36. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.....	80
Tablo 37. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1})......	81
Tablo 38. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1})......	82
Tablo 39. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1})......	83
Tablo 40. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1})......	84
Tablo 41. Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1})......	86

Tablo 42.	Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	87
Tablo 43.	Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	88
Tablo 44.	Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	89
Tablo 45.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	90
Tablo 46.	Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	90
Tablo 47.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	92
Tablo 48.	Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	92
Tablo 49.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	93
Tablo 50.	Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	93
Tablo 51.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).....	95
Tablo 52.	Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).	95
Tablo 53.	Deniz suyu örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.....	97
Tablo 54.	Sediment örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.....	97
Tablo 55.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.	98
Tablo 56.	Deniz suyu örneklerinde radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.....	102
Tablo 57.	Sediment örneklerinde radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.....	107
Tablo 58.	Akdeniz Midyesi yumuşak doku örneklerinde radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.....	113
Tablo 59.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin günlük alımı (Bq gün^{-1}) ($\pm\text{SS}$).....	117
Tablo 60.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin yıllık alınan etkin doz değerleri ve toplam yıllık alınan etkin doz değerleri ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$) ($\pm\text{SS}$).....	118
Tablo 61.	Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin kanserojen risk değerleri.	119

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktiflik
Bq	Becquerel
Ci	Curie
D	Soğrulan doz
Gy	Gray
HPGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Kurumu
MDA	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
N	Radyoaktif çekirdek sayısı
N_0	İntegrasyon sabiti
Ra_{eq}	Radyum Eşdeğer Aktifliği
Sv	Sievert
$T_{1/2}$	Yarı ömür
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
YED	Yıllık etkin doz
YAED	Yıllık Alınan Etkin Doz
KR	Kanserojen Risk
λ	Bozunma sabiti
τ	Ortalama ömür

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer kabuğunun yapısında dünyanın oluşumundan beri bulunan radyoaktif elementler ve bunların çevrelerine yaydığı radyasyonlar ile insanoğlu sürekli olarak iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın denizel, karasal ve atmosferik ortamlarında görülen radyoaktivitenin ana kaynağını doğal ve yapay radyoaktivite oluşturmaktadır. Doğal radyasyonlar, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile kaya, toprak, su ve havada bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin radyoaktif bozunuma uğramaları sonucu yayınlanan ışınlardan ibarettir. Nükleer teknoloji geliştirme ve uygulamaları, nükleer silah denemeleri, nükleer santral kazaları, araştırma reaktörleri, X-ışınları ve yapay radyoizotopların tıp, endüstri ve araştırma alanlarındaki kullanımını ise yapay radyasyon etkisi oluşturmaktadır.

Denizel ortamlara kuru ve yağ çökeltme şeklinde havadan giren radyoaktif kirleticiler, ayrıca akarsular yoluyla da denizlere taşınmaktadır (Güven ve Öztürk, 2005). Karadeniz bölgesinde kirlenmeyi meydana getiren başlıca bu etkenlerin yanı sıra insan sağlığını daha fazla tehdit eden 26 Nisan 1986'da Rusya Federasyonu'nda bulunan Çernobil Nükleer Santrali'nde meydana gelen patlama sonucunda oluşan radyoaktif kirlilikte vardır. Karadeniz yapay radyoaktivite ile en fazla kirlenmiş deniz havzalarından birisidir (Buessler and Livingston, 1996, 1997; Egorov vd., 1999, 2008, 2010; IAEA, 1999, 2005; Livingston vd., 1988; Polikarpov vd., 1991, 2008). Deniz ekosistemi kazadan yayılan radyoaktif kirlilikten ciddi bir şekilde etkilenmiştir. Aktivite düzeyi kaza sonrasında meydana gelen radyoaktif bulutlarla ve bu deniz bölgesinde meydana gelen deniz yolu taşımacılığı ile artmıştır. Diğer taraftan Çernobil kazasında olduğu gibi kontamine olmuş toprakların erozyonla denizlere taşınması da bu ortamların kirlenmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle insanlar ve deniz canlıları denizel ortamdaki radyoaktif elementlerden yayılan iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktadırlar. Denizel ortama herhangi bir yolla giren radyoaktif bir kirletici su, sediment ve organizma arasında döngüye uğramaktadır (Güven ve Öztürk, 2005).

Sucul bir ortama girmiş olan radyonüklidler, ya eriyik (solüsyon) halde ya da asılı olarak (süspansiyon) kalmakta, daha sonra ya dibe çökmekte veya organizmalar tarafından alınmaktadır. Bazı faktörler (akıntılar, çalkantılar, isotopik bollanma, biyolojik transport) suya girmiş olan bu radyonüklidlerin dağılımına ve bollanmasına neden olurken, diğer faktörler onların organizmalarda birikimine ya da sediment partiküllerine konsantre olmalarını sağlamaktadır. Radyonüklidlerin organizmalardaki biyobirikimi ya doğrudan sudan veya besin yolu ile olmaktadır (Güven ve Öztürk, 2005). Deniz ortamında, besin zinciri deniz fitoplanktonu ile başlar. Bu organizmalar, onları çevreleyen deniz suyundan radyoaktif kirleticileri alırlar. Fitoplankton büyük zooplankton, küçük balıklar ve besin zincirinde yukarı doğru daha büyük hayvanlar tarafından yenildiğinde, kirliliğin bir kısmı deniz tabanına yerleşen dışkı peletleri veya diğer kırıntı parçacıkların içinde ortaya çıkar. Bu parçacıklar sedimentte birikir ve bunların içinde bulunan bazı radyoizotoplar mikrobik ve kimyasal süreçlerle çevresindeki sulara tekrar harekete geçer. Bunun sonucu olarak, bu radyoizotoplar da kirlenmiş deniz suyu ve tortulardan deniz ortamına aktarılmış olur.

Denizel izleme araştırmalarında organizmaların kullanılması ile doğrudan insan sağlığına yönelik olarak değerlendirmeler yapılabilmektedir. İnsan sağlığının yanı sıra denizel çevredeki radyoaktif atıkların düzeyini de ortaya koymak bakımından bu tip çalışmalar büyük önem taşır. Radyoaktif kirlilik boyutunu ortaya koyan izleme çalışmalarında özel seçilmiş organizmalar kullanılmakta ve bu organizmalara "biyoindikatör organizmalar" adı verilmektedir (Fowler, 1997). Çift kabuklu yumuşakçalarlardan özellikle midyeler, kıyusal kirliliğinin en iyi biyolojik göstergelerindedir. Midyeler birçok eşsiz karakteristik avantajlarından dolayı kıyusal kirliliğin izlenmesi için seçilir. Hareketsiz doğası, genellikle örnekleme bölgelerinde yeterli bireylerinin olması, kolayca örneklenebilmelerini sağlamaktadır. Midyeler biyoindikatör olduğundan, hareketsiz bir şekilde suyu süzerek beslendiğinden kirleticileri yapılarında biriktirirler. Denizel ortamda radyoaktif kirlilik araştırmalarında sediment bulgularının deniz kirliliğini yansıtmada kullanımı oldukça yaygındır (Strezov vd., 1998; Topçuoğlu vd., 2001; Topçuoğlu vd., 2003; Aközcan, 2012; Kılıç ve Çotuk, 2011; Kılıç vd., 2014). Özellikle, çevre kirliliğinin izlenmesi ve su kaynaklarının korunması halk sağlığı ve ekonomik sonuçları bakımından hayati önem taşımaktadır (NATO, 2003).

Deniz canlıları küçük balık ve planktonlar ile birlikte organik parçacıkları ve yosunları filtreleyerek sediment içerisinde ve kayaların altında yaşamaya meyillidirler. Bu durum deniz canlılarında radyoaktivitenin alımının artışına neden olmaktadır (Khandaker vd., 2015). İnsanlar tarafından tüketilen deniz ürünlerinin çeşidi ve beslenme alışkanlıklarına bağlı maruz kalması gerçeği ile birlikte deniz ürünlerindeki radyoaktivite seviyelerine verilen önem ileriki çalışmalar için ihtiyaç doğurmaktadır (Khandaker vd., 2013).

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) yumuşak doku örneklerinin üç farklı boyunda (büyük boy için >70 mm, orta boy için 50 mm-70 mm ve küçük boy için <50 mm) olmak üzere bunun yanı sıra midye örneklerinin yaşam koşullarının içerisinde bulunduğu deniz suyu ile sediment örneklerinde mevsimsel olarak doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda Doğu Karadeniz Bölgesi'nde denizel ortamın radyolojik tehlike seviyeleri incelenmiştir.

1.1.1. Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*)

Mytilidae ailesinin ekonomik olarak değerlendirilen türlerinden bir tanesi Akdeniz midyesi ya da kara midye olarak tanımlanan *Mytilus galloprovincialis* türüdür (Şekil 1). Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) mor-siyah kabuk renklerine sahip, ortalama olarak 7-8 cm olmak üzere, boyları en çok 10-11 cm'ye kadar ulaşabilen organizmalardır. *M. galloprovincialis*, kıyılarımızda sesil olarak yaşayan, bisus iplikçikleri ile kendini tespit eden önemli su ürünlerimizdendir. Denizlerde bol miktarda bulunmaları, metalleri yüksek yoğunluklarda biriktirip, bunları uzun bir süre bünyelerinde tutmalarından dolayı sularda kirliliği yansıtan biyolojik indikatörlerin başında gelir (Alkılıç, 2010).



Şekil 1. *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819).

Çift kabuklu yumuşakçalar (Bivalvia) sudaki tüm partikülleri filtre ederek, fitoplankton, sudaki çözülmüş organik maddeler, bakteriler ve detrituslar ile beslenirler. Suyu filtre ederek beslendikleri için, buldukları ortamlara kıyasla daha yüksek miktarlarda kimyasalları biriktirebilmektedir (Oliver vd., 2001). *M. galloprovincialis*'ler "kirlilik göstergesi" kabul edilirler çünkü fekal patojenleri, bakterileri, toksin, ağır metal ve radyoaktif maddeleri bünyelerinde yoğunlaştırarak taşırlar. Sesil türler oldukları için uzun süreli (kronik) etkileri iyi yansıtır ve yüksek düzeyde fekal koliform bakteriyi besin zincirine katarak halk sağlığını tehdit edebilirler (Güldür, 2011).

M. galloprovincialis'lerde büyüme oranı, derinlik, sıcaklık ve besin durumundan etkilenir. Tutundukları kayalardan aldıkları kalsiyum karbonat kabuk büyümesinde etkindir. Yüzeyde yaşayanlarda büyüme yavaştır. Midyeler için en uygun büyüme koşulları pH=7-9, tuzluluk % 15-22 ve sıcaklık 14 °C'dir (Güldür, 2011). *M. galloprovincialis* yaygın bir sıcak su türü olup dünyanın birçok bölgesinde tanımlanmıştır ve ülkemizde; Karadeniz, Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı'nda yaygın olarak Ege Denizi'nde ise kısmen yaşamaktadır. *M. galloprovincialis*, sahillerinde bolca bulunan ülkelerden çeşitli ülkelere (Avrupa, Güney Amerika ve Uzak Doğu ülkeleri) ihraç edilmekte olup bu ülkelerde yaygın olarak tüketilmektedir (Meli vd., 2008). *M. galloprovincialis* türünün denizel ortamlarda yaygın olarak bulunması ve insanlar tarafından sıklıkla besin maddesi olarak tüketilmesi de bu organizmaların kirlilik çalışmalarında kullanılma sebepleri arasında yer almaktadır (Kılıç, 2010).

1.2. Literatür Özeti

Denizel ortamda radyoaktiflik kirliliğinin araştırılmasında, bu ortamda yaşayan organizmalar, deniz suyu ve sediment örnekleri üzerinde pek çok çalışma yapılmış ve ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların kısa özeti aşağıda verilmiştir.

Baysal ve Tunçer (1994), Doğu Karadeniz'de Çernobil sonrası kaza şartlarının etkin olduğu düşünülen dönemde topladıkları midye, patella ve deniz salyangozu örneklerinde ^{134}Cs radyoizotopunun aktivitesinin 2-4 Bq kg⁻¹ arasında ve ^{137}Cs radyoizotopu aktivitesinin ise 9-11 Bq kg⁻¹ arasında değiştiği göstermişlerdir.

Varinlioğlu vd. (1995), 1993 yılında Doğu Karadeniz'de 15 örnekleme istasyonundan farklı derinliklerden topladıkları sediment örneklerinde doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivite seviyelerini belirlemişlerdir. Türkiye'de Doğu Karadeniz'den alınan açık deniz sediment örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite değerleri Çernobil kazasından sonra yaklaşık yedi yıl rapor edildiği göz önüne alınarak Varinlioğlu vd.'nin Karadeniz'deki sediment örneklerindeki radyonüklid dağılımları için yaptıkları bu çalışma önceki yapılan çalışmaların takibi olmuştur.

Veleva vd. (1996), Karadeniz'in Bulgaristan kıyılarına ilişkin bir çalışmada üç farklı istasyondan 50-60 litrelik deniz suyu numunelerini Haziran ayından itibaren iki aylık periyotlarla toplamışlar ve kaynatmadan buharlaştırarak konsantre etmişlerdir. Deniz suyundaki ^{137}Cs radyoizotopunun 1993 yılında 42 mBq L⁻¹ iken Eylül 1995'te 32,6 mBq L⁻¹'ye düştüğünü göstermişlerdir.

Voitsekhovitch vd. (1996), Karadeniz suyunda yaptıkları çalışmada ^{137}Cs radyoizotopunun dikey dağılımını araştırmışlardır. Çernobil sonrası 18.10.1986 tarihine ait deniz suyu örneğinde, yüzeyde ^{137}Cs aktivitesi 0,14 Bq L⁻¹'ye kadar yükselmiş iken, bu miktarın derinlikle hızla azaldığını göstermişlerdir. 1988 yılı örneğinde maksimum 0,05 Bq L⁻¹ olarak bulunan ^{137}Cs aktivitesinin derinlikle azaldığını ancak 1986 örneğinde bulunan değerden daha yüksek düzeye eriştiğini gözlemişlerdir.

Topçuoğlu ve Van Doven (1997), midyede ^{137}Cs radyonüklidinin biyoatılımını hem sudan hem de besinden biyobirikim yöntemiyle iki ayrı sıcaklıkta araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça biyolojik yarı-ömrün azaldığını yani kayıp hızının arttığını belirlemişlerdir. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bulunan biyolojik yarı-ömrün 21,3 gün olduğunu, yine aynı araştırmada Çernobil şartları altında yarı-ömrü 63 gün olarak tespit etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada benzer boydaki *Mytilus* (midye) türlerini Mayıs 1986-Şubat 1987 periyodunda toplayarak analiz etmişler ve en yüksek ^{134}Cs ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivitesini Haziran 1986 yılı için bulmuşlardır. Bunlar da sırasıyla $141,7\pm 57,5$ ve $289,2\pm 70,6$ Bq kg^{-1} olarak belirlemişlerdir.

Topçuoğlu vd. (2003), Doğu Karadeniz'in Türkiye kıyısı boyunca Pazar ve Rize olmak üzere iki istasyondan topladıkları makro yosun, midye, balık ve sediment örneklerinde radyoaktif çekirdekleri (^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) belirlemişlerdir. Ölçülen radyonüklid konsantrasyonlarını Karadeniz kıyısı boyunca yapılan çalışmalarla aynı seviyede bulmuşlardır.

Meli vd. (2008), merkezi Adriyatik denizinden toplanan midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) uranyum izotopları, ^{210}Pb , ^{210}Po ve ^{40}K gibi doğal radyonüklidlerin seviyelerini belirlemişlerdir. Doğal radyoaktivitenin dağılımını incelemek için örneklemeleri bir yılın farklı mevsimlerinde gerçekleştirmişlerdir. Toplam uranyum ve ^{210}Pb 'ın ortalama aktivite konsantrasyonu sırasıyla $2,34\pm 0,61$ ve 149 ± 58 Bq kg^{-1} olarak belirlemişlerdir. Midyelerde belirlenen radyonüklidlerin kendi aralarında kıyaslanması $^{40}\text{K} > ^{210}\text{Po} \gg ^{210}\text{Pb} >$ uranyum izotopları şeklinde olduğunu göstermişlerdir.

Topçuoğlu vd. (2010), 2001-2009 yılları arasında Türkiye'nin çevresindeki denizlerden topladıkları deniz yosunu, midye ve sediment örneklerinde insan kökenli ve doğal kaynaklı radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonlarını araştırmışlardır. ^{137}Cs için buldukları aktivite konsantrasyonlarını önceki sonuçlarla karşılaştırdıklarında, test edilen tüm örneklerde gitgide azaldığını tespit etmişlerdir. Öte yandan bu zaman zarfında doğal radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonunun yavaşça arttığını belirlemişlerdir.

Kılıç ve Çotuk (2011), 2008 ve 2009 yıllarında Boğaz ve Haliç'ten toplanan midye (*Mytilus galloprovincialis*) ve sediment örneklerinde ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'ün aktivite konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Sediment örneklerini $<63\ \mu\text{m}$ ve $>63\ \mu\text{m}$ şeklinde taneciklerine ayırmıştır. Midye örnekleri ise kabuklar ve yumuşak dokular olarak iki kısımda incelenmiştir. Midyelerin yumuşak dokularındaki radyoaktivite konsantrasyonlarının aralıkları ^{137}Cs için $0,86-2,43\ \text{Bq kg}^{-1}$, ^{40}K için $261,1-496,7\ \text{Bq kg}^{-1}$ ve ^{232}Th için $0,49-3,58\ \text{Bq kg}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir ve ^{238}U için ise değerler dedeksiyon limit değerlerinin altında kaldığı için belirlenememiştir. Sediment örneklerinin $<63\ \mu\text{m}$ ve $>63\ \mu\text{m}$ tanecik boyutları için belirlenen değerlerin aralıklarını sırasıyla ^{137}Cs için $8,58-67,92$ ve $1,12-26,40\ \text{Bq kg}^{-1}$, ^{40}K için $341,4-683,0$ ve $281,9-662,2\ \text{Bq kg}^{-1}$, ^{232}Th için $10,97-20,16$ ve $7,18-19,18\ \text{Bq kg}^{-1}$, ^{238}U için $13,97-27,25$ ve $6,41-18\ \text{Bq kg}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Sediment örneklerinde Radyonüklid birikimdeki bazı fiziko kimyasal parametrelerin etkisini de ayrıca incelemişlerdir. Bu çalışmadaki elde edilen bütün verileri literatürle karşılaştırmışlardır.

Barsanti vd. (2012), 11 Mart 2011 deki Fukushima Dai-ichi nükleer kazasından sonra İtalya ENEA araştırma merkezindeki radyoaktivite izleme programında, atmosferik taşınım ve yağış vasıtası ile radyonüklidlerin mümkün olan yeni girişini ortaya çıkarmak için araştırma yapmışlardır. ^{131}I ve $^{134,137}\text{Cs}$ 'nin aktivite ölçümlerini atmosferik partikül, atmosferik çökeltme, deniz suyu, midye ve koyun sütünde gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçları diğer Avrupa ülkelerinde elde edilen değerle karşılaştırdıklarında, aktivite seviyelerinin halk sağlığını tehdit etmediğini belirlemişlerdir.

Aközcan (2012), Ege denizinin Türkiye kıyısı boyunca farklı bölgelerden topladığı sediment örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonunu araştırmıştır. Genel olarak, Ege denizi kıyısı boyunca radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımını uluslararası seviyelerle aynı değerde olduğunu tespit etmiştir.

Gwynn vd. (2012), Barents denizinde deniz ortamının radyolojik durumunu araştırmışlardır. Deniz suyunda insan kökenli ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am radyonüklidlerin son on yılda yapılan çalışmalardan daha düşük olduğunu gözlemişlerdir. ^{99}Tc 'ün aktivite konsantrasyonlarını düşük bulmuşlar fakat 1990'da

sellafield alanından bu radyonüklidin salınması ile aktivite konsantrasyonun önceki seviyelere göre arttığını belirlemişlerdir. Yüzey sedimentlerinde ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonlarını düşük tespit etmişlerdir. Norveç anakarası boyunca kıyısız alanlardan toplanan sediment örneklerindeki ^{137}Cs aktivitesini açık deniz bölgelerindeki sediment örneklerinden daha yüksek bulmuşlardır. Barents denizinden deniz yiyecekleri tüketimi ile alınan insan kökenli radyonüklidlerin tahattüt edilen etkin doz oranlarını aşmadığını gözlemişlerdir.

Oyebanjo vd. (2012), Osun nehrinden topladıkları sediment örneklerinde doğal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarını, radyum eşdeğer aktivitelerini ve dış tehlike indekslerini belirlemişlerdir. Bütün örneklerde ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerde olduğunu gözlemişlerdir. Örnekler için radyum eşdeğer aktivitesi ve dış tehlike indeksi değerlerini tavsiye edilen limit değerlerin altında bulmuşlardır.

Gulin vd. (2013), Karadeniz'in yüzey sularında Çernobil'den türeyen ^{137}Cs ve ^{90}Sr radyonüklidlerin konsantrasyon ölçümlerini gerçekleştirerek kısmen yüksek olan sonuçları sırasıyla 56 Bq m^{-3} ve 32 Bq m^{-3} olarak belirlemişlerdir. Bu sonuçların Çernobilden önceki değerlerle (^{137}Cs için 16 Bq m^{-3} ve ^{90}Sr için 22 Bq m^{-3}) kıyaslandığında bu değerleri aştığını göstermişlerdir. Ölçümler Karadeniz'in Çernobil radyonüklidlerini özellikle Dnieper nehrinden akan ^{90}Sr 'u almaya devam ettiğini göstermiştir. Buna ilaveten ^{90}Sr ve ^{137}Cs kaynağını Karadeniz ve Azak denizi bağlayan Kerch Boğazı'nın bitişiğindeki alanda bulmuşlardır. Bunun da kuzey kırım kanalı boyunca gelen Dnieper sularının kirletilmesine neden olduğunu gözlemişlerdir. Karadeniz yüzey sularında ve Bentik kahverengi deniz yosunu *Cystoseria*'daki ^{137}Cs ve ^{90}Sr konsantrasyonunun daha önce yayımlanan sediment'deki radyonüklid değerleri ile kıyaslanarak uzun dönem gözlemlendiğinde 1990'lı yılların başlarında artmaya başlayan ikinci bir radyoaktif kirliliğini gösterdiğini belirlemişlerdir.

Khandaker vd. (2013), Malezya'nın ortalama günlük diyet önemini kabul ederek, yumuşakça ve kabuk temelli gıdalarda doğal olarak oluşan radyonüklidlerin aktiflik konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Radyonüklidlerin konsantrasyonlarını HPGe gama ışını spektrometresi kullanılarak belirlemişlerdir. Yumuşakçalar için ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th

(²²⁸Ra) ve ⁴⁰K'in aktivite aralıklarının sırasıyla 3,28±0,35-5,34±0,52, 1,20±0,21-2,44±0,21, 118±6-281±14 Bq kg⁻¹ olduğunu, kabuklular için ise bu değerlerin sırasıyla 3,02±0,57-4,70±0,52, 1,38±0,21-2,40±0,35 ve 216±11-316±15 Bq kg⁻¹ aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Yumuşakların tüketimi sonucu radyoaktivitenin ortalama günlük alımını ²³⁸U (²²⁶Ra) için 0,37 Bq kg⁻¹, ²³²Th (²²⁸Ra) için 0,16 Bq kg⁻¹ ve ⁴⁰K için 18 Bq kg⁻¹, kabuklular için ise aynı radyonüklidlerin ortalama günlük alımlarını sırasıyla 0,36, 0,16 ve 23 Bq kg⁻¹ olarak tahmin etmişlerdir. Yumuşaklar için yıllık alınan etkin doz değerlerinin aralıklarının ²²⁶Ra için 21,3-34,7 µSv, ²²⁸Ra için 19,3-39,1 µSv ve ⁴⁰K için 17,0-40,4 µSv olduğunu, kabuklular için ise aynı değerler sırasıyla 19,6-30,5, 22,0-38,4 ve 31,1-45,5 µSv olduğunu tahmin etmişlerdir.

Kılıç vd. (2014a), Türkiye'nin sahil kesimlerinden (Karadeniz, Marmara denizi, Ege Denizi ve Akdeniz) toplanan midye (*Mytilus galloprovincialis*) örneklerinde ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb'un radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb'un ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,7±0,1, 469±24, 0,9±0,1, 1,0±0,1, 122±4 ve 10,9±0,9 Bq kg⁻¹ olarak tespit etmişlerdir. Radyoaktivite ve doz seviyelerini Akdeniz ülkelerinde gerçekleştirilen benzer çalışmalarla karşılaştırmışlardır.

Kılıç vd. (2014b), Şubat 2012 de İstanbul'un merkezinde bulunan Haliç'den toplanan midye (*Mytilus galloprovincialis*) ve sediment örneklerinde doğal ve yapay radyonüklidlerin konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Midyelerde ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb'un ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 1,03±0,23, 389±41,6, 2,61±1,23, 91,96±37,88 ve 11,48±4,85 Bq kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir. ²²⁸Ra'in aktivite konsantrasyonu ise dedeksiyon limit değerinin altında kaldığından belirleyememişlerdir. <63 µm tanecik boyutundaki sediment örneklerindeki ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb'un aktivite konsantrasyonlarını midye örneklerindeki bu radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarından genellikle daha yüksek olarak gözlemişlerdir.

Khandaker vd. (2015), çeşitli sanayi ve antropojenik kaynakların sonucunda kirlenen Malakka Boğazı çevresine hakim olan su kalitesinin belirlenmesinde önemli sistematik çalışmalar yapmışlardır. Çevredeki halkın günlük diyetinin önemli bir kaynağını sucul stoku oluşturduğundan dolayı Malakka boğazından toplanan deniz

balığında (*Rastrelliger kanagurta*) doğal radyonüklid konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Deniz balığının tüketimine bağlı olarak indikatör radyonüklidler ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın konsantrasyonlarını değerlendirmişlerdir. Çalışma bölgesi için dedekte edilmiş bütün radyonüklidlerin yıllık etkin doz değerlerini kanserojen risk değerleri ile ilişkili olan uluslararası limit değerleri içinde bulmuşlardır.

1.3. Radyoaktivite

Radyoaktivite, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in X-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle keşfedilmiştir. Bunu takiben Marie ve Pierre Curie deneylere devam etmiş radyoaktif polonyum ve radyum elementlerini bulmuşlardır. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmıştır.

Kararsız atom çekirdeklerinin dışardan enerji almadan kendiliğinden bozunuma uğrayarak bazı ışınlar yayınlayıp niteliğini değiştirerek başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayına radyoaktiflik denir. Bir başka ifadeyle radyoaktiflik, kararsız atom çekirdeğinin kararlı duruma geçebilmek için çeşitli ışın veya parçacık yayması olayıdır. Radyoaktivite, doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir.

1.3.1. Doğal Radyoaktivite

Bozunuma uğrayan çekirdek (izotop) doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunumu sonrası ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik denir. Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların araştırılmaya başlanmasıyla hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonların yanı sıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonlara da maruz kaldıklarının tespiti açısından önemlidir. Doğada bilinen radyoaktif çekirdek sayısı 340

civarındadır. Doğal radyoaktif özellikler taşıyan elementler, periyodik cetvelin atom numaraları $Z=81-92$ arasında kalan bölgesini kaplarlar. İnsan üzerine etkileri bakımından kozmik radyasyon ve bunların atmosferimizle etkileşmesi sonucunda meydana getirdikleri radyoaktif parçacıklar da ihmal edilemeyecek kadar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden yüksek rakımlı bölgelere çıkıldıkça radyasyon oranı önemli ölçüde artış göstermektedir.

Doğal radyoaktif izotopların birçoğu ağır elementlerden oluşmaktadır. Bu ağır elementler dört seride toplanmaktadır. Bunlar toryum, neptünyum, uranyum ve aktinyum serileridir. Tablo 1’de bu serilere ait bazı temel özellikler verilmektedir. Bu isimler seride mevcut olan radyoaktif izotoplardan en uzun yarı ömürlü olana aittir. n bir tam sayı olmak üzere bu seriler, $4n$, $4n+1$, $4n+2$, $4n+3$ denklemleri ile tanımlanır. Ek-1, Ek-2 ve Ek-3’te sırasıyla Uranyum, Toryum ve Aktinyum bozunma şeması verilmektedir (Damla, 2009).

Tablo 1. Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)
Toryum	$4n$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \times 10^{10}$
Neptünyum	$4n+1$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n+2$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n+3$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \times 10^8$

1.3.2. Yapay Radyoaktiflik

Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması olayıdır. Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanlığı, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve basit yapılmasına olanak sağlar (Damla, 2009).

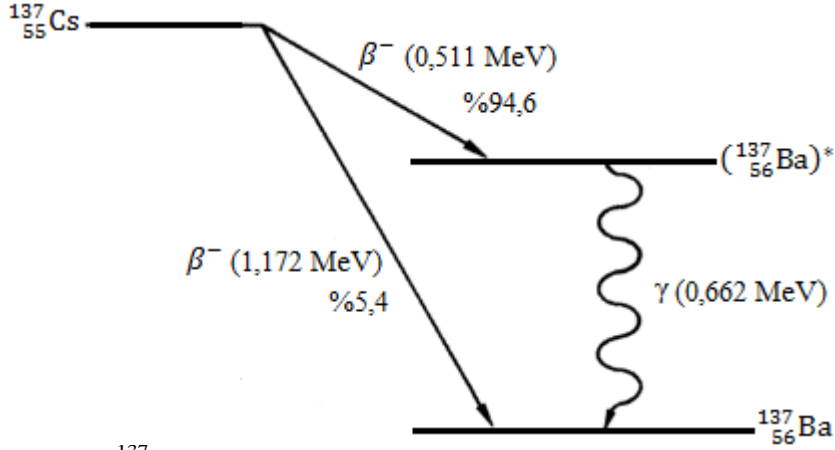
Son yüzyılda tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler vasıtasıyla doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur.

Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler Tablo 2’de verilmiştir. Doğal radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyondan alınan doz, yapay radyoaktif çekirdeklerden alınan radyasyon dozuna oranla insanlar tarafından daha yüksek olmasına rağmen, insan yapımı radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyon, yaydıkları radyasyon türü gereği daha fazla endişeye yol açarlar (Damla, 2009).

Tablo 2. Yapay radyoaktif çekirdekler.

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
⁶⁰ Co	5.3 (yıl)	β, γ
⁶⁵ Zn	244 (gün)	γ
⁹⁰ Sr	29 (yıl)	β
⁹⁰ Y	64 (saat)	β
¹²⁵ I	60 (gün)	X
¹³¹ I	8 (gün)	β, γ
¹³⁴ Cs	2,1 (yıl)	β, γ
¹³⁷ Cs	30 (yıl)	β, γ
¹⁵⁵ Eu	4,96 (yıl)	β, γ
²³⁸ Pu	87,7 (yıl)	α
²³⁹ Pu	2,4.10 ² (yıl)	α,γ
²⁴⁰ Pu	6,5x10 ³ (yıl)	α
²⁴¹ Pu	14,4 (yıl)	β

Potasyuma benzer kimyasal özelliklere sahip alkali bir metal olan sezyumun radyoaktif izotoplarından biri olan ¹³⁷Cs, nükleer fisyonun önemli ürünlerinden bir tanesi olup 0,662 MeV enerjili gama bozunumu yapmaktadır (Şekil 2). ¹³⁷Cs 30,17 yıl gibi uzun bir fiziksel yarı ömre sahip olması nedeniyle ekosistemde uzun süre etkili olabilen ve biyolojik açıdan son derece önemli olan bir radyonükliddir.



Şekil 2. ^{137}Cs 'nin bozunma şeması.

^{137}Cs 'nin genel olarak atmosferik yağışlar vasıtasıyla oluşan ana kaynağı 1954-1963 yılları süresince termonükleer silahların atmosferik denemeleridir. Daha sonra 1986'da meydana gelen Çernobil kazası ile radyolojik açıdan en önemli izotop olan ^{137}Cs 'den Avrupa ve Asya'nın karasal ve denizel olmak üzere pek çok bölümü etkilenmiştir. Tyler ve arkadaşları 1960'lı yılların ortalarına kadar nükleer denemeler sonucu oluşan toplam ^{137}Cs 'nin %90'ının yeryüzünde biriktiğini rapor etmişlerdir (Tyler vd., 2001).

1.3.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Tabiatta atom çekirdeklerinin bir kısmı kararlı, diğer bir kısmı da kararsızdır. Kararsız çekirdek, taşıdıkları fazla enerjiyi parçacık çıkarmak veya ışıma yapmak suretiyle atarlar. Çekirdeğin böyle kendi kendine parçacık çıkararak başka izotopa veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi olayına *radyoaktif bozunma* denir.

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı, çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır. Bir radyoaktif bozunma sonunda kararlı bir çekirdeğe bozunan bir çekirdek türünden, eğer herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır.

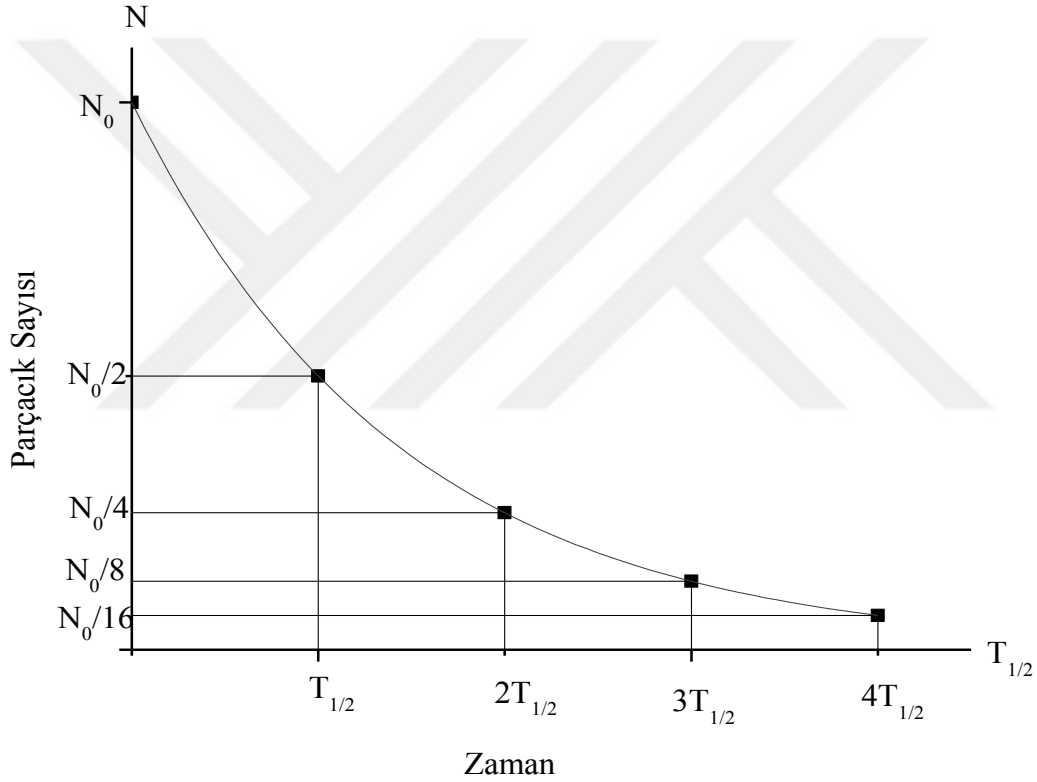
$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

Denklem (1) $t=0$ anındaki çekirdek sayısı N_0 durumu için çözümlerse;

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

elde edilir. Denklem (2)'de t zamanı, $N(t)$ t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını ve λ (s^{-1}) radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir.

Şekil 3'te bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denklemine ait çekirdek sayısı değişimi vermektedir.



Şekil 3. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi.

1.3.4. Peş Peşe Bozunma Kanunu

Radyoaktif bir çekirdek başka bir ürüne bozduğunda eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka bir çekirdeğe bozunur. Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana çekirdeğin atomlarının sayısı N_1 , ürün çekirdeğin atomlarının sayısı N_2 ile gösterilirse, bunlar da λ_2 bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı çekirdekteki atomların sayısı ise N_3 olduğu ve $t=0$ iken

$N_1=N_{10}$, $N_2=N_{20}$, $N_3=N_{30}$ olduğu farz edilsin. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (3)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (4)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (5)$$

(3) bağıntısı N_1 'in bozunma hızını, (4) bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildiklerini ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. (5) bağıntısı ise N_3 atomlarının üretim hızını verir.

(3) denkleminde $t=0$ da $N_1 = N_{10}$ integrali alınırsa

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (6)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri denklem (4) de yerine konulursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (7)$$

olur. Bu bağıntının iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılır ve gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (8)$$

elde edilir. Benzer şekilde (5) bağıntısı $t=0$ 'da $N_3=N_{30}=0$ şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (9)$$

elde edilir ve bu bağıntıya ardışık bozunma bağıntısı adı verilir. 6, 8, 9 eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler, $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ özel durumlar için üretildi.

1.3.5. Radyoaktif Denge

1.3.5.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Denklem (8) ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (10)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.3.5.2. Sürekli Denge

Denklem 10'da $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. Bu durumda $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (11)$$

olarak elde edilir. Denklem (11)'de zamanın çok artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşır ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (12)$$

elde edilir. λ_1 çok küçük olduğundan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu açıktır.

1.4. Radyasyon Birimleri

1.4.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite birimi Becquerel (Bq) olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Becquerel ile radyoaktivitenin geleneksel birimi olan Curie (Ci) arasındaki bağıntı $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ (ya da $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$) şeklinde ifade edilir.

1.4.2. Işınlama Birimi

Işınlama dozu olarak tarif edilen Coulomb/kg (C/kg) normal şartlar altında 0°C ve 760 mm Hg basıncında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif negatif iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır. $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ (Röntgen) veya $1 \text{ R} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ dır.

1.4.3. Soğurulma doz birimi

Radyasyona maruz kalan bir maddenin birim kütleinde soğurulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve SI birim sisteminde Gray (Gy) kullanılır. Gray, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozudur. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ 'dır.

Enerji soğuran maddenin birim kütleinde soğurulan enerji için de birimler tanımlanmıştır. Bu birimlerden rad, maddenin 1 kg'ına 10^{-2} J enerji veren ışınım miktarıdır. $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$ ve $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ 'dır.

1.4.4. Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan birim rem'dir. Doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarlarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir. $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$ veya $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ 'dir.

Radyasyonun şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının (aktiflik) sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır. Tablo 3'te bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo 3. Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri.

Nicelik	Ölçüm	Geleneksel Birim	SI Birimi
Aktiflik (A)	Bozunma hızı	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)
Doz (X)	Havadaki iyonlaşma	Röntgen (R)	Kilogram başına Coulomb (C/kg)
Soğurulan doz (D)	Enerji soğurulması	Rad	Gray (Gy)
Doz eşdeğeri (DE)	Biyolojik etkinlik	Rem	Sievert (Sv)

1.5. Gama Işınlarmın Madde ile Etkileşmesi

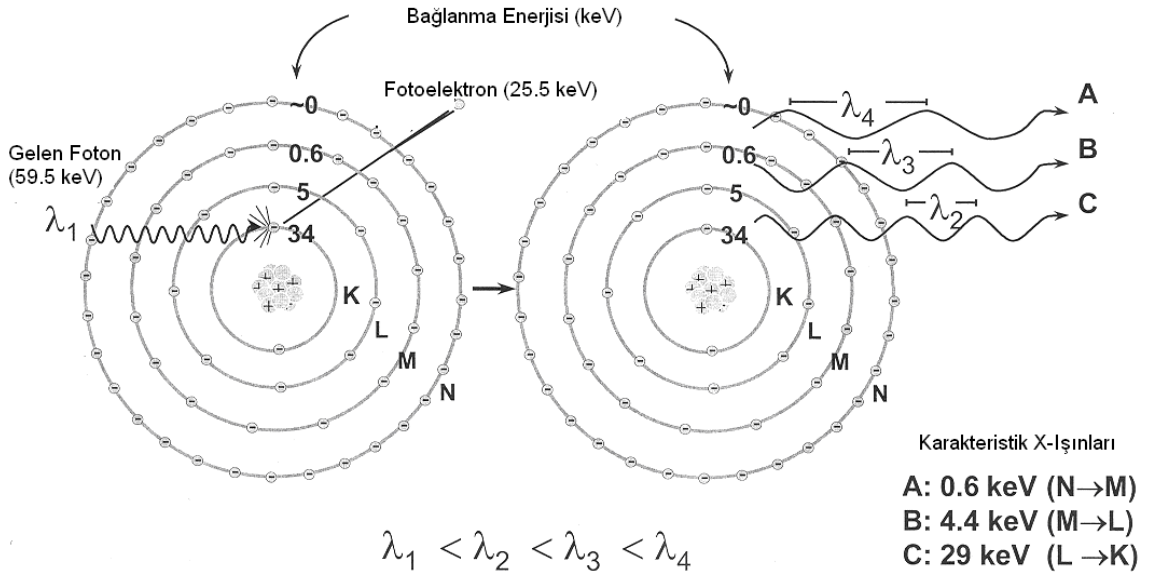
Gama ışınları, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Bir alfa veya bir beta parçacığı yayınlayan çekirdek genellikle kararlı bir durumda olmaz. Çekirdeğin kalan fazla enerjisi bir elektromagnetik radyasyon halinde yayınlanır ve çekirdek kararlı hale gelir.

Gama ışınlarının dalga boyları 10^{-10} m ile 10^{-14} m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede giricilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır.

Gama ışınları fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu biçiminde madde ile etkileşebilirler.

1.5.1. Fotoelektrik Olay

Madde üzerine düşen fotonun madde atomunun bağlı elektronlarından bir tanesine tüm enerjisini verip bu elektronun yörüngesinden ayrılıp serbest hale gelmesi olayına fotoelektrik olay, serbest hale gelen elektrona da fotoelektron denilmektedir. Serbest bir elektron foton soğuramaz ve fotoelektron haline gelemmez. Çünkü bu durumda momentum ve enerji korunamaz. Ancak bağlı bir elektron bir foton soğurabilir ve fotoelektron haline gelebilir. Çünkü bu durumda atom geri teper ve momentum korunur. Bu işlem sırasında foton tamamen soğurulur. K kabuğu elektronlarından birinin sökülmesi ile oluşan bir fotoelektrik olay Şekil 4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Fotoelektrik olay.

$$E_{fe} = h\nu - E_b \quad (13)$$

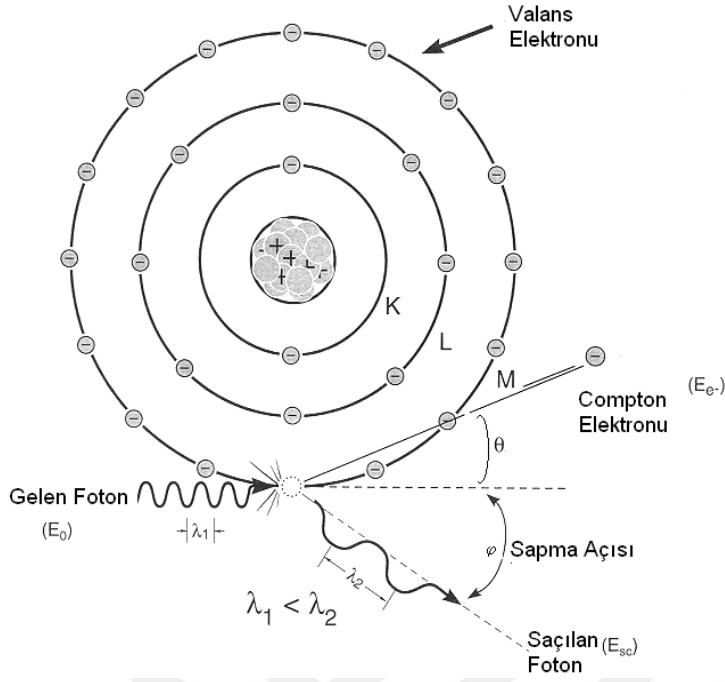
ile verilir. Burada E_b , K kabuğunun bağlanma enerjisi, $h\nu$ gelen fotonun enerjisidir. Fotonun $h\nu$ enerjisi elektronun bağlanma enerjisine yaklaştıkça fotonun soğurulma ihtimali artar. Fotonun $h\nu$ enerjisi E_b bağlanma enerjisinden uzaklaştıkça fotoelektrik olayın meydana gelme ihtimali azalır.

K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır.

Oluşan karakteristik X-ışını her zaman atomu terk etmez, bazen bu foton atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir. Böylece, meydana getirilen bir boşluk için her zaman bir karakteristik x-ışını yayımlanmaz. Meydana getirilen boşluk başına X-ışını yayınlanma ihtimali floresans verim (ω) olarak tanımlanır. Floresans verim 0 ile 1 arasında değerler alır. Küçük atom numaralı elementler için Auger elektronu yayınlanma ihtimali, büyük atom numaralı elementlerinkine oranla daha büyüktür. Büyük atom numaralı elementler için karakteristik X-ışını yayınlama ihtimali ise küçük atom numaralı elementlere göre daha büyüktür. Bunun sebebi, küçük atom numaralı atomlarda iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır (Baltaş, 2006).

1.5.2. Compton Saçılması

Compton saçılması, ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren ilginç olaylardan biridir. Bu saçılmada, bir fotonun genellikle başlangıçta durgun olan serbest elektronlardan veya bağlanma enerjisi, foton enerjisine kıyasla küçük olan elektronlardan enerji kaybetmesi olarak bilinir. Bu işlemde, gelen foton serbest bir elektronla etkileşerek daha düşük bir enerji ile saçılır ve geri kalan enerji geri tepen elektron tarafından alınır. Bir atomda elektronlar gevşekçe bağlı ve gelen fotonların enerjileri nispeten büyük olduğunda, fotonların atomun bağlı elektronları tarafından saçılmalarını da Compton saçılması olarak düşünebiliriz. Bu olay Şekil 5'te gösterilmiştir (Baltaş, 2006).



Şekil 5. Compton saçılması.

Enerji ve momentumun korunumu bağıntılarını ve enerjinin rölativistik eşitliği kullanıldığında,

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\varphi) \quad (14)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ saçılan ve gelen fotonun dalga boyları arasındaki farktır. h Planck sabiti, m_0 elektronun kütlesi, c ışık hızı ve φ ise fotonun saçılma açısıdır. $h/m_0c = 2,43 \times 10^{-13}$ m ise Compton dalgaboyu olarak adlandırılmaktadır.

Eşitlik (14) kullanılarak saçılan fotonun enerjisi,

$$E' = \frac{E}{1 + \alpha(1 - \cos\varphi)} \quad (15)$$

ifadesiyle verilir. Geri tepen elektronun kinetik enerjisi ise

$$K = \frac{\alpha E(1 - \cos\varphi)}{1 + \alpha(1 - \cos\varphi)} \quad (16)$$

ile verilir. Burada E gelen foton enerjisi, $\alpha=E/m_0c^2$ olup ince yapı sabitidir. Gelen foton, saçılan foton ve geri tepen elektron daima bir düzlemde olduğundan θ ve φ arasındaki bağıntı ise

$$\cot\varphi = (1 + \alpha)\tan\frac{\theta}{2} \quad (17)$$

ifadesi ile verilir. Burada θ , geri tepen elektronla gelen fotonun yönü arasındaki açıdır.

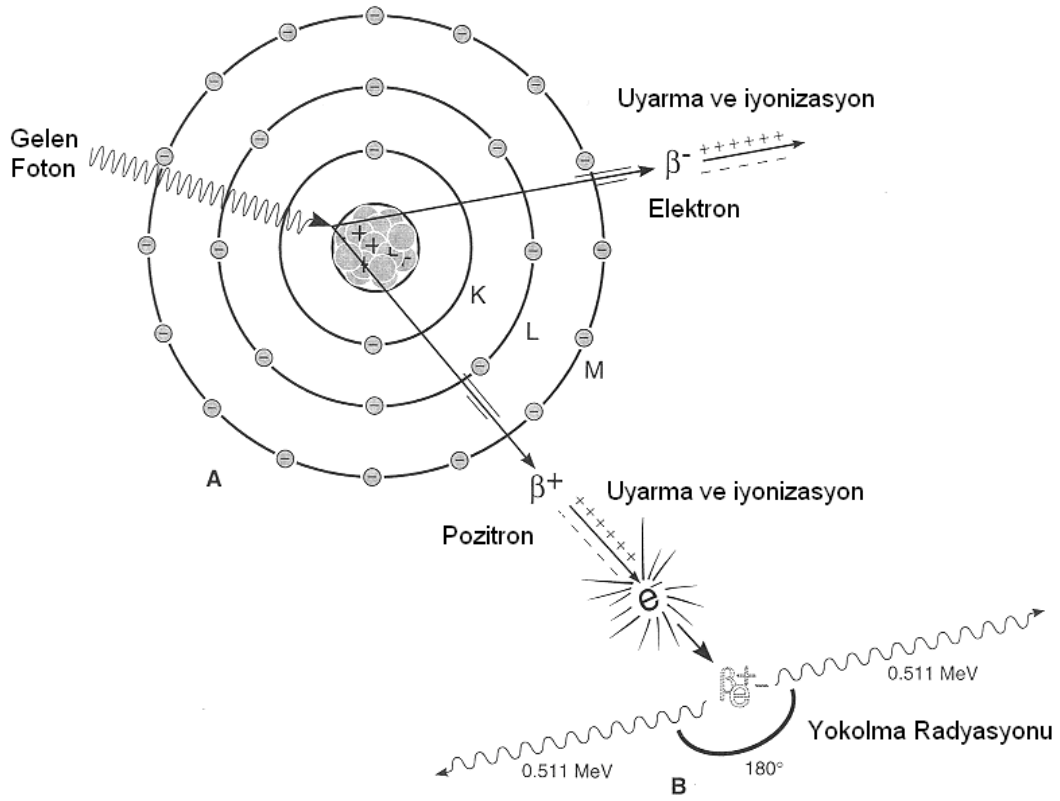
Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir.

1.5.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektronla (e^-) bir pozitrona (e^+) dönüşmesi olayıdır.

$$\gamma \text{ fotonu} \rightarrow e^- + e^+ \quad (18)$$

Elektron ve pozitronun kütleleri birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Aynı zamanda bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Yani, hem yük hem çizgisel momentum ve hem de toplam enerji korunmuş olur. Bu olay Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu olay için eşik enerjisi $m_0c^2=0,511$ MeV 'dir. Bu nedenle çift oluşum olabilmesi için foton enerjisinin en az 1,02 MeV olması gerekir. Çift oluşumun karşıtı ise, bir elektron ile bir pozitronun yan yana gelerek bir foton çifti oluşturmak suretiyle yok olmasıdır. Bu olayın çekirdek etrafında olma zorunluluğu yoktur (Baltaş, 2006).



Şekil 6. Çift Oluşumu.

1.6. Gama Işını Dedektörleri

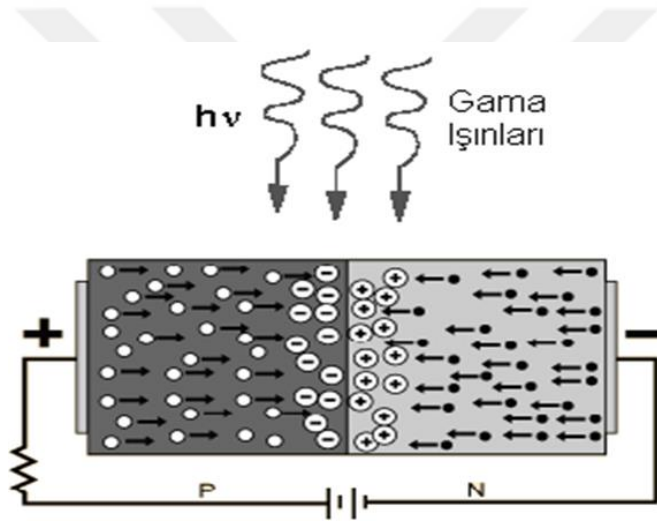
Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan tüm dedektörler benzer çalışma özelliklerine sahiptirler. Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek için elektronik devre tarafından ya akım pulsu yada voltaj şekline dönüştürülür. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır. Gama ışınlarının ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektörler, yarıiletken ve sintilasyon dedektörlerdir.

Bu dedektörlerin çalışması, gama ışınlarının kullanılan materyal içinde iyonlaşarak enerji kaybetmesi gerçeğine dayanır.

1.6.1. Yarıiletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme

altında dedektörde, elektron ve boşluk arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron valans bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. İçerideki elektrik alan, elektronları eklemin pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Yarıiletken materyallerden özellikle yasak enerji aralığı 1 ile 5 eV olan tek kristaller dedektör yapımında kullanışlıdır. Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarı iletkenler IV A grubu Silisyum ve Germanyum'dur. Şekil 7'de yarıiletken dedektörlerin basit şematik gösterimi verilmiştir.

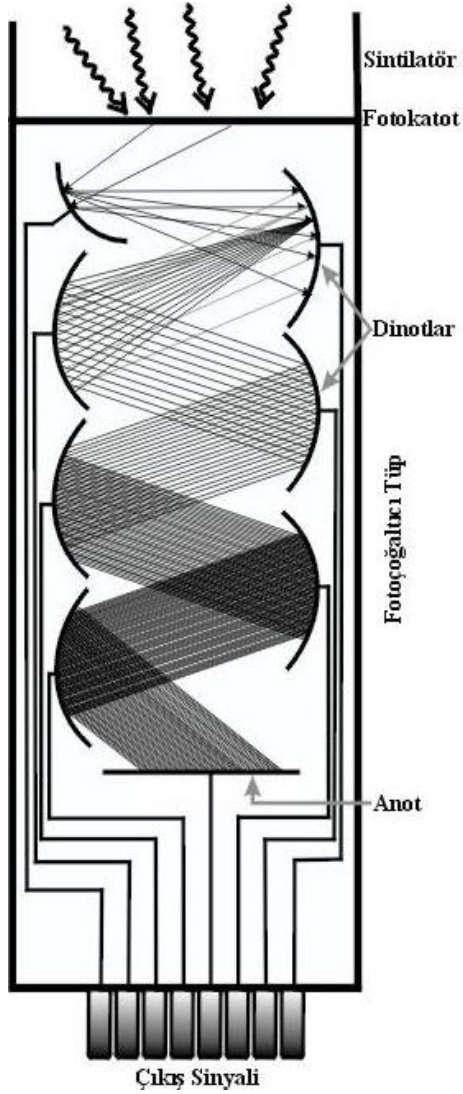


Şekil 7. Yarıiletken dedektör şeması.

1.6.2. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki ikilemi şöyle çözer: İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. 1) Gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış düzeye çıkaran çok fazla sayıda etkileşme yapar. 2) Uyarılmış durumlar hızla, görünür bölgede (veya görünür bölgeye yakın) ışık yayınlılar böyle materyallere fluoresans denir. 3) Işık foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir fotoelektron salınmasına neden olur. 4) Bu ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür.

Bir PM (fotoçoğaltıcı) şeması Şekil 8'de gösterilmiştir. Fotokatotda az sayıda (gelen foton sayısından az) yayınlanan elektronlar dinot denen bir dizi elektrotla çoğaltılır ve odaklanırlar. Dinotlar, bir yüksek voltaj kaynağı tarafından üretilen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleriyle birleştirilmiştir. Komşu dinotlar arasındaki tipik potansiyel farkı yaklaşık 100 V ' tur ve böylece elektronlar dinotlara 100 eV ' lik enerji ile çarparlar. Dinotlar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden yapılıdır; bir elektron salınması için 2-3 eV yeterli olabilir, böylece elektron sayısında 30-50 çarpanı kadar bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rasgele doğrultularda yayımlandıkları için yüzeyde az sayıda elektron yayınlanacak, her dinotdaki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Örneğin 10 dinotlu bir tüp ile sağlanacak kazanç 5^{10} 'dur. Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik , lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinotdaki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarındaki değişmelere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir (Baltaş, 2006).



Şekil 8. Bir çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.

Sintilatörler organik ve inorganik olabilirler. Gama ışın dedektörlerinde çoğunlukla kullanılan dedektörler inorganik maddeler olan sodyum iyodür (NaI) veya sezyum iyodür (CsI) gibi alkali halde (herhangi bir halojen asit tuzu) tuzlardır. Bu maddelere foton yayınlama olasılığını arttırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak amacıyla bir miktar katkı eklenir. Bu maddeye, aktivatör (aktifleyici) denir. Talyum ve sodyum genellikle en çok kullanılan aktivatörlerdir. Genellikle pek çok dedektör, NaI(Tl) yani talyum aktifleyici ile sodyum iyodür kristali, ya da CsI(Na) yani sodyum aktifleyici ile sezyum iyodür şeklinde ifadelerle açıklanır.

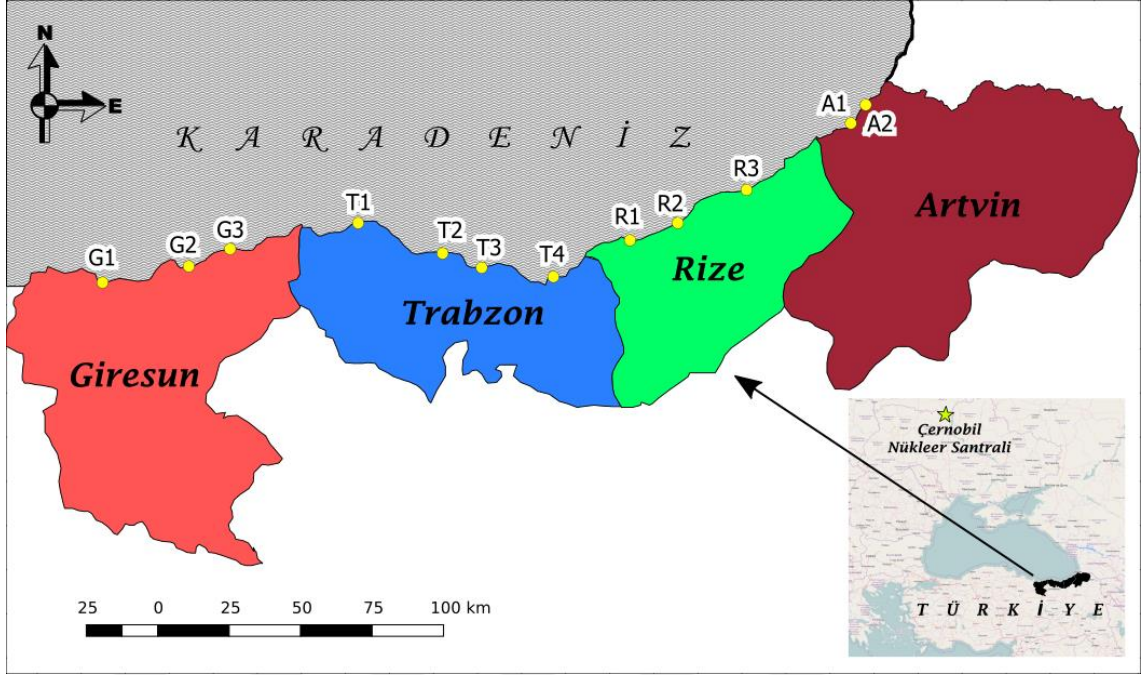
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı

Deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) örnekleme mevsimsel olarak Giresun, Trabzon, Rize ve Artvin ili sahillerinden yapılmıştır. Örnekleme noktalarının haritası Şekil 9’da verilmiştir. Örnekleme noktalarının seçiminde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü’ne ait internet sitesinden faydalanılmış ve Giresun, Trabzon, Rize ile Artvin il sınırlarında, özellikle işletilen ve yoğun rezervlerin bulunduğu yatakların yakınından geçip, denize dökülen akarsuların mansapları dikkate alınmıştır (URL-1). Yine Trabzon ilinde tesis olan gemi sanayii (Sürmene Tersanesi), gemilere maden yüklemesinin yapıldığı Rize ve Artvin (Hopa) limanları örnekleme alanı olarak dikkate alınmıştır. Trabzon Çarşıbaşı (T1) ilçesinden seçilen istasyon ise maden yatakları ile sanayi ve gemi yükleme noktalarından uzakta bulunduğu dolaylı referans temiz nokta olarak değerlendirilmiş ve çalışma alanının içerisine dâhil edilmiştir. Belirtilen hususlar sonucu tespit edilen örnekleme noktalarına ait enlem ve boylam noktaları Tablo 4’te verilmiştir.

Doğu Karadeniz Bölgesi Gürcistan sınırından başlayarak Ordu'nun doğusundaki Melet çayına kadar uzanır. Karadeniz'in en dağlık ve yükseltisinin en fazla olduğu bölümüdür. Doğu Karadeniz Bölgesi, Artvin, Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize ve Trabzon illerini kapsar. Türkiye'nin kuzey doğusunda 39°50' - 41°32' Kuzey enlemleri ile 36°42' - 42°37' Doğu boylamları arasında yer alır. Yedi il toplam 39.203 km² lik bir alan kaplamaktadır (Artvin 7.436 km² , Giresun 6.934 km² , Gümüşhane 6.575 km² , Ordu 6.001 km² , Rize 3.920 km² , Trabzon 4.685 km² ve Bayburt 3.652 km²). Bu alan ülke yüzölçümünün yaklaşık % 5,04'nü oluşturur.



Şekil 9. Doğu Karadeniz Bölgesinde örnek alınan istasyonlar.

Tablo 4. Örnekleme İstasyonları.

Örnekleme İstasyonları	İstasyon Kodu	Enlem	Boylam
Batlama Deresi Mansabı	G1	40°54'35"	38°21' 20"
Yağıldere Mansabı	G2	40°57'23"	38°41'33"
Harşit Çayı Mansabı	G3	41°00'40"	38°52' 21"
Çarşıbaşı (İskefiye) Mansabı	T1	41°05'25"	39°23'50"
Değirmendere Mansabı	T2	40°59'59"	39°45'06"
Yomra Deresi Mansabı	T3	40°57'25"	39°51'13"
Sürmene Tersanesi	T4	40°55'16"	40°11'40"
Rize Liman İçi	R1	41°02'44"	40°30'42"
Büyükdere Mansabı	R2	41°04'22"	40°42'26"
Fırtına Deresi Mansabı	R3	41°11'19"	40°58'57"
Hopa Çayı Mansabı	A1	41°24'44"	41°25'45"
Hopa Limaniçi	A2	41°23'32"	41°26'26"

2.1.2. Araziden Örnekleme Çalışmaları

Yukarıda belirtilen (Şekil 9) 12 istasyondan Şubat (Kış), Mayıs (İlkbahar), Temmuz (Yaz) ve Kasım (Sonbahar) 2014 aylarında dört dönem (mevsimsel) olmak

üzere deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi örneklemeleri yapılmıştır. Verilen bütün tablolarda Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar mevsimi sırası izlenmiştir.

Deniz suyu örneklemeinde ilk önce deniz suyunun tuzluluk (ppt) ve pH değerleri YSI marka prob (sonda) ile ölçülmüştür (Şekil 10a). Deniz suyu için ölçülen bu parametreler mevsimsel olarak Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar şeklinde sırasıyla Tablo 10-11'de verilmiştir. Daha sonra her bir istasyondan buharlaştırıldığında ölçüm için yeterli katı madde miktarı elde etmek için 40'ar litrelik deniz suyu örnekleri bidonlara doldurularak laboratuvar ortamına getirmek için hazır hale getirilmiştir (Şekil 10b).

Sediment örnekleri Van-ween grap (15x15x20 cm) kullanılarak midyenin örneklendiği istasyonlardan grabın iç hacmi kadar (yaklaşık 4,5 kg) temin edilmiştir. Sediment örnekleri temiz poşetlere konulup laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 10c).

Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) örneklemeleri 0-20 m aralığındaki istasyon sahasındaki kayalık bölgelerde serbest ve scuba dalış ekipmanları ile dalarak elde edilmiştir (Şekil 10d). Midye örnekleri üzerlerinde bulunan fooling organizmalardan temizlenerek (Şekil 10e) temiz poşetlere konulmuş etiketlendikten sonra laboratuvar ortamına getirmek için taşınabilir soğutucuya yerleştirilmiştir.



Şekil 10. a) YSI marka prob (sonda) ile deniz suyu parametrelerinin ölçümü. b) Bidonlara alınan deniz suyu örnekleri. c) Temiz poşete konulan sediment örnekleri. d) Akdeniz midyesi örnekleme amacıyla yapılan dalış hazırlığı. e) Alınan midye örneklerinden fooling organizmaların temizlenmesi.

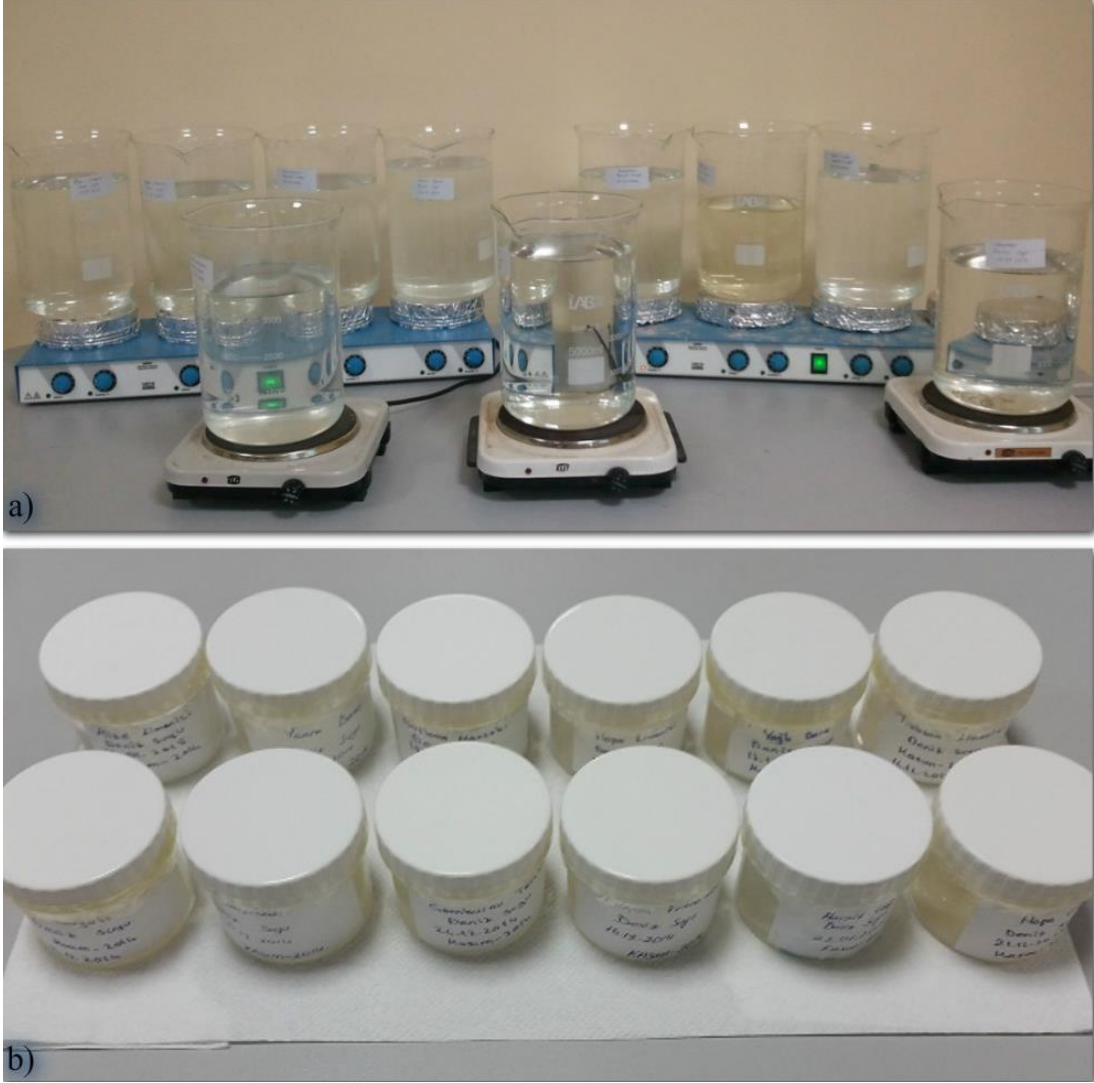
2.1.3. Örneklerin Radyoaktivite Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi

2.1.3.1. Deniz Suyu Örnekleri

Deniz suyu örnekleri laboratuvar ortamına getirildikten sonra her bir istasyon için 5'er litrelik temiz beherlere aktarılarak, 40–50 °C'de elektrikli ısıtıcıların üzerinde buharlaşmaya bırakılmıştır (Şekil 11a).

Deniz suyu kaynaklı oluşan tortuların beherin iç cidarına yapışmaması için her bir behere 3-4 damla HCl damlatılmıştır. Sular buharlaşıp diplerinde tortu kalana kadar belirli aralıklarla sıcaklıkları kontrol edilmiş ve buharlaşıp azalan sulara da belirli aralıklarla eklemeler yapılmıştır. Yaklaşık 15 gün boyunca 100 ml kalana kadar ısıtıcıda buharlaştırılmaya bırakılmıştır. Buharlaşmadan kalan örnek gama aktivite analizi için boş sayımları alınmış silindirik 100 ml'lik marinelli kapların içine bırakılıp (Şekil 11b) ağızları sıkıca kapatılarak radyoaktif dengenin oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir

(Mollah ve ark. 1987). Böylece ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve örnekler gama spektrometresi cihazında sayıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 11. a) Deniz suyu örneklerinin elektrikli ısıtıcılar üzerinde buharlaştırılması. b) Deniz suyu örneklerinin 100 ml'lik marinelli kaplara alınması.

2.1.3.2. Sediment Örnekleri

Sediment örnekleri temiz poşetlere konularak laboratuvar ortamına getirildikten sonra istasyonlara göre ayrılarak plastik kaplara konulmuştur. Daha sonra kurutma işlemini gerçekleştirmek için 85°C 'de 96 saat boyunca etüvde bırakılmıştır (Ünlü vd., 2008) (Şekil 12a).

Kurutulan sediment örnekleri daha sonra agatta bir süre öğütülmüştür. Öğütülmüş toz halindeki sediment örneklerinin parçacık boyutu etkisini azaltmak için 63 µm'lik eleklerden geçirilerek <63 µm parçacıklar elde edilmiştir (Şekil 12b). Literatürde yapılan araştırma sonucunda sediment örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi çalışmalarında genel olarak 63 µm elekler kullanıldığı görülmüş ve bu çalışmada elde edilen verileri daha önce yapılan çalışmalarla (Topcuoğlu vd., 2003; Papaefthymiou vd., 2007; Kılıç ve Çotuk, 2011; Kılıç vd., 2014b) karşılaştırma yapmak için 63 µm'lik elekler tercih edilmiştir.

Daha sonra sediment örnekleri gama aktivite analizi için darası ve boş sayımları alınmış silindirik 100 ml'lik marinelli kapların içine bırakılıp ağızları sıkıca kapatılmıştır (Şekil 12c). Sonra bu marinelli kaplar terazide tekrar tartılarak radyoaktif dengenin oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir (Mollah vd., 1987). Böylece örnekler gama spektrometresi cihazında sayıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 12. a) 85 °C’de etüvde kurutulmuş sediment örnekleri. b) Elekten (63 µm) geçirilmiş sediment örnekleri. c) Sediment örneklerinin 100 mL’lik marinalı kaplara alınması.

2.1.3.3. Akdeniz Midyesi Örnekleri

Akdeniz midyesi örnekleri taşınabilir soğutucu ile canlı olarak laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 13a). Daha sonra Akdeniz midyesi örnekleri deniz suyu ile temizlenerek üç farklı boya (büyük boy >70 mm, orta boy 50-70 mm ve küçük boy <50 mm) ayrılmıştır. Bu işlemlerden sonra midye örneklerinin yumuşak dokuları kabuklarından ayrılmıştır. Bu ayırma işleminde ölçüm hassasiyetini göz önünde bulundurarak metal araç ve gereç kullanılmamış ve plastik bıçaklar tercih edilmiştir (Şekil 13b). Yumuşak dokular kabuklardan ayrıldıktan sonra ayrı ayrı plastik kaplara konulmuştur (Şekil 13c).

Daha sonra kurutma işlemini gerçekleştirmek için örnekler 105 °C’ de 96 saat boyunca etüvde bırakılmıştır (Besada vd., 2011) (Şekil 13d). Kuruyan midye örneklerinin yumuşak dokuları agat havanda 2 saat öğütüldükten sonra parçacık boyutu etkisini azaltmak için 37 µm (400 mesh) eleklerden geçirilmiştir (Şekil 13e-13f).

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin gama aktivite analizi için darası ve boş sayımları alınmış silindirik 30 ml’lik marinelli kapların içine bırakılıp ağızları sıkıca kapatılmıştır (Şekil 13g). Sonra bu marinelli kaplar terazide tekrar tartılarak radyoaktif dengenin oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir (Mollah vd., 1987). Böylece örnekler gama spektrometresi cihazında sayıma hazır hale getirilmiştir.





Şekil 13. a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen midye örnekleri. b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması. c) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin istasyonlar dikkate alınarak ayrı ayrı kaplara yerleştirilmesi. d) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin etüve konulması. e) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin agatta öğütülmesi. f) Agatta toz haline gelmiş midyelerin yumuşak dokuları. g) Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinin 30 mL'lik kaplara alınması.

2.2. Yöntem

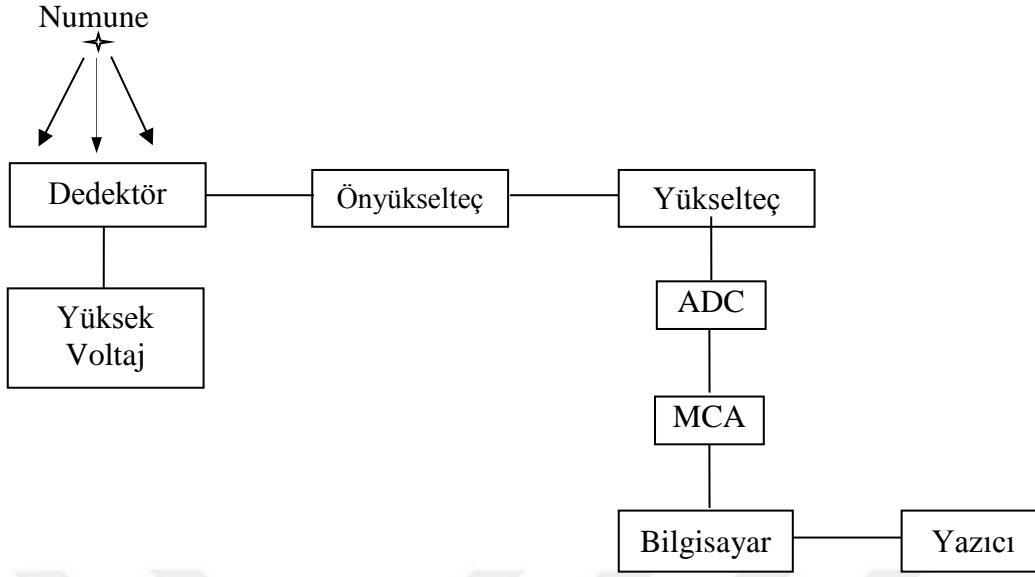
2.2.1. Deney Sistemi

Örneklerin radyoaktiflik ölçümleri için 1332,5 keV’de 1,9 keV ayırma gücüne ve % 55’ lik relatif verime sahip olan ORTEC marka GEM55P4-95 model HPGe detektörü kullanıldı. Şekil 14’te gama spektrometre sisteminin genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 14. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü.

Gama spektrometresi, dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) ibarettir. Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin şeması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı.

Sistemde bulunan üniteler ayrı ayrı aşağıda açıklanmıştır.

a) Dedektör

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile bu yükler sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

b) Yüksek Voltaj Ünitesi

Dedektörün yük birikimi için gerekli elektrik alanı oluşturmak üzere, negatif veya pozitif 5000 V 'a kadar gerilim sağlayan ünedir.

c) Önyükselteç

Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar. Önyükselteç'in ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etkili transistor'dür. Elektronik gürültüyü en

düşük seviyeye indirmek için, genellikle bir alan-etkili transistör (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektörle aynı oranda soğutulur, yani sıvı azot kaynama sıcaklığında (-196 °C) muhafaza edilir.

d) Yükselteç

Önyükselteç'ten gelen pulsların, puls yüksekliği analizi yapılabilecek kadar yükseltilmesini ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi sağlar. Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu yükselticiler hem unipolar çıkış (yani, sinyalin tepe kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir.

e) Analog Dijital Çevirici (ADC)

Analog dijital dönüştürücünün (ADC) amacı yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliği ile orantılı X ve gama ışını fotonunun enerjisiyle orantılı tamsayıya çevirmektir. Sayılmış olan bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır. Burada ölü zaman çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına veya dönüşümün artmasıyla orantılı olarak artar. Yani ADC'nin meşgul olduğu zamandır. ADC genellikle puls yüksekliği analizinde kullanılır.

f) Çok Kanallı Analizör (MCA)

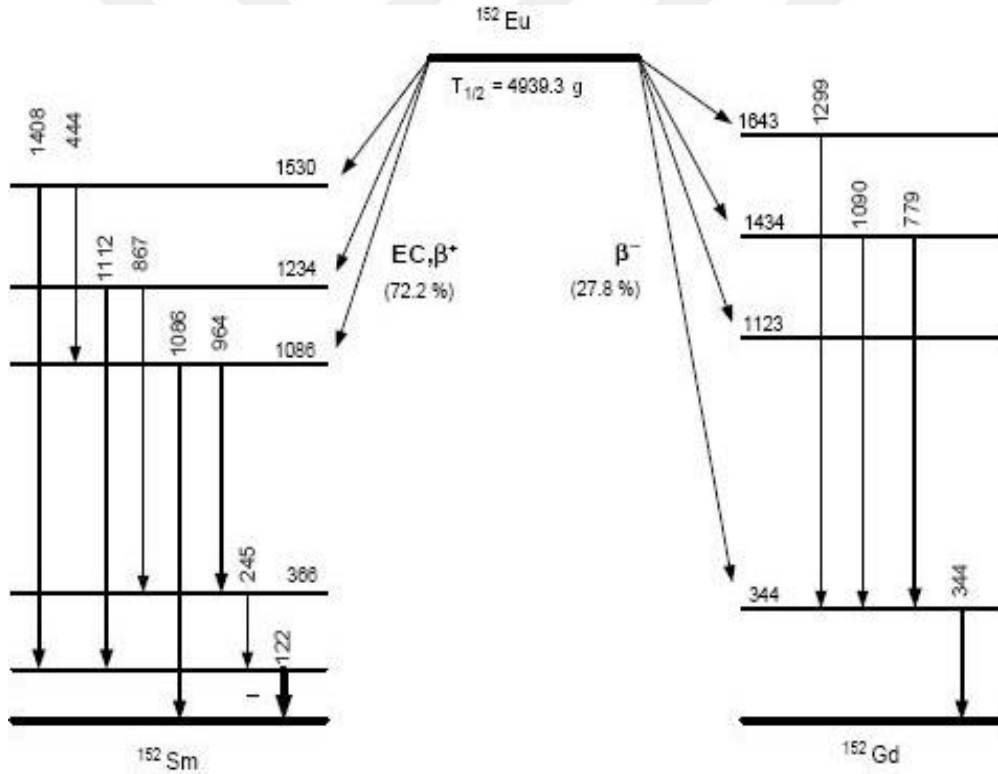
Çok kanallı analizörler, genellikle puls yüksekliği analizi yapan cihazlardır, MCA'daki en önemli devre veya bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür. Burada, gelen her puls, sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle pikler oluşur.

2.2.2. Deneysel Yöntem

2.2.2.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, her kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan alınan Eu-152 kalibrasyon kaynağının bozunma şeması Şekil 16'da ve kaynağa ait bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 16. ^{152}Eu 'nin bozunma şeması.

Tablo 5. ^{152}Eu kalibrasyon kaynağının özellikleri.

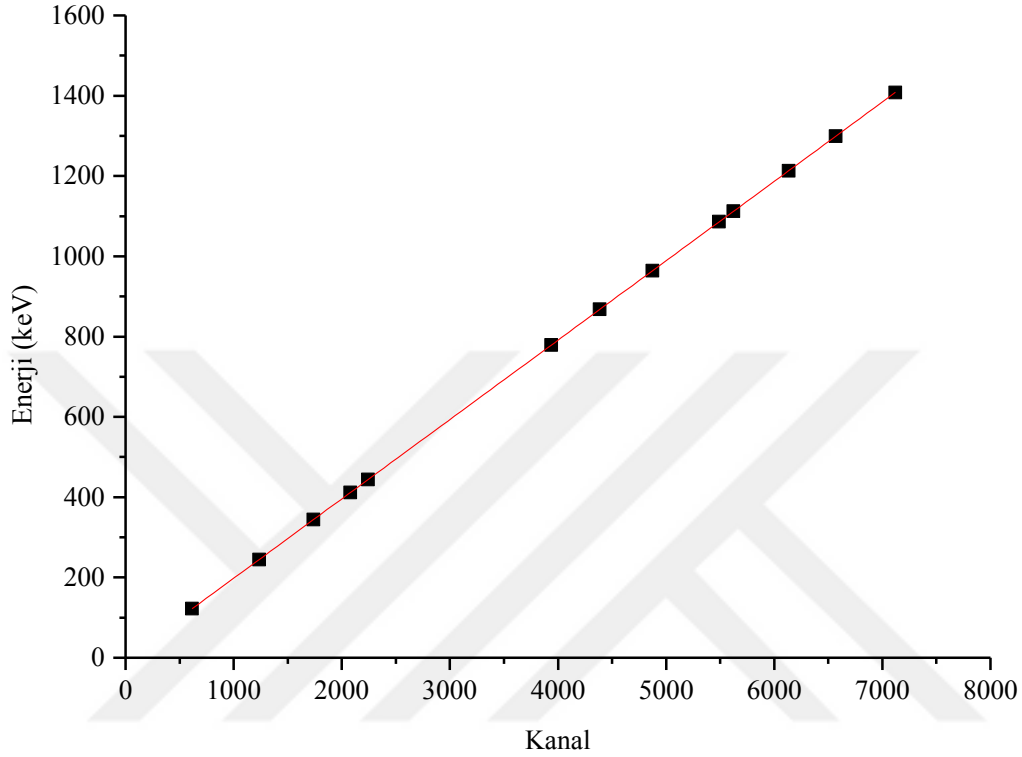
^{152}Eu ($T_{1/2}=13,516$ y)		
E_γ (keV)	I_γ (%)	Gama/s
121,8	28,40	30719,65
244,7	7,51	8123,40
344,3	26,60	28772,63
411,1	2,23	2412,14
444,0	2,82	3050,33
778,9	13,00	14061,81
964,1	14,60	15792,50
1085,8	10,21	11043,93
1112,1	13,60	14710,82
1408,0	20,80	22498,90

Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edildi (Tablo 6).

Tablo 6. Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri.

Enerji (keV)	Kanal
121,8	615
244,7	1236
344,2	1739
411,2	2078
443,9	2243
778,9	3937
867,4	4385
964,1	4874
1085,8	5490
1112,1	5623
1212,9	6133
1299,2	6570
1408,0	7121

Dedektör yardımı ile enerji kalibrasyonu için standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edilmiştir. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Enerji-Kanal grafiği.

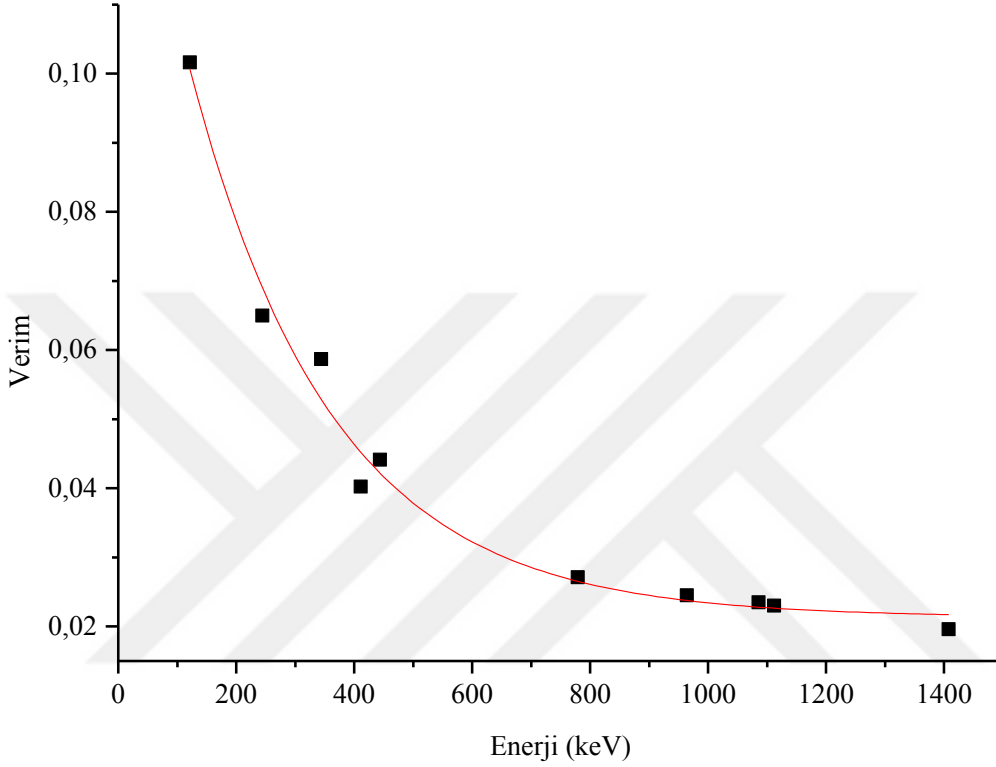
2.2.2.2. Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı yada dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. İlgilenilen enerjilerdeki dedektör verimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Damla, 2009):

$$\varepsilon = \frac{s}{I_{\gamma} \cdot N \cdot t} \quad (19)$$

Burada HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi ε , pikin net alanı s, sayma süresi t, gama ışınının salma hızı I_{γ} ve N kullanılan standart kaynağın sayım

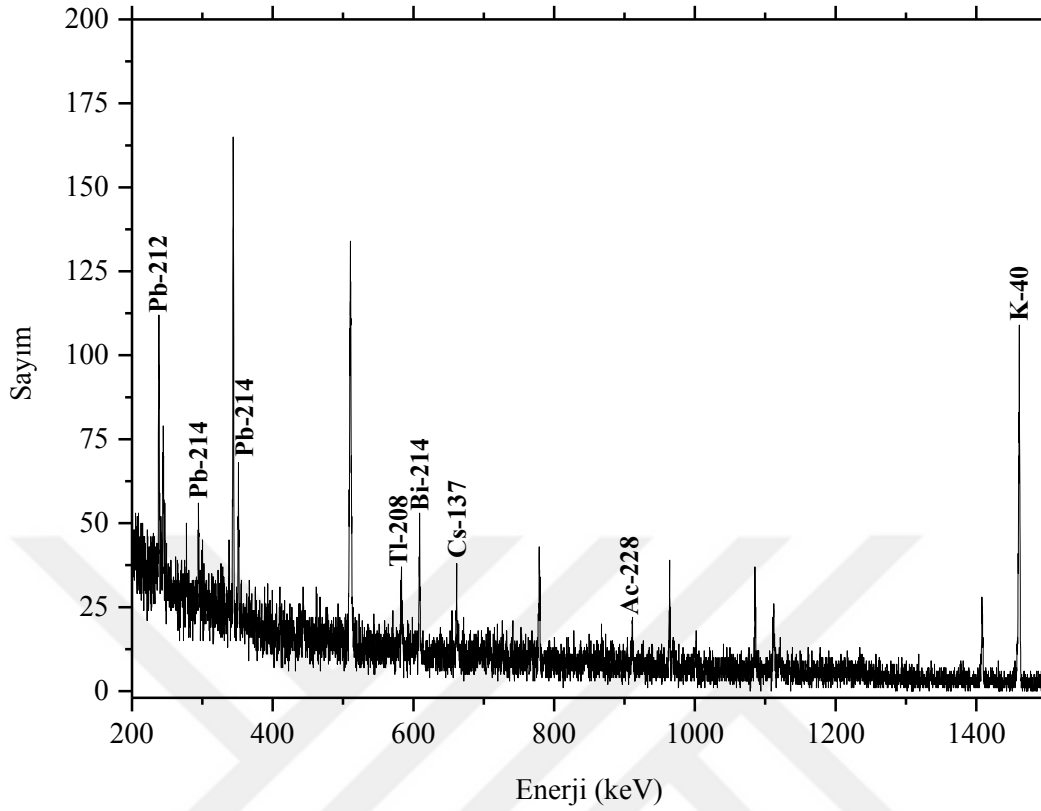
gündeki aktivitesidir. Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanan ϵ değerlerine karşılık gelen enerji verim eğrisi elde edilmiştir (Şekil 18). Verimin güvenilirliği Uluslararası Atom Enerji kurumunun (IAEA-375) referans materyali ile periyodik olarak test edilmiştir.



Şekil 18. Enerji-Verim eğrisi.

2.2.3. Spektrumların Alınması

Radyoaktif dengenin sağlanması için bir aylık bekleme süresinden sonra ölçümlere geçildi. Sayımlarda kullanılan HPGe dedektörünün besleme voltajı yaklaşık 5000 V'tur. Sayım programı olarak Genie-2000 kullanıldı. Numuneler, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konuldu. Numune sayım süresi Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri ile deniz suyu örnekleri için 100000 s ve sediment örnekleri için 50000 s olarak seçildi. Bu süre sonunda numunelerden yayınlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar elde edildi. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneği için örnek spektrum Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Akdeniz Midyesi yumuşak doku örneği için örnek spektrum.

2.2.3.1. Pik belirleme ve Değerlendirme

Spektrumdaki her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçilerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanı işaretlendi. Daha sonra kalibrasyon katsayıları bilgisayar programına verilerek piklerin merkez kanalına karşılık gelecek enerji değerleri bulundu.

Tablo 7’de ^{238}U (^{226}Ra) ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K için alınan enerjiler ve salma hızları gösterilmiştir. ^{238}U (^{226}Ra) serisi için ^{214}Pb (295,2 keV), ^{214}Pb (352,0 keV) ve ^{214}Bi (609,4 keV) enerjilerindeki, ^{232}Th serisi için ^{212}Pb (238,6 keV), ^{208}Tl (583,1 keV), ^{228}Ac (911,1 keV) enerjilerindeki piklerinin alanları, ^{40}K için (1460,8 keV) ve ^{137}Cs için (661,6 keV) enerjisindeki pikin alanı alınmıştır.

Tablo 7. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları.

İzotop	Gama Enerjisi (keV)	Salma hızı (%)
²³⁸ U	²¹⁴ Pb	295,2
	²¹⁴ Pb	352,0
	²¹⁴ Bi	609,4
²³² Th	²¹² Pb	238,6
	²⁰⁸ Tl	583,1
	²²⁸ Ac	911,1
⁴⁰ K	1460,8	10,7
¹³⁷ Cs	661,6	85

2.2.3.2. Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite

Minimum dedekte edilebilir aktivite, belli koşullar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Currie, 1968):

$$MDA = \frac{1,645\sqrt{B}}{\varepsilon \cdot I_{\gamma} \cdot t \cdot w} \quad (20)$$

burada B arkaplan radyasyon değeri ve w numune miktarıdır (kg). Dedektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedekte edilebilir aktivite değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Dedektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) değerleri.

Radyoaktif Çekirdek	Deniz Suyu (mBq L ⁻¹)	Sediment (Bq kg ⁻¹)	Akdeniz Midyesi (Bq kg ⁻¹)
²²⁶ Ra	0,48	0,16	0,66
²³² Th	0,71	0,24	0,97
⁴⁰ K	4,97	1,69	6,77
¹³⁷ Cs	0,04	0,02	0,05

2.2.3.3. Aktivite Hesabı

Piklerin altında kalan net alanlar toplam alandan background çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır. Saniyedeki sayma (cps), pik altında kalan alanın pik elde etmek için geçen süreye bölümüdür. Dedektör verimi de hesaba katılarak aktivite için,

$$A = \frac{s}{I_{\gamma} \cdot w \cdot t \cdot \epsilon} \quad (21)$$

dır (Cevik vd., 2010). Burada A (Bq/kg) aktivite, s net alan, I_{γ} gama ışınının salma hızı, w kg olarak numune miktarı ve ϵ verim'dir.

Elde edilen aktiviteler üzerindeki belirsizlik aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Mohery vd., 2014):

$$\Delta A = A \left[\left(\frac{\Delta CR}{CR} \right)^2 - (\Delta \epsilon)^2 - (\Delta I_{\gamma})^2 - (\Delta w)^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

Burada ΔA aktivitedeki belirsizlik, ΔCR saniyedeki sayıdaki belirsizlik, $\Delta \epsilon$ verimdeki belirsizlik, ΔI_{γ} gama ışını salma hızındaki belirsizlik ve Δw numune miktarındaki belirsizliktir. Bu şekilde elde edilen belirsizlikler %3 ile %7 aralığında bulunmuştur.

HPGe detektörünün enerji ve verim kalibrasyonu yapıldıktan sonra, temin ettiğimiz midye (IAEA-437) ve yosun-toprak (IAEA-447) radyoaktif referans malzemeleri sistemde 3 tekrarlı olarak okutuldu ve ortalaması alınarak cihazın doğruluğu tespit edildi. Sertifika edilmiş konsantrasyon değerleri ve HPGe detektöründe ölçülen değerler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Sertifikalı referans malzeme Midye (IAEA-437) ve Yosun-Toprak (IAEA-447) örneklerinin radyoaktiflik konsantrasyon sonuçları (Bq kg⁻¹).

Element	Midye			Yosun-Toprak		
	Sertifika Değeri	Ölçülen Değer	Geri Kazanım (%)	Sertifika Değeri	Ölçülen Değer	Geri Kazanım (%)
²²⁶ Ra	-	-	-	25,04 ± 2,00	23,96 ± 1,12	96
²³² Th	-	-	-	37,3 ± 2,0	35,7 ± 1,7	96
⁴⁰ K	373 (360–380)	370 ± 18	99	550 ± 20	521 ± 27	95
¹³⁷ Cs	0,14 (0,11–0,23)	0,16 ± 0,01	114	371,11 ± 8,73	362,55 ± 13,58	98

2.2.4. Radyolojik Parametreler

2.2.4.1. Radyum Eşdeğer Aktifliği ve Dış Tehlike İndeksi

²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K'nin sediment örneklerindeki dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktifliklerinden radyasyona maruz kalmayı standartlaştırmak için radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) ve dış radyasyon tehlikeleri aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır (Beretka ve Mathew, 1985).

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1,43C_{Th} + 0,077C_K \quad (23)$$

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1 \quad (24)$$

Burada C_{Ra}, C_{Th} ve C_K sırasıyla ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K'nin Bq/kg biriminde spesifik aktiflikleridir.

2.2.4.2. Soğurulan Gama Doz Hızı

Yeryüzünün 1 m üzerinde havada soğurulmuş doz oranı aşağıdaki formülle belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000).

$$D \text{ (n Gy saat}^{-1}\text{)} = 0,462C_{\text{Ra}} + 0,604C_{\text{Th}} + 0,0417C_{\text{K}} \quad (25)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_{K} sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq kg^{-1} biriminde spesifik aktiflikleridir.

2.2.4.3. Yıllık Etkin Doz

Soğrulan doz için dönüşüm faktörü ($0,7 \text{ Sv Gy}^{-1}$) ve dış ortamlarda maruz kalma faktörü ($0,2$) (UNSCEAR, 2000) dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{YED } (\mu\text{Sv yıl}^{-1}\text{)} = D(\text{nGy saat}^{-1}\text{)} \times 8760 \text{ saat} \times 0,2 \times 0,7 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 10^{-3} \quad (26)$$

2.2.4.4. Radyonüklidlerin Günlük Alımı

Radyoaktivitenin günlük alımı midyelerin tüketilmesiyle insan vücuduna alınan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin birikmesi olarak düşünülmektedir. Türkiye'de 2010 yılındaki kişi başına balık tüketimi $6,918 \text{ kg}$ olarak verilmiştir (TUİK, 2011). Midye tüketiminin yıllık oranı bilinmediğinden hesaplamalar balık tüketiminin yıllık oranı ile yapılır (Yabancı vd., 2015). Midyenin tüketilmesinden dolayı insanların vücutlarına biriktirdiği radyoaktivitenin günlük alımı aşağıdaki formülle tahmin edilmektedir (Khandaker vd., 2013):

$$GA = \frac{C \times A_{\text{ig}} \times F_c}{Y_d} \quad (27)$$

Burada, GA insanlar tarafından radyonüklidlerin günlük alımı (Bq gün^{-1}), C radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1}), A_{ig} yılda kişi başına midye tüketimi, F_c tüketim kesri ve Y_d bir yıldaki gün sayısıdır.

2.2.4.5. Yıllık Alınan Etkin Doz

Midyenin tüketilmesiyle ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin vücuda alınmasından dolayı insanlara geçen yıllık etkin doz aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Khandaker vd., 2013):

$$\text{YAED } (\mu\text{Sv yıl}^{-1}) = C \times A_{\text{ig}} \times D_{\text{cf}} \times F_c \quad (28)$$

Burada, YAED radyonüklidlerin vücuda alınmasıyla insanlara geçen yıllık etkin doz, C radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1}), A_{ig} midyenin yıllık tüketimi (kg yıl^{-1}) ve D_{cf} ilgili radyonüklidin doz alım dönüşüm faktörü'dür (^{226}Ra için $2,8 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1}$, ^{232}Th için $2,3 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1}$, ^{40}K için $6,2 \times 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1}$ ve ^{137}Cs için $1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$) (IAEA, 2011). Toplam yıllık alınan etkin doz ise aşağıdaki formül ile tahmin edilmektedir (Khandaker vd., 2013).

$$\text{YAED}_T = [(C_{\text{Ra}} \times D_{\text{cf}}) + (C_{\text{Th}} \times D_{\text{cf}}) + (C_{\text{K}} \times D_{\text{cf}})] \times (A_{\text{ig}} \times F_c) \quad (29)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_{K} sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin aktiflik konsantrasyonlarıdır.

2.2.4.6. Kanserojen Risk

a) Akdeniz Midyesi Örnekleri

Daha fazla radyasyona maruz kalma durumunu kanser sıklığının artması ile ilişkilendirilerek, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (USEPA) tarafından önerilen yöntemle deniz canlılarının yenmesi durumunda kanser riskini belirlemek için bir çalışma yapıldı (USEPA, 1999). Kanser riskini hesaplamak için aşağıdaki denklem (Khandaker vd., 2015) kullanılır.

$$\text{KR}_m = A_{\text{ir}} \times A_{\text{ls}} \times R_c \quad (30)$$

Burada KR_m , A_{ir} , A_{Is} ve R_c sırasıyla kanser riski, radyonüklidin yıllık alımı (Bq), ortalama yaşam süresi (78 y) ve ölüm riski katsayısıdır (Bq^{-1}). USEPA'dan alınan ölüm riski katsayısı değerleri ^{226}Ra için $9,56 \times 10^{-9} Bq^{-1}$, ^{232}Th için $2,45 \times 10^{-9} Bq^{-1}$, ^{40}K için $5,89 \times 10^{-10} Bq^{-1}$ ve ^{137}Cs için $9,25 \times 10^{-13} Bq^{-1}$ 'dir (USEPA, 1999). Kanserojen risk için kabul edilen limit değerinin 10^{-3} olduğu belirtilmiştir (Khandaker vd., 2015).

b) Sediment Örnekleri

Bir bireyin yaşam süresi boyunca toksik maddeye maruz kalması kansere yakalanma riskini ortaya çıkarmaktadır. Kanser riski aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$KR_s = YED \times A_{Is} \times RF \quad (31)$$

Burada YED yıllık etkin doz ve RF ise risk faktörüdür. RF değeri $0,05 Sv^{-1}$ 'dir (Ravisankar vd., 2014). KR_s 'nin tavsiye edilen Dünya ortalaması değeri $0,29 \times 10^{-3}$ 'dür (UNSCEAR, 2000).

2.2.5. Organik Madde Miktarının Belirlenmesi

Sediment örneklerinin organik madde miktarının belirlenmesinde havada kurutulmuş ve 500 μm (35 mesh)'lik elekten elenmiş 10-12 g kadar sediment örnekleri darası (T) belli porselen kül kaplarına aktarılmıştır. Porselen kül kapları etüvde $105^\circ C$ 'de 2,5 saat bırakıldıktan (Şekil 20a) sonra desikatörde oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur ve elektrikli terazide kütleleri belirlenmiştir (A+T). Daha sonra porselen kül kapları fırına yerleştirilmiştir ve fırının sıcaklığı yavaş yavaş yükseltilmiştir. Fırının sıcaklığı $550^\circ C$ 'ye geldikten sonra sediment örnekleri bu sıcaklıkta yaklaşık 4,5 saat bırakılmıştır (Şekil 20b). Daha sonra desikatöre alınan kül kapları burada soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına değin soğuyan (Şekil 20c) porselen kül kaplarının kütleleri elektrikli terazide belirlenmiştir (B+T).



Şekil 20. a) Sediment örneklerinin kül kaplarında etüve bırakılması. b) Sediment örneklerinin fırına bırakılması. c) Oda sıcaklığına değin soğuyan ve desikatörden alınan sediment örnekleri.

Sediment örneğinde organik madde,

$$\% = \frac{(A + T) - (B + T)}{A} \quad (32)$$

dır. Burada A fırına konmadan önce porselen kül kabına aktarılan sediment örneğinin kütlesi (g), B fırında yakıldıktan sonra porselen kül kabında kalan sediment örneğinin kütlesi (g), T kül kabının darasıdır (g) (Kacar, 2009).

2.3. İstatistiksel Analiz

Deniz suyu, Sediment ve Akdeniz midyesi örneklerinin radyoaktiflik konsantrasyon sonuçları deniz suyu için mBq L^{-1} , sediment ve Akdeniz midyesi için Bq kg^{-1} olarak verilmiştir. Elde edilen veriler deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi

yumuşak doku örnekleri için mevsimlere, ayrıca Akdeniz midyesi örneklerinde boylara göre gruplandırılmıştır. Gruplandırılan bu veriler SPSS (IBM SPSS Statistics 21) ortamına aktarılmıştır. Belirlenen radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin normal dağılışa uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile test edilmiştir. Mevsimler arası normallik sağlayan grupların önemlilik testi tek yönlü varyans analizini (ANOVA) izleyen Duncan testi ile değerlendirilmiştir. Normallik sağlamayan grupların önemlilik testi ise Kruskal-Wallis testini izleyen Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. Deniz suyu, sediment ve Akdeniz midyesi örneklerinde ölçülen radyoaktiflik düzeyleri ile ilgili parametrelerin mevsimlere ve boylara göre (Akdeniz midyesi) farklılıkları test edilmiştir. Bütün istatistiksel analizler bilgisayar ortamında SPSS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Radyoaktiflik konsantrasyonlarında deniz suyu ve sediment örnekleri için mevsimlere göre, Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için mevsimlere ve boylara göre farklılıklar test edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Deniz Suyu Örneklerinin Fizikokimyasal Parametreleri

Deniz suyunun tuzluluk (ppt) ve pH değerleri YSI marka prob (sonda) ile ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 10-11’de verilmiştir.

Tablo 10. Deniz suyu örneklerinde tuzluluk değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	Tuzluluk (‰)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	17,87	17,65	16,67	16,10
G2	18,52	17,67	18,09	17,78
G3	16,50	18,25	18,45	16,83
T1	18,62	18,23	18,28	17,64
T2	18,41	16,17	18,34	11,52
T3	18,38	17,73	18,02	17,07
T4	18,32	17,57	18,25	17,60
R1	18,62	18,15	18,57	17,59
R2	16,80	17,81	17,03	15,27
R3	18,43	17,59	16,66	11,62
A1	18,50	18,19	12,90	17,84
A2	17,80	18,07	17,97	16,83
Minimum	16,50	16,17	12,90	11,52
Maksimum	18,62	18,25	18,57	17,84
Ortalama	18,06	17,76	17,44	16,14

Tablo 11. Deniz suyu örneklerinde pH değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	pH			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	8,50	8,45	8,18	8,27
G2	8,55	8,47	8,41	8,34
G3	8,57	8,46	8,47	8,57
T1	8,44	8,04	8,35	8,20
T2	8,52	8,57	8,32	8,26
T3	8,47	8,43	8,35	8,54
T4	8,54	8,25	8,64	8,58
R1	8,52	8,42	8,11	8,32
R2	8,55	8,36	8,21	8,68
R3	8,38	8,30	8,37	8,43
A1	8,48	8,12	8,17	8,25
A2	8,45	8,16	8,22	8,07
Minimum	8,38	8,04	8,11	8,07
Maksimum	8,57	8,57	8,64	8,68
Ortalama	8,50	8,34	8,32	8,38

3.2. Deniz Suyu Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri

Deniz suyu örnekleri için belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyon değerlerinin mevsimsel olarak değişimi Tablo 12-15'te verilmiştir.

Tablo 12. Deniz suyu örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{226}Ra (mBq L ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	1,07 ± 0,04	3,51 ± 0,15	4,53 ± 0,21	1,72 ± 0,07
G2	1,26 ± 0,06	1,56 ± 0,06	2,06 ± 0,11	4,01 ± 0,15
G3	2,41 ± 0,10	3,37 ± 0,17	3,11 ± 0,16	2,89 ± 0,12
T1*	2,77 ± 0,14	3,47 ± 0,20	2,01 ± 0,12	4,83 ± 0,26
T2	1,35 ± 0,05	3,63 ± 0,16	8,21 ± 0,36	4,87 ± 0,28
T3	5,94 ± 0,33	4,14 ± 0,25	3,85 ± 0,22	1,49 ± 0,06
T4	4,56 ± 0,29	2,17 ± 0,12	5,31 ± 0,24	4,70 ± 0,29
R1	7,91 ± 0,41	3,35 ± 0,15	2,86 ± 0,11	2,34 ± 0,10
R2	3,21 ± 0,15	1,46 ± 0,05	1,93 ± 0,08	2,90 ± 0,13
R3	3,72 ± 0,13	3,22 ± 0,14	5,18 ± 0,25	2,96 ± 0,15
A1	4,62 ± 0,31	2,38 ± 0,13	5,11 ± 0,27	6,60 ± 0,38
A2	4,04 ± 0,16	3,52 ± 0,21	7,32 ± 0,45	2,03 ± 0,08
Minimum	1,07	1,46	1,93	1,49
Maksimum	7,91	4,14	8,21	6,60
Ortalama	3,57	2,98	4,29	3,45

Tablo 13. Deniz suyu örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{232}Th (mBq L ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	3,11 ± 0,13	2,23 ± 0,07	6,52 ± 0,34	4,93 ± 0,32
G2	2,72 ± 0,11	4,40 ± 0,21	5,22 ± 0,25	2,15 ± 0,09
G3	3,59 ± 0,17	2,20 ± 0,09	4,77 ± 0,32	3,69 ± 0,17
T1*	6,07 ± 0,34	5,07 ± 0,18	2,11 ± 0,09	5,34 ± 0,35
T2	2,47 ± 0,10	3,56 ± 0,16	1,84 ± 0,07	3,96 ± 0,16
T3	3,48 ± 0,13	5,81 ± 0,39	5,71 ± 0,29	4,33 ± 0,23
T4	2,75 ± 0,12	5,34 ± 0,29	3,67 ± 0,14	3,96 ± 0,18
R1	3,61 ± 0,21	2,68 ± 0,13	4,42 ± 0,28	6,71 ± 0,37
R2	3,08 ± 0,19	5,28 ± 0,22	5,07 ± 0,26	4,83 ± 0,19
R3	5,30 ± 0,36	3,76 ± 0,17	4,85 ± 0,24	4,53 ± 0,15
A1	2,29 ± 0,09	3,57 ± 0,15	1,56 ± 0,07	4,13 ± 0,21
A2	2,45 ± 0,11	4,30 ± 0,28	5,27 ± 0,19	3,93 ± 0,17
Minimum	2,29	2,20	1,56	2,15
Maksimum	6,07	5,81	6,52	6,71
Ortalama	3,41	4,02	4,25	4,37

Tablo 14. Deniz suyu örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{40}K (mBq L ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	372,4 ± 20,5	253,1 ± 13,4	348,2 ± 17,4	295,9 ± 11,8
G2	218,6 ± 8,9	349,6 ± 16,8	322,3 ± 14,5	294,3 ± 10,3
G3	227,6 ± 10,7	259,3 ± 9,6	195,1 ± 7,6	243,7 ± 10,2
T1*	551,6 ± 32,1	329,1 ± 13,8	213,2 ± 11,9	350,7 ± 18,2
T2	254,8 ± 13,3	332,2 ± 18,3	204,3 ± 12,9	216,4 ± 12,9
T3	400,7 ± 27,6	317,7 ± 14,9	363,4 ± 15,3	266,7 ± 18,1
T4	241,4 ± 11,1	354,3 ± 23,4	326,6 ± 12,1	304,5 ± 16,7
R1	434,0 ± 20,7	274,8 ± 15,9	329,8 ± 10,9	559,4 ± 32,8
R2	434,5 ± 23,5	305,3 ± 12,8	443,1 ± 17,2	354,6 ± 14,5
R3	400,1 ± 18,2	372,7 ± 19,8	331,4 ± 15,9	218,3 ± 9,8
A1	215,9 ± 8,2	374,8 ± 16,7	102,7 ± 5,9	432,5 ± 26,6
A2	230,5 ± 10,6	288,0 ± 10,3	365,7 ± 14,3	380,3 ± 18,7
Minimum	215,9	253,1	102,7	216,4
Maksimum	551,6	374,8	443,1	559,4
Ortalama	331,8	317,6	295,5	326,4

Tablo 15. Deniz suyu örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{137}Cs (mBq L ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	1,20 ± 0,07	1,70 ± 0,10	1,39 ± 0,06	1,15 ± 0,07
G2	1,53 ± 0,06	0,95 ± 0,04	0,97 ± 0,04	1,99 ± 0,11
G3	1,09 ± 0,05	0,54 ± 0,03	1,99 ± 0,08	0,85 ± 0,04
T1*	2,64 ± 0,16	0,92 ± 0,05	0,83 ± 0,03	1,37 ± 0,08
T2	0,80 ± 0,04	1,44 ± 0,09	1,03 ± 0,05	1,38 ± 0,05
T3	1,57 ± 0,09	1,19 ± 0,06	2,56 ± 0,13	1,32 ± 0,08
T4	1,46 ± 0,06	1,77 ± 0,09	1,64 ± 0,07	1,68 ± 0,07
R1	1,28 ± 0,07	1,39 ± 0,08	2,03 ± 0,12	2,07 ± 0,09
R2	2,35 ± 0,09	0,80 ± 0,05	1,80 ± 0,11	1,66 ± 0,07
R3	1,62 ± 0,06	1,55 ± 0,07	1,67 ± 0,08	1,10 ± 0,06
A1	1,40 ± 0,07	2,68 ± 0,11	0,49 ± 0,02	1,51 ± 0,08
A2	0,89 ± 0,05	0,90 ± 0,03	1,76 ± 0,09	1,04 ± 0,06
Minimum	0,80	0,54	0,49	0,85
Maksimum	2,64	2,68	2,56	2,07
Ortalama	1,49	1,32	1,51	1,43

Deniz suyu örneklerindeki soğurulmuş doz oranı (D), radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (YED) değerleri mevsimsel olarak Tablo 16-19’da verilmiştir.

Tablo 16. Deniz suyu örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	D (nGy saat ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	0,018	0,014	0,021	0,016
G2	0,011	0,018	0,018	0,015
G3	0,013	0,014	0,012	0,014
T1*	0,028	0,018	0,011	0,020
T2	0,013	0,018	0,013	0,014
T3	0,022	0,019	0,020	0,014
T4	0,014	0,019	0,018	0,017
R1	0,024	0,015	0,018	0,028
R2	0,021	0,017	0,022	0,019
R3	0,022	0,019	0,019	0,013
A1	0,013	0,019	0,008	0,024
A2	0,013	0,016	0,022	0,019
Minimum	0,011	0,014	0,008	0,013
Maksimum	0,028	0,019	0,022	0,028
Ortalama	0,018	0,017	0,017	0,018

Tablo 17. Deniz suyu örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	Ra_{eq} (mBq L ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	34	26	41	32
G2	22	35	34	30
G3	25	26	25	27
T1*	54	36	21	39
T2	25	34	27	27
T3	42	37	40	28
T4	27	37	36	34
R1	46	28	35	55
R2	41	33	43	37
R3	42	37	38	26
A1	25	36	15	46
A2	25	32	43	37
Minimum	22	26	15	26
Maksimum	54	37	43	55
Ortalama	34	33	33	35

Tablo 18. Deniz suyu örneklerinde dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	H_{ex}			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	0,00009	0,00007	0,00011	0,00009
G2	0,00006	0,00009	0,00009	0,00008
G3	0,00007	0,00007	0,00007	0,00007
T1*	0,00015	0,00010	0,00006	0,00011
T2	0,00007	0,00009	0,00007	0,00007
T3	0,00011	0,00010	0,00011	0,00008
T4	0,00007	0,00010	0,00010	0,00009
R1	0,00013	0,00008	0,00009	0,00015
R2	0,00011	0,00009	0,00012	0,00010
R3	0,00011	0,00010	0,00010	0,00007
A1	0,00007	0,00010	0,00004	0,00012
A2	0,00007	0,00009	0,00012	0,00010
Minimum	0,00006	0,00007	0,00004	0,00007
Maksimum	0,00015	0,00010	0,00012	0,00015
Ortalama	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009

Tablo 19. Deniz suyu örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	YED ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	0,022	0,017	0,025	0,020
G2	0,014	0,022	0,022	0,019
G3	0,016	0,017	0,015	0,017
T1*	0,034	0,023	0,014	0,025
T2	0,016	0,022	0,016	0,017
T3	0,026	0,023	0,025	0,018
T4	0,017	0,023	0,022	0,021
R1	0,029	0,018	0,022	0,035
R2	0,026	0,020	0,028	0,023
R3	0,026	0,024	0,023	0,016
A1	0,015	0,023	0,009	0,029
A2	0,016	0,020	0,027	0,024
Minimum	0,014	0,017	0,009	0,016
Maksimum	0,034	0,024	0,028	0,035
Ortalama	0,021	0,021	0,021	0,022

3.3. Sediment Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri ve Organik Madde Miktarları

Sediment örnekleri için belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyon değerlerinin mevsimsel olarak değişimi Tablo 20-23'te verilmiştir.

Tablo 20. Sediment örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	14,55 ± 0,64	16,04 ± 0,69	14,63 ± 0,82	15,85 ± 0,82
G2	13,07 ± 0,67	16,23 ± 0,88	17,55 ± 1,21	23,13 ± 1,04
G3	15,81 ± 0,72	22,93 ± 1,52	10,36 ± 0,49	16,82 ± 0,77
T1*	5,89 ± 0,19	8,67 ± 0,39	7,79 ± 0,41	7,27 ± 0,28
T2	13,35 ± 0,83	20,96 ± 1,12	8,87 ± 0,38	15,76 ± 1,01
T3	14,89 ± 0,91	11,29 ± 0,43	13,71 ± 0,75	21,83 ± 1,22
T4	6,98 ± 0,27	11,12 ± 0,47	9,47 ± 0,35	9,62 ± 0,40
R1	9,38 ± 0,34	14,57 ± 0,82	14,83 ± 0,76	9,01 ± 0,46
R2	8,88 ± 0,37	10,07 ± 0,35	8,66 ± 0,34	8,68 ± 0,34
R3	12,32 ± 0,59	22,16 ± 1,19	8,38 ± 0,44	10,34 ± 0,45
A1	9,89 ± 0,36	8,56 ± 0,37	8,09 ± 0,38	14,39 ± 0,49
A2	7,72 ± 0,32	15,77 ± 0,85	10,35 ± 0,67	10,65 ± 0,42
Minimum	5,89	8,56	7,79	7,27
Maksimum	15,81	22,93	17,55	23,13
Ortalama	11,06	14,86	11,06	13,61

Tablo 21. Sediment örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{232}Th (Bq kg ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	15,87 ± 0,65	24,60 ± 1,18	18,82 ± 1,04	19,98 ± 0,88
G2	15,75 ± 0,82	21,48 ± 1,13	13,83 ± 0,65	22,71 ± 0,94
G3	20,61 ± 1,28	25,29 ± 1,36	12,85 ± 0,81	20,33 ± 1,03
T1*	6,53 ± 0,26	11,01 ± 0,46	6,79 ± 0,26	7,81 ± 0,29
T2	15,74 ± 1,06	24,38 ± 1,58	10,44 ± 0,58	13,42 ± 0,58
T3	21,27 ± 1,25	11,97 ± 0,45	17,91 ± 0,94	24,35 ± 1,22
T4	7,92 ± 0,36	10,18 ± 0,43	9,43 ± 0,39	10,31 ± 0,55
R1	12,99 ± 0,53	19,37 ± 0,98	17,72 ± 0,99	12,89 ± 0,81
R2	9,47 ± 0,43	11,78 ± 0,54	10,85 ± 0,36	10,50 ± 0,44
R3	11,69 ± 0,46	21,07 ± 1,08	9,45 ± 0,34	9,04 ± 0,35
A1	10,06 ± 0,64	9,37 ± 0,34	7,64 ± 0,29	12,18 ± 0,84
A2	6,32 ± 0,23	18,53 ± 1,24	11,02 ± 0,57	10,59 ± 0,53
Minimum	6,32	9,37	6,79	7,81
Maksimum	21,27	25,29	18,82	24,35
Ortalama	12,85	17,42	12,23	14,51

Tablo 22. Sediment örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{40}K (Bq kg ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	373,2 ± 17,9	546,9 ± 31,7	430,4 ± 24,5	449,8 ± 21,6
G2	345,5 ± 18,3	392,6 ± 18,5	369,2 ± 17,7	430,0 ± 22,4
G3	384,2 ± 21,3	456,6 ± 24,6	283,2 ± 11,9	372,2 ± 13,7
T1*	197,9 ± 7,1	268,8 ± 10,2	205,6 ± 10,3	201,4 ± 7,2
T2	296,6 ± 16,9	341,2 ± 16,0	268,6 ± 16,5	304,9 ± 12,2
T3	263,7 ± 12,7	269,5 ± 11,3	270,8 ± 12,4	317,8 ± 17,2
T4	228,1 ± 8,9	279,4 ± 13,2	227,3 ± 8,2	262,2 ± 17,3
R1	296,9 ± 13,7	322,0 ± 19,7	362,7 ± 17,0	285,2 ± 13,4
R2	180,3 ± 7,6	255,6 ± 12,4	199,3 ± 9,2	227,6 ± 9,4
R3	313,1 ± 15,4	353,3 ± 13,8	246,6 ± 14,3	252,2 ± 8,8
A1	217,5 ± 13,3	279,3 ± 12,6	200,1 ± 10,2	187,2 ± 7,5
A2	163,8 ± 5,8	332,3 ± 17,6	210,8 ± 8,7	229,3 ± 7,4
Minimum	163,8	255,6	199,3	187,2
Maksimum	384,2	546,9	430,4	449,8
Ortalama	271,7	341,5	272,9	293,3

Tablo 23. Sediment örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{137}Cs (Bq kg ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	8,93 ± 0,29	53,74 ± 2,72	39,40 ± 1,38	20,88 ± 0,95
G2	19,22 ± 0,71	17,13 ± 0,57	15,98 ± 0,58	30,95 ± 1,73
G3	26,42 ± 1,01	34,67 ± 1,42	11,58 ± 0,36	19,95 ± 0,71
T1*	3,20 ± 0,11	5,13 ± 0,19	2,57 ± 0,11	2,13 ± 0,08
T2	8,98 ± 0,33	23,45 ± 1,10	2,82 ± 0,13	6,60 ± 0,32
T3	32,36 ± 1,32	4,53 ± 0,18	24,89 ± 1,02	41,50 ± 2,24
T4	15,74 ± 0,62	20,90 ± 0,75	13,17 ± 0,60	21,09 ± 0,88
R1	2,24 ± 0,08	5,09 ± 0,19	19,22 ± 0,85	2,02 ± 0,07
R2	19,30 ± 0,81	7,28 ± 0,25	23,32 ± 1,21	36,60 ± 1,87
R3	7,87 ± 0,30	3,36 ± 0,14	53,16 ± 2,60	40,95 ± 1,96
A1	26,32 ± 1,12	13,93 ± 0,77	4,02 ± 0,16	16,87 ± 0,61
A2	1,40 ± 0,06	54,35 ± 3,04	18,66 ± 0,97	27,83 ± 1,03
Minimum	1,40	3,36	2,57	2,02
Maksimum	32,36	54,35	53,16	41,50
Ortalama	14,33	20,30	19,07	22,28

Sediment örneklerindeki soğurulmuş doz oranı (D), radyum eşdeğeri (R_{aeq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}), yıllık etkin doz eşdeğeri (YED) ve organik madde miktarı değerleri mevsimsel olarak sırasıyla Tablo 24-28’de verilmiştir.

Tablo 24. Sediment örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	D (nGy saat ⁻¹)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	31,87 ± 1,53	45,08 ± 2,07	36,07 ± 1,69	38,15 ± 1,79
G2	29,96 ± 1,14	36,84 ± 1,95	31,86 ± 1,43	42,33 ± 2,24
G3	35,77 ± 2,02	44,91 ± 2,60	24,36 ± 1,22	35,57 ± 1,46
T1*	14,92 ± 0,49	21,86 ± 0,98	16,28 ± 0,62	16,47 ± 0,58
T2	28,04 ± 1,26	38,63 ± 1,89	21,60 ± 0,93	28,10 ± 1,07
T3	30,72 ± 1,57	23,68 ± 0,92	28,44 ± 1,53	38,05 ± 1,83
T4	17,52 ± 0,66	22,94 ± 0,87	19,55 ± 1,08	21,61 ± 1,17
R1	24,56 ± 1,20	31,86 ± 1,52	32,68 ± 2,04	23,84 ± 1,32
R2	17,34 ± 0,73	22,43 ± 1,27	18,87 ± 0,73	19,84 ± 0,85
R3	25,81 ± 1,45	37,70 ± 2,16	19,86 ± 0,88	20,75 ± 1,18
A1	19,72 ± 0,91	21,26 ± 0,98	16,70 ± 0,64	21,81 ± 1,35
A2	14,22 ± 0,52	32,34 ± 1,71	20,23 ± 1,09	20,88 ± 1,15
Minimum	14,22	21,26	16,28	16,47
Maksimum	35,77	45,08	36,07	42,33
Ortalama	24,20	31,63	23,88	27,28

Tablo 25. Sediment örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	Ra_{eq} ($Bq\ kg^{-1}$)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	65,98 ± 4,42	93,33 ± 5,21	74,68 ± 4,18	79,05 ± 4,58
G2	62,20 ± 3,65	77,18 ± 3,55	65,76 ± 3,15	88,72 ± 5,95
G3	74,87 ± 4,92	94,25 ± 4,86	50,54 ± 2,17	74,55 ± 3,51
T1*	30,47 ± 1,64	45,11 ± 1,74	33,33 ± 1,23	33,95 ± 1,29
T2	58,70 ± 3,34	82,09 ± 3,92	44,48 ± 2,05	58,43 ± 2,68
T3	65,61 ± 3,47	49,16 ± 2,85	60,17 ± 3,82	81,12 ± 4,85
T4	35,87 ± 1,51	47,19 ± 2,41	40,45 ± 1,94	44,56 ± 2,40
R1	50,82 ± 2,74	67,06 ± 3,22	68,10 ± 3,96	49,40 ± 2,59
R2	36,31 ± 1,38	46,60 ± 1,77	39,52 ± 1,74	41,22 ± 1,93
R3	53,15 ± 2,60	79,49 ± 3,65	40,88 ± 2,17	42,69 ± 2,04
A1	41,03 ± 1,88	43,46 ± 1,62	34,42 ± 1,16	46,22 ± 2,36
A2	29,37 ± 1,09	67,86 ± 3,46	42,34 ± 2,37	43,45 ± 1,87
Minimum	29,37	43,46	33,33	33,95
Maksimum	74,87	94,25	74,68	88,72
Ortalama	50,37	66,07	49,56	56,95

Tablo 26. Sediment örneklerinde dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	H_{ex}			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	0,18	0,25	0,20	0,21
G2	0,17	0,21	0,18	0,24
G3	0,20	0,25	0,14	0,20
T1*	0,08	0,12	0,09	0,09
T2	0,16	0,22	0,12	0,16
T3	0,18	0,13	0,16	0,22
T4	0,10	0,13	0,11	0,12
R1	0,14	0,18	0,18	0,13
R2	0,10	0,13	0,11	0,11
R3	0,14	0,21	0,11	0,12
A1	0,11	0,12	0,09	0,12
A2	0,08	0,18	0,11	0,12
Minimum	0,08	0,12	0,09	0,09
Maksimum	0,20	0,25	0,20	0,24
Ortalama	0,14	0,18	0,13	0,15

Tablo 27. Sediment örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	YED ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	39,08 \pm 1,67	55,28 \pm 2,65	44,24 \pm 2,34	46,78 \pm 2,53
G2	36,74 \pm 1,45	45,18 \pm 1,94	39,07 \pm 1,79	51,92 \pm 3,06
G3	43,87 \pm 2,28	55,07 \pm 2,84	29,87 \pm 1,02	43,62 \pm 2,01
T1*	18,29 \pm 0,62	26,81 \pm 1,02	19,96 \pm 0,86	20,20 \pm 0,85
T2	34,39 \pm 1,47	47,38 \pm 2,56	26,50 \pm 0,98	34,47 \pm 1,32
T3	37,68 \pm 1,78	29,04 \pm 1,36	34,88 \pm 1,64	46,66 \pm 2,52
T4	21,49 \pm 1,32	28,13 \pm 1,52	23,97 \pm 1,25	26,50 \pm 0,98
R1	30,12 \pm 1,69	39,07 \pm 2,18	40,08 \pm 2,24	29,24 \pm 1,26
R2	21,27 \pm 0,94	27,50 \pm 1,05	23,14 \pm 1,01	24,33 \pm 1,19
R3	31,65 \pm 1,43	46,23 \pm 2,81	24,36 \pm 1,12	25,45 \pm 1,37
A1	24,18 \pm 1,02	26,07 \pm 0,93	20,48 \pm 0,84	26,75 \pm 1,28
A2	17,43 \pm 0,58	39,66 \pm 1,96	24,81 \pm 1,41	25,61 \pm 1,16
Minimum	17,43	26,07	19,96	20,20
Maksimum	43,87	55,28	44,24	51,92
Ortalama	29,68	38,79	29,28	33,46

Tablo 28. Sediment örneklerindeki organik madde miktarı değerlerinin mevsimsel olarak değişimi (%).

İstasyon	Organik madde (%)			
	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
G1	0,031	0,117	0,129	0,053
G2	0,051	0,041	0,067	0,084
G3	0,081	0,091	0,038	0,052
T1*	0,014	0,018	0,016	0,010
T2	0,048	0,079	0,034	0,037
T3	0,071	0,026	0,073	0,078
T4	0,051	0,061	0,047	0,052
R1	0,017	0,026	0,056	0,021
R2	0,045	0,019	0,069	0,07
R3	0,031	0,011	0,083	0,092
A1	0,057	0,033	0,022	0,055
A2	0,015	0,045	0,058	0,058
Minimum	0,014	0,011	0,016	0,010
Maksimum	0,081	0,117	0,129	0,092
Ortalama	0,043	0,047	0,058	0,055

3.4. Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örneklerinde Gama Radyoaktivite Değerleri

Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için üç farklı boyda (büyük boy >70 mm, orta boy 50-70 mm ve küçük boy < 50 mm) ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyon değerlerinin mevsimsel olarak değişimi sırasıyla Tablo 29-32'de verilmiştir.



Tablo 29. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	3,35 ± 0,16	1,90 ± 0,07	5,66 ± 0,28	1,06 ± 0,04	5,26 ± 0,28	6,80 ± 0,29	6,57 ± 0,28	6,00 ± 0,28	1,31 ± 0,05	3,63 ± 0,13	3,98 ± 0,19	2,99 ± 0,13
G2	2,37 ± 0,09	2,84 ± 0,12	7,88 ± 0,42	2,88 ± 0,11	1,33 ± 0,07	8,06 ± 0,37	8,41 ± 0,42	2,29 ± 0,11	1,00 ± 0,04	2,34 ± 0,09	3,34 ± 0,17	2,05 ± 0,09
G3	7,25 ± 0,38	5,72 ± 0,27	11,62 ± 0,69	12,14 ± 0,62	2,41 ± 0,11	6,21 ± 0,27	4,58 ± 0,25	7,10 ± 0,32	1,26 ± 0,06	14,37 ± 0,74	3,68 ± 0,16	2,00 ± 0,08
T1*	6,67 ± 0,27	2,41 ± 0,11	6,00 ± 0,26	2,71 ± 0,13	3,17 ± 0,15	5,73 ± 0,26	2,94 ± 0,11	4,97 ± 0,19	<DL	12,97 ± 0,82	8,36 ± 0,49	5,52 ± 0,29
T2	4,84 ± 0,25	3,47 ± 0,18	6,26 ± 0,28	2,17 ± 0,10	1,36 ± 0,05	7,44 ± 0,28	6,21 ± 0,38	1,95 ± 0,07	0,69 ± 0,03	2,41 ± 0,11	4,83 ± 0,22	12,24 ± 0,68
T3	7,09 ± 0,47	4,78 ± 0,22	4,32 ± 0,17	2,59 ± 0,15	4,07 ± 0,20	9,72 ± 0,43	5,92 ± 0,33	2,39 ± 0,10	<DL	4,56 ± 0,16	4,36 ± 0,19	2,21 ± 0,10
T4	2,55 ± 0,12	1,87 ± 0,08	5,27 ± 0,25	5,00 ± 0,27	2,64 ± 0,14	8,14 ± 0,39	2,03 ± 0,07	4,01 ± 0,17	2,89 ± 0,15	4,01 ± 0,18	7,28 ± 0,33	1,72 ± 0,06
R1	6,13 ± 0,34	3,50 ± 0,19	4,04 ± 0,15	1,04 ± 0,05	1,31 ± 0,06	4,17 ± 0,16	6,50 ± 0,32	6,60 ± 0,34	1,95 ± 0,08	1,03 ± 0,04	3,87 ± 0,16	2,04 ± 0,08
R2	8,59 ± 0,54	3,78 ± 0,21	4,65 ± 0,19	13,61 ± 0,84	2,76 ± 0,13	8,86 ± 0,40	5,40 ± 0,23	2,01 ± 0,08	<DL	2,81 ± 0,14	3,47 ± 0,14	3,49 ± 0,15
R3	3,01 ± 0,13	4,61 ± 0,27	6,28 ± 0,33	0,75 ± 0,04	<DL	7,54 ± 0,28	6,20 ± 0,29	2,89 ± 0,15	1,74 ± 0,07	6,57 ± 0,27	3,02 ± 0,12	2,70 ± 0,11
A1	6,60 ± 0,36	6,40 ± 0,33	5,76 ± 0,26	1,68 ± 0,09	1,95 ± 0,08	4,23 ± 0,18	5,86 ± 0,38	2,43 ± 0,09	1,86 ± 0,09	3,08 ± 0,11	6,65 ± 0,35	7,57 ± 0,39
A2	2,75 ± 0,09	7,89 ± 0,38	6,22 ± 0,32	1,51 ± 0,07	0,89 ± 0,03	4,90 ± 0,20	3,53 ± 0,12	1,71 ± 0,06	2,92 ± 0,16	10,03 ± 0,56	8,27 ± 0,48	5,10 ± 0,25
Min	2,37	1,87	4,04	0,75	0,89	4,17	2,03	1,71	0,69	1,03	3,02	1,72
Maks.	8,59	7,89	11,62	13,61	5,26	9,72	8,41	7,10	2,92	14,37	8,36	12,24
Ort.	5,10	4,10	6,16	3,93	2,47	6,82	5,35	3,70	1,74	5,65	5,09	4,14

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

<DL: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 30. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ²³²Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	²³² Th (Bq kg ⁻¹)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	6,24 ± 0,32	3,83 ± 0,21	2,40 ± 0,11	3,05 ± 0,14	9,05 ± 0,51	3,55 ± 0,15	14,27 ± 0,79	2,28 ± 0,09	2,38 ± 0,11	7,38 ± 0,33	5,11 ± 0,27	2,94 ± 0,13
G2	8,12 ± 0,38	3,35 ± 0,16	3,22 ± 0,17	3,93 ± 0,22	3,27 ± 0,15	1,35 ± 0,05	14,39 ± 0,87	2,74 ± 0,14	3,18 ± 0,17	7,92 ± 0,30	1,44 ± 0,05	2,27 ± 0,10
G3	5,51 ± 0,18	2,23 ± 0,08	1,25 ± 0,05	8,29 ± 0,48	5,20 ± 0,30	7,26 ± 0,32	5,72 ± 0,29	3,96 ± 0,22	1,16 ± 0,05	6,64 ± 0,28	2,71 ± 0,11	3,05 ± 0,13
T1*	4,52 ± 0,16	2,69 ± 0,11	1,44 ± 0,06	5,83 ± 0,29	2,99 ± 0,13	5,36 ± 0,24	4,21 ± 0,18	2,62 ± 0,12	1,15 ± 0,05	6,73 ± 0,23	6,76 ± 0,29	6,69 ± 0,36
T2	6,12 ± 0,35	3,87 ± 0,15	2,78 ± 0,12	1,05 ± 0,05	<DL	2,09 ± 0,07	6,55 ± 0,26	1,59 ± 0,05	1,23 ± 0,06	6,47 ± 0,32	3,39 ± 0,14	2,78 ± 0,13
T3	6,56 ± 0,41	4,19 ± 0,18	1,97 ± 0,07	4,49 ± 0,21	5,34 ± 0,29	6,04 ± 0,26	5,79 ± 0,32	3,28 ± 0,18	3,28 ± 0,18	6,29 ± 0,31	1,80 ± 0,06	1,45 ± 0,05
T4	3,95 ± 0,13	2,61 ± 0,11	1,18 ± 0,04	7,82 ± 0,48	5,26 ± 0,25	6,86 ± 0,33	4,04 ± 0,19	2,03 ± 0,08	5,25 ± 0,29	11,52 ± 0,63	3,58 ± 0,16	2,14 ± 0,09
R1	6,80 ± 0,37	2,45 ± 0,10	2,53 ± 0,10	4,26 ± 0,23	2,39 ± 0,09	10,57 ± 0,59	8,45 ± 0,57	3,03 ± 0,15	1,65 ± 0,08	7,43 ± 0,28	5,55 ± 0,29	2,28 ± 0,10
R2	5,35 ± 0,24	4,95 ± 0,25	3,84 ± 0,21	7,56 ± 0,34	3,90 ± 0,18	4,95 ± 0,21	7,93 ± 0,45	3,33 ± 0,17	2,25 ± 0,11	5,23 ± 0,23	2,04 ± 0,07	2,91 ± 0,14
R3	9,00 ± 0,58	3,56 ± 0,16	1,30 ± 0,06	3,66 ± 0,13	3,82 ± 0,16	5,20 ± 0,30	8,20 ± 0,41	2,92 ± 0,14	1,36 ± 0,05	6,64 ± 0,21	2,44 ± 0,09	2,35 ± 0,11
A1	8,95 ± 0,47	2,46 ± 0,09	1,44 ± 0,07	6,98 ± 0,37	7,02 ± 0,38	4,88 ± 0,23	9,34 ± 0,59	1,84 ± 0,09	2,71 ± 0,13	7,66 ± 0,33	6,14 ± 0,28	2,11 ± 0,08
A2	4,82 ± 0,18	5,32 ± 0,29	3,29 ± 0,16	6,70 ± 0,32	3,01 ± 0,11	9,56 ± 0,51	11,72 ± 0,68	1,39 ± 0,07	9,42 ± 0,54	7,79 ± 0,42	2,78 ± 0,12	2,67 ± 0,13
Min	3,95	2,23	1,18	1,05	2,39	1,35	4,04	1,39	1,15	5,23	1,44	1,45
Maks.	9,00	5,32	3,84	8,29	9,05	10,57	14,39	3,96	9,42	11,52	6,76	6,69
Ort.	6,33	3,46	2,22	5,30	4,66	5,64	8,38	2,58	2,92	7,31	3,65	2,80

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

<DL: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 31. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ⁴⁰K aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	⁴⁰ K (Bq kg ⁻¹)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	235,8 ± 11,3	203,4 ± 8,5	197,9 ± 7,8	423,9 ± 22,0	495,5 ± 28,7	300,0 ± 15,7	535,1 ± 31,2	324,5 ± 17,2	380,3 ± 22,1	333,9 ± 11,7	337,0 ± 18,9	348,8 ± 20,2
G2	268,8 ± 14,8	222,0 ± 10,6	245,5 ± 10,4	503,0 ± 27,1	457,4 ± 25,6	348,3 ± 18,9	392,1 ± 18,2	284,5 ± 13,5	257,8 ± 11,9	351,0 ± 15,8	327,4 ± 15,6	289,3 ± 13,3
G3	282,8 ± 10,7	212,2 ± 9,8	248,7 ± 10,8	483,7 ± 20,8	442,1 ± 21,3	522,8 ± 34,8	359,7 ± 13,7	349,3 ± 18,1	365,0 ± 18,6	359,6 ± 14,7	322,1 ± 16,7	319,8 ± 16,6
T1*	261,9 ± 16,6	252,1 ± 15,6	213,6 ± 8,5	422,7 ± 17,7	390,7 ± 17,2	333,9 ± 19,2	373,3 ± 23,1	345,4 ± 16,6	334,4 ± 15,4	337,5 ± 16,2	352,1 ± 18,7	441,5 ± 23,8
T2	247,2 ± 10,9	235,1 ± 12,2	239,5 ± 11,1	349,4 ± 13,3	337,0 ± 12,1	285,0 ± 13,9	372,7 ± 20,1	387,1 ± 24,8	304,9 ± 15,1	338,2 ± 12,5	366,7 ± 24,2	349,6 ± 21,7
T3	268,2 ± 15,0	242,7 ± 13,8	232,0 ± 10,4	366,8 ± 17,6	456,7 ± 20,5	379,0 ± 18,0	347,7 ± 23,9	326,9 ± 17,6	474,1 ± 29,9	286,8 ± 9,7	283,7 ± 13,8	290,6 ± 11,9
T4	239,3 ± 10,3	235,8 ± 12,6	236,6 ± 10,7	431,3 ± 25,4	418,9 ± 21,8	371,4 ± 16,9	333,9 ± 17,4	317,7 ± 15,2	452,0 ± 26,2	304,4 ± 15,8	328,2 ± 16,7	291,3 ± 12,2
R1	222,9 ± 8,5	199,6 ± 8,5	199,0 ± 8,4	382,4 ± 16,7	389,4 ± 16,7	418,8 ± 22,4	234,3 ± 9,7	206,2 ± 7,8	265,5 ± 10,9	307,8 ± 14,2	355,3 ± 19,9	317,8 ± 18,3
R2	235,1 ± 13,9	249,3 ± 14,7	235,7 ± 12,0	429,9 ± 26,6	449,2 ± 25,6	462,0 ± 28,6	368,6 ± 15,8	398,1 ± 21,5	312,4 ± 16,6	307,6 ± 13,5	269,9 ± 11,3	242,8 ± 9,3
R3	200,6 ± 9,5	216,7 ± 9,6	199,2 ± 8,6	355,2 ± 13,5	290,6 ± 11,6	352,2 ± 17,4	345,3 ± 19,3	238,9 ± 11,2	235,1 ± 10,1	278,6 ± 10,6	261,2 ± 12,0	290,4 ± 12,5
A1	311,0 ± 16,2	264,3 ± 15,4	205,4 ± 9,3	436,6 ± 24,5	441,2 ± 23,8	402,9 ± 22,6	384,2 ± 20,2	312,5 ± 17,7	350,3 ± 19,3	317,9 ± 20,3	290,9 ± 13,7	268,8 ± 11,0
A2	237,4 ± 10,9	272,0 ± 16,6	224,2 ± 10,9	442,6 ± 23,8	394,5 ± 16,8	335,4 ± 14,8	445,1 ± 24,2	327,8 ± 19,3	471,6 ± 27,8	259,2 ± 11,6	243,2 ± 10,0	284,4 ± 12,8
Min	200,6	199,6	197,9	349,4	290,6	285,0	234,3	206,2	235,1	259,2	243,2	242,8
Maks.	311,0	272,0	248,7	503,0	495,5	522,8	535,1	398,1	474,1	359,6	366,7	441,5
Ort.	250,9	233,8	223,1	419,0	413,6	376,0	374,3	318,2	350,3	315,2	311,5	311,3

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

Tablo 32. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	^{137}Cs (Bq kg ⁻¹)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	4,28 ± 0,19	1,68 ± 0,07	0,93 ± 0,03	2,15 ± 0,08	2,40 ± 0,09	0,78 ± 0,03	2,12 ± 0,08	0,69 ± 0,03	0,45 ± 0,02	4,07 ± 0,15	1,34 ± 0,05	2,03 ± 0,09
G2	2,07 ± 0,08	1,06 ± 0,04	1,17 ± 0,05	3,82 ± 0,16	7,71 ± 0,45	2,02 ± 0,07	4,20 ± 0,17	1,50 ± 0,06	2,34 ± 0,12	1,22 ± 0,06	1,50 ± 0,06	2,11 ± 0,10
G3	2,36 ± 0,10	1,57 ± 0,06	1,16 ± 0,05	2,28 ± 0,09	1,37 ± 0,05	0,44 ± 0,02	3,69 ± 0,14	1,14 ± 0,05	0,91 ± 0,03	2,09 ± 0,09	1,22 ± 0,05	0,19 ± 0,01
T1*	3,58 ± 0,17	0,43 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,26 ± 0,01	1,24 ± 0,05	1,68 ± 0,07	1,79 ± 0,07	2,25 ± 0,10	1,54 ± 0,07	2,37 ± 0,10	1,43 ± 0,07	1,69 ± 0,06
T2	1,73 ± 0,06	1,18 ± 0,05	1,05 ± 0,04	1,36 ± 0,07	1,40 ± 0,06	0,64 ± 0,02	1,87 ± 0,09	2,21 ± 0,12	0,26 ± 0,01	2,84 ± 0,13	2,66 ± 0,14	3,28 ± 0,16
T3	1,58 ± 0,07	0,84 ± 0,04	0,54 ± 0,02	2,84 ± 0,15	0,88 ± 0,03	1,07 ± 0,04	2,61 ± 0,11	2,41 ± 0,15	2,37 ± 0,11	2,06 ± 0,07	1,90 ± 0,09	1,36 ± 0,06
T4	2,49 ± 0,12	0,80 ± 0,04	0,16 ± 0,01	2,11 ± 0,12	4,92 ± 0,25	2,96 ± 0,13	1,76 ± 0,08	0,55 ± 0,02	2,06 ± 0,10	3,10 ± 0,11	1,85 ± 0,07	2,02 ± 0,08
R1	1,60 ± 0,06	0,53 ± 0,02	1,30 ± 0,06	0,90 ± 0,04	2,46 ± 0,11	0,34 ± 0,02	2,62 ± 0,13	1,60 ± 0,07	1,18 ± 0,04	1,31 ± 0,05	1,95 ± 0,11	0,35 ± 0,02
R2	1,48 ± 0,05	0,79 ± 0,04	1,36 ± 0,06	3,90 ± 0,18	1,06 ± 0,04	0,40 ± 0,02	2,58 ± 0,11	0,46 ± 0,02	1,64 ± 0,06	3,41 ± 0,14	2,22 ± 0,14	1,14 ± 0,04
R3	0,88 ± 0,03	1,00 ± 0,05	1,49 ± 0,07	2,52 ± 0,13	2,62 ± 0,10	1,93 ± 0,08	2,74 ± 0,14	2,65 ± 0,12	0,75 ± 0,03	2,28 ± 0,09	1,33 ± 0,06	2,25 ± 0,09
A1	3,05 ± 0,13	0,84 ± 0,04	0,98 ± 0,04	2,52 ± 0,11	1,07 ± 0,04	0,44 ± 0,02	1,65 ± 0,07	1,07 ± 0,04	1,07 ± 0,05	1,33 ± 0,08	2,75 ± 0,15	0,37 ± 0,02
A2	2,42 ± 0,10	1,98 ± 0,10	1,91 ± 0,08	3,35 ± 0,18	4,83 ± 0,23	0,71 ± 0,03	2,47 ± 0,09	1,12 ± 0,05	0,65 ± 0,02	3,06 ± 0,12	2,15 ± 0,10	1,33 ± 0,05
Min	0,88	0,43	0,16	0,26	0,88	0,34	1,65	0,46	0,26	1,22	1,22	0,19
Maks.	4,28	1,98	1,91	3,90	7,71	2,96	4,20	2,65	2,37	4,07	2,75	3,28
Ort.	2,29	1,06	1,03	2,33	2,66	1,12	2,51	1,47	1,27	2,43	1,86	1,51

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde soğurulmuş doz oranı (D), radyum eşdeğer aktifliği (R_{eq}), dış tehlike indeksi (H_{ex}) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (YED) değerleri mevsimsel olarak Tablo 33-36'da verilmiştir.



Tablo 33. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde soğurulan gama doz hızı (D) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	D (nGy saat ⁻¹)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	15,15 ± 0,66	11,67 ± 0,56	12,32 ± 0,65	20,01 ± 1,05	28,56 ± 1,63	17,80 ± 0,93	33,97 ± 1,96	17,68 ± 0,98	17,90 ± 0,95	20,06 ± 1,14	18,98 ± 0,98	17,70 ± 0,85
G2	17,21 ± 0,72	12,59 ± 0,65	15,82 ± 0,91	24,68 ± 1,19	21,66 ± 1,04	19,06 ± 0,95	28,93 ± 1,50	14,58 ± 0,77	13,13 ± 0,60	20,50 ± 1,10	16,06 ± 0,77	14,38 ± 0,56
G3	18,47 ± 0,94	12,84 ± 0,69	16,50 ± 0,97	30,79 ± 1,92	22,69 ± 1,20	29,05 ± 1,67	20,57 ± 0,95	20,24 ± 0,93	16,50 ± 0,79	25,64 ± 1,25	16,77 ± 0,82	16,10 ± 0,74
T1*	16,73 ± 0,79	13,25 ± 0,72	12,55 ± 0,59	22,40 ± 1,22	19,56 ± 0,88	19,81 ± 0,98	19,47 ± 0,76	18,28 ± 1,04	14,64 ± 0,63	24,13 ± 1,12	22,63 ± 1,32	25,00 ± 1,35
T2	16,24 ± 0,87	13,75 ± 0,77	14,56 ± 0,78	16,21 ± 0,68	14,68 ± 0,65	16,58 ± 0,77	22,37 ± 1,09	18,00 ± 0,92	13,78 ± 0,52	19,12 ± 0,82	19,57 ± 0,88	21,91 ± 1,04
T3	18,42 ± 1,03	14,86 ± 0,79	12,86 ± 0,60	19,20 ± 0,88	24,15 ± 1,26	23,94 ± 1,25	20,73 ± 1,05	16,72 ± 0,79	21,75 ± 1,04	17,86 ± 0,67	14,93 ± 0,56	14,01 ± 0,61
T4	13,54 ± 0,46	12,27 ± 0,58	13,01 ± 0,54	25,02 ± 1,27	21,87 ± 1,12	23,39 ± 1,25	17,30 ± 0,59	16,33 ± 0,68	23,35 ± 1,22	21,50 ± 0,98	19,21 ± 0,79	14,23 ± 0,63
R1	16,23 ± 0,74	11,42 ± 0,50	11,69 ± 0,45	19,00 ± 0,82	18,28 ± 0,82	25,78 ± 1,45	17,88 ± 0,73	13,48 ± 0,51	12,97 ± 0,51	17,80 ± 0,62	19,96 ± 0,97	15,57 ± 0,81
R2	17,00 ± 0,89	15,13 ± 0,87	14,29 ± 0,79	28,78 ± 1,64	22,36 ± 0,98	26,35 ± 1,38	22,66 ± 0,98	19,54 ± 1,12	14,39 ± 0,65	17,28 ± 0,59	14,09 ± 0,74	13,49 ± 0,57
R3	15,19 ± 0,83	13,32 ± 0,71	11,99 ± 0,51	17,37 ± 0,73	14,42 ± 0,54	21,31 ± 1,02	22,22 ± 1,15	13,06 ± 0,49	11,43 ± 0,46	18,66 ± 0,82	13,76 ± 0,51	14,77 ± 0,65
A1	21,42 ± 1,27	15,47 ± 0,93	12,10 ± 0,53	23,20 ± 1,21	23,54 ± 1,32	21,70 ± 1,05	24,37 ± 1,36	15,26 ± 0,65	17,10 ± 0,93	19,31 ± 1,01	18,91 ± 1,02	15,98 ± 0,79
A2	14,08 ± 0,59	18,20 ± 1,07	14,21 ± 0,73	23,20 ± 1,17	18,68 ± 0,78	22,02 ± 0,94	27,27 ± 1,47	15,30 ± 0,69	26,70 ± 1,39	20,15 ± 1,08	15,64 ± 0,76	15,83 ± 0,77
Min	13,54	11,42	11,69	16,21	14,42	16,58	17,30	13,06	11,43	17,28	13,76	13,49
Maks.	21,42	18,20	16,50	30,79	28,56	29,05	33,97	20,24	26,70	25,64	22,63	25,00
Ort.	16,64	13,73	13,49	22,49	20,87	22,23	23,15	16,54	16,97	20,17	17,54	16,58

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

Tablo 34. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde radyum eşdeğer aktifliği (Ra_{eq}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	$Ra_{eq}(\text{Bq kg}^{-1})$											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	30,43 ± 1,66	23,04 ± 0,94	24,33 ± 1,30	38,06 ± 1,85	56,35 ± 3,16	34,98 ± 1,45	68,17 ± 3,92	34,25 ± 1,79	34,00 ± 1,65	39,89 ± 1,92	37,24 ± 2,13	34,05 ± 1,80
G2	34,68 ± 1,80	24,72 ± 1,08	31,38 ± 1,77	47,23 ± 2,73	41,22 ± 2,14	36,81 ± 1,67	59,18 ± 3,84	28,11 ± 1,33	25,40 ± 1,12	40,69 ± 2,03	30,61 ± 1,46	27,57 ± 1,32
G3	36,90 ± 1,77	25,25 ± 1,14	32,56 ± 1,90	61,24 ± 4,02	43,89 ± 2,37	56,85 ± 3,61	40,46 ± 2,18	39,66 ± 2,52	31,03 ± 1,57	51,55 ± 2,86	32,35 ± 1,57	30,99 ± 1,43
T1*	33,30 ± 1,54	25,67 ± 1,30	24,51 ± 1,14	43,59 ± 2,56	37,53 ± 1,57	39,11 ± 2,13	37,71 ± 1,66	35,31 ± 2,06	27,39 ± 1,26	48,58 ± 3,01	45,14 ± 2,85	49,08 ± 2,75
T2	32,62 ± 1,36	27,11 ± 1,53	28,68 ± 1,36	30,58 ± 1,33	27,31 ± 1,16	32,37 ± 1,47	44,28 ± 1,72	34,03 ± 1,69	25,93 ± 1,19	37,70 ± 2,07	37,92 ± 2,03	43,13 ± 2,24
T3	37,12 ± 1,89	29,46 ± 1,72	25,00 ± 1,23	37,25 ± 1,95	46,87 ± 2,48	47,54 ± 2,21	40,97 ± 1,76	32,26 ± 1,73	41,20 ± 2,29	35,64 ± 1,85	28,78 ± 1,32	26,66 ± 1,15
T4	26,63 ± 1,02	23,76 ± 1,18	25,17 ± 1,32	49,39 ± 2,79	42,42 ± 2,34	46,55 ± 2,27	33,52 ± 1,20	31,37 ± 1,36	45,20 ± 2,35	43,92 ± 2,59	37,67 ± 2,08	27,21 ± 1,28
R1	33,01 ± 1,57	22,37 ± 1,04	22,98 ± 1,09	36,58 ± 1,86	34,71 ± 1,49	51,54 ± 2,84	36,62 ± 1,57	26,81 ± 1,13	24,75 ± 1,18	35,35 ± 1,66	39,16 ± 2,12	29,77 ± 1,32
R2	34,34 ± 1,80	30,06 ± 1,67	28,29 ± 1,51	57,52 ± 3,34	42,93 ± 2,40	51,51 ± 2,73	45,12 ± 2,48	37,42 ± 1,92	27,27 ± 1,26	33,97 ± 1,58	27,17 ± 1,13	26,35 ± 1,03
R3	31,33 ± 1,51	26,39 ± 1,23	23,47 ± 1,04	33,33 ± 1,55	27,83 ± 1,08	42,09 ± 1,84	44,51 ± 2,40	25,46 ± 1,12	21,79 ± 0,98	37,52 ± 1,95	26,62 ± 1,04	28,42 ± 1,30
A1	43,34 ± 2,43	30,27 ± 1,62	23,64 ± 1,09	45,28 ± 2,34	45,96 ± 2,51	42,23 ± 1,97	48,80 ± 2,83	29,12 ± 1,60	32,71 ± 1,77	38,51 ± 2,04	37,83 ± 2,06	31,28 ± 1,66
A2	27,93 ± 1,46	36,44 ± 2,09	28,19 ± 1,54	45,17 ± 2,43	35,57 ± 1,43	44,39 ± 1,98	54,56 ± 2,75	28,93 ± 1,56	52,70 ± 3,08	41,13 ± 2,17	30,97 ± 1,46	30,82 ± 1,61
Min	26,63	22,37	22,98	30,58	27,31	32,37	33,52	25,46	21,79	33,97	26,62	26,35
Maks.	43,34	36,44	32,56	61,24	56,35	56,85	68,17	39,66	52,70	51,55	45,14	49,08
Ort.	33,47	27,05	26,52	43,77	40,22	43,83	46,16	31,89	32,45	40,37	34,29	32,11

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

Tablo 35. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde dış tehlike indeksi (H_{ex}) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	H_{ex}											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	0,08	0,06	0,07	0,10	0,15	0,09	0,18	0,09	0,09	0,11	0,10	0,09
G2	0,09	0,07	0,08	0,13	0,11	0,10	0,16	0,08	0,07	0,11	0,08	0,07
G3	0,10	0,07	0,09	0,17	0,12	0,15	0,11	0,11	0,08	0,14	0,09	0,08
T1*	0,09	0,07	0,07	0,12	0,10	0,11	0,10	0,10	0,07	0,13	0,12	0,13
T2	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,12	0,09	0,07	0,10	0,10	0,12
T3	0,10	0,08	0,07	0,10	0,13	0,13	0,11	0,09	0,11	0,10	0,08	0,07
T4	0,07	0,06	0,07	0,13	0,11	0,13	0,09	0,08	0,12	0,12	0,10	0,07
R1	0,09	0,06	0,06	0,10	0,09	0,14	0,10	0,07	0,07	0,10	0,11	0,08
R2	0,09	0,08	0,08	0,16	0,12	0,14	0,12	0,10	0,07	0,09	0,07	0,07
R3	0,08	0,07	0,06	0,09	0,08	0,11	0,12	0,07	0,06	0,10	0,07	0,08
A1	0,12	0,08	0,06	0,12	0,12	0,11	0,13	0,08	0,09	0,10	0,10	0,08
A2	0,08	0,10	0,08	0,12	0,10	0,12	0,15	0,08	0,14	0,11	0,08	0,08
Min	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09	0,09	0,07	0,06	0,09	0,07	0,07
Maks.	0,12	0,10	0,09	0,17	0,15	0,15	0,18	0,11	0,14	0,14	0,12	0,13
Ort.	0,09	0,07	0,07	0,12	0,11	0,12	0,12	0,09	0,09	0,11	0,09	0,09

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

Tablo 36. Akdeniz midyesinin üç farklı boydaki yumuşak doku örneklerinde yıllık etkin doz (YED) değerlerinin mevsimsel olarak değişimi.

İstasyon	YED ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$)											
	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar		
	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB	BB	OB	KB
G1	18,58 ± 0,86	14,32 ± 0,55	15,10 ± 0,64	24,54 ± 1,30	35,02 ± 1,68	21,82 ± 1,04	41,66 ± 1,98	21,69 ± 1,24	21,96 ± 1,17	24,60 ± 1,15	23,27 ± 1,30	21,71 ± 1,03
G2	21,11 ± 1,13	15,44 ± 0,77	19,40 ± 0,96	30,27 ± 1,77	26,57 ± 1,32	23,38 ± 1,21	35,48 ± 1,38	17,88 ± 0,84	16,11 ± 0,75	25,14 ± 1,30	19,70 ± 0,94	17,64 ± 0,76
G3	22,65 ± 1,24	15,74 ± 0,80	20,23 ± 1,09	37,76 ± 2,10	27,83 ± 1,44	35,63 ± 2,06	25,23 ± 0,88	24,82 ± 1,34	20,24 ± 1,14	31,45 ± 1,82	20,56 ± 1,07	19,75 ± 0,92
T1*	20,52 ± 0,85	16,25 ± 0,86	15,39 ± 0,68	27,47 ± 1,33	23,99 ± 1,14	24,29 ± 1,23	23,88 ± 1,02	22,42 ± 1,38	17,95 ± 0,87	29,59 ± 1,43	27,75 ± 1,61	30,66 ± 1,79
T2	19,92 ± 0,75	16,86 ± 0,92	17,85 ± 0,83	19,88 ± 0,82	18,01 ± 0,78	20,34 ± 0,95	27,43 ± 1,26	22,08 ± 1,29	16,89 ± 0,78	23,45 ± 1,09	24,00 ± 1,12	26,87 ± 1,44
T3	22,59 ± 1,29	18,22 ± 1,07	15,77 ± 0,75	23,55 ± 1,09	29,62 ± 1,27	29,36 ± 1,45	25,42 ± 1,22	20,50 ± 0,98	26,68 ± 1,44	21,91 ± 0,94	18,31 ± 0,68	17,19 ± 0,81
T4	16,61 ± 0,65	15,05 ± 0,72	15,96 ± 0,80	30,68 ± 1,94	26,82 ± 1,21	28,69 ± 1,53	21,22 ± 0,79	20,02 ± 1,02	28,64 ± 1,59	26,37 ± 1,45	23,56 ± 1,04	17,46 ± 0,78
R1	19,91 ± 0,88	14,01 ± 0,54	14,34 ± 0,68	23,30 ± 0,99	22,42 ± 1,16	31,61 ± 1,76	21,92 ± 1,07	16,53 ± 0,62	15,90 ± 0,76	21,83 ± 0,94	24,47 ± 1,15	19,10 ± 0,98
R2	20,85 ± 1,03	18,56 ± 0,89	17,53 ± 0,87	35,30 ± 2,05	27,43 ± 1,53	32,31 ± 1,70	27,78 ± 1,24	23,96 ± 1,05	17,64 ± 0,78	21,20 ± 0,87	17,28 ± 0,67	16,55 ± 0,63
R3	18,63 ± 0,84	16,33 ± 0,73	14,71 ± 0,65	21,30 ± 1,14	17,69 ± 0,74	26,13 ± 1,08	27,24 ± 1,33	16,02 ± 0,69	14,02 ± 0,58	22,89 ± 0,85	16,87 ± 0,63	18,12 ± 0,79
A1	26,27 ± 1,21	18,97 ± 1,19	14,84 ± 0,68	28,45 ± 1,37	28,87 ± 1,36	26,62 ± 1,45	29,89 ± 1,54	18,72 ± 0,97	20,97 ± 1,09	23,68 ± 1,04	23,19 ± 1,07	19,60 ± 0,97
A2	17,27 ± 0,73	22,32 ± 1,28	17,43 ± 0,85	28,45 ± 1,29	22,91 ± 0,94	27,01 ± 1,18	33,44 ± 1,92	18,76 ± 0,82	32,75 ± 1,76	24,71 ± 1,14	19,18 ± 0,81	19,41 ± 0,95
Min	16,61	14,01	14,34	19,88	17,69	20,34	21,22	16,02	14,02	21,20	16,87	16,55
Maks.	26,27	22,32	20,23	37,76	35,02	35,63	41,66	24,82	32,75	31,45	27,75	30,66
Ort.	20,41	16,84	16,55	27,58	25,60	27,27	28,38	20,28	20,81	24,74	21,51	20,34

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1. Deniz Suyu Örnekleri

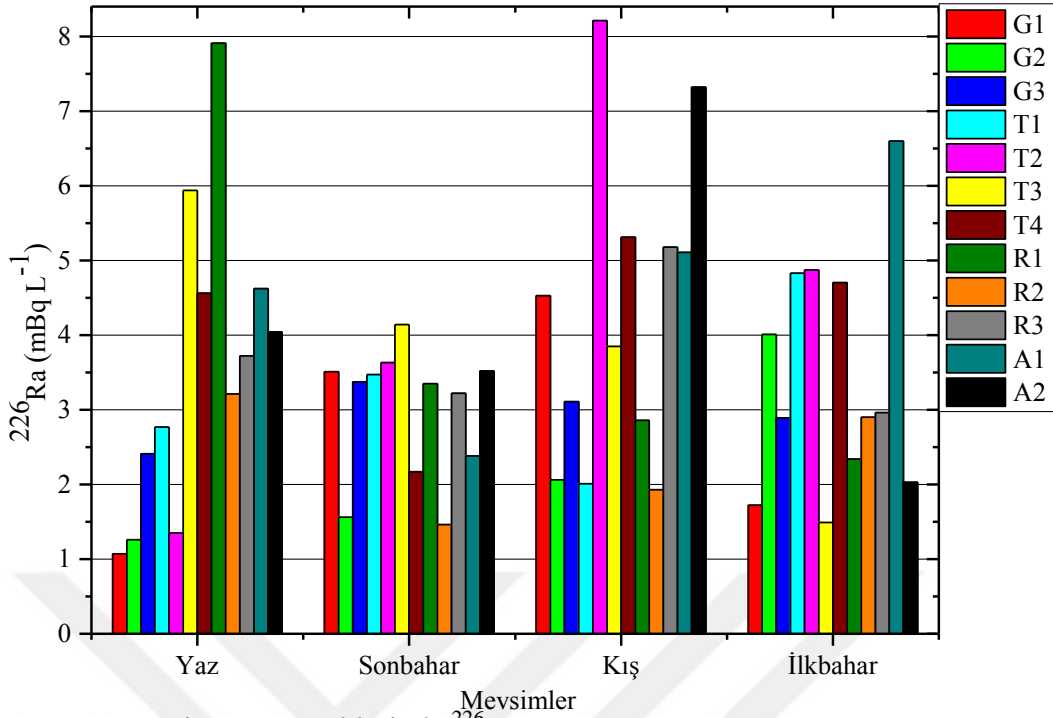
4.1.1. Deniz Suyunda ²²⁶Ra

Deniz suyu örneklerinde ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 21) en yüksek konsantrasyonun 8,21 mBq L⁻¹ ile Şubat ayında T2 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise 1,07 mBq L⁻¹ ile Temmuz ayında G1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 37’de, ANOVA testinin sonucuna göre ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 37. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonları (mBq L⁻¹).

Mevsim	²²⁶ Ra Konsantrasyonu
Yaz	3,57 ^a
Sonbahar	2,98 ^a
Kış	4,29 ^a
İlkbahar	3,45 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde p> 0,05 düzeyinde önemli değildir.



Şekil 21. Deniz suyu örneklerinde ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

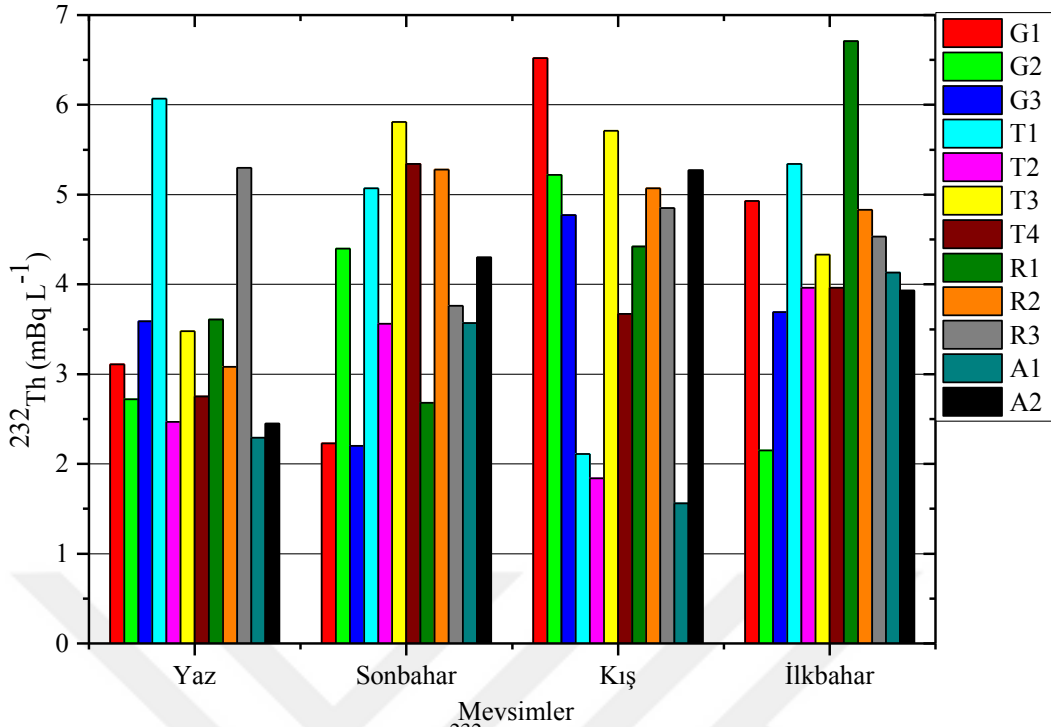
4.1.2. Deniz Suyunda ²³²Th

Deniz suyu örneklerinde ²³²Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 22) en yüksek konsantrasyonun 6,71 mBq L⁻¹ ile Mayıs ayında R1 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise 1,56 mBq L⁻¹ ile Şubat ayında A1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 38’te ANOVA testinin sonucuna göre ²³²Th aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 38. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ²³²Th aktiflik konsantrasyonları (mBq L⁻¹).

Mevsim	²³² Th Konsantrasyonu
Yaz	3,41 ^a
Sonbahar	4,02 ^a
Kış	4,25 ^a
İlkbahar	4,37 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde p> 0,05 düzeyinde önemli değildir.



Şekil 22. Deniz suyu örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

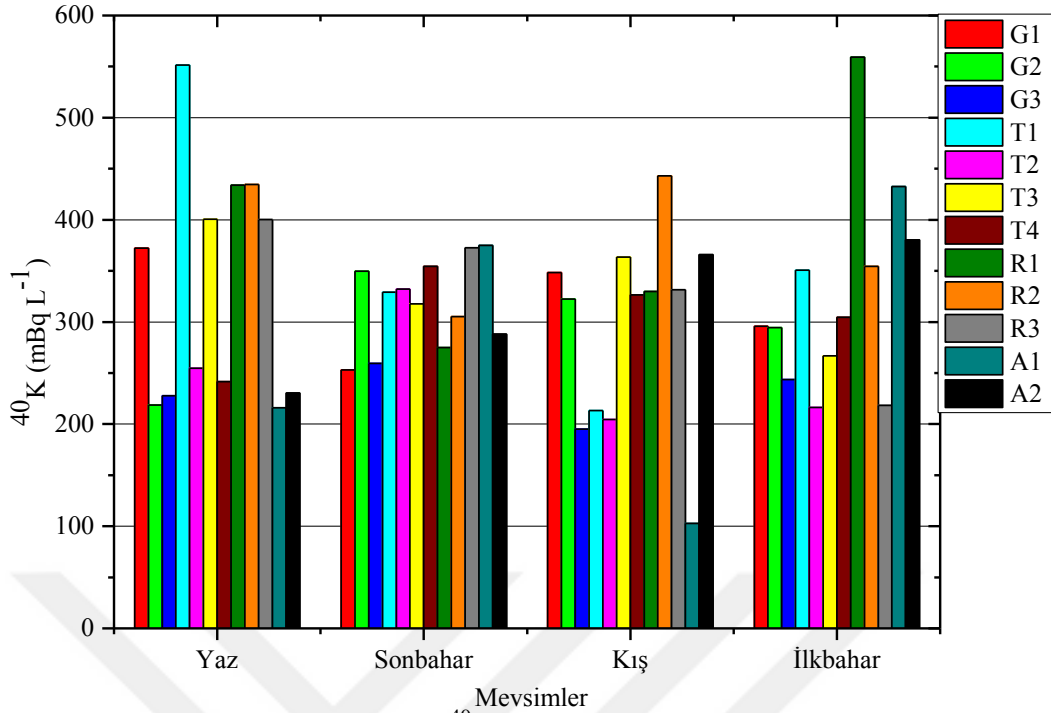
4.1.3. Deniz Suyunda ^{40}K

Deniz suyu örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 23) en yüksek konsantrasyonun $559,4 \text{ mBq L}^{-1}$ ile Mayıs ayında R1 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $102,7 \text{ mBq L}^{-1}$ ile Şubat ayında A1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 39’da, ANOVA testinin sonucuna göre ^{40}K aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 39. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1}).

Mevsim	^{40}K Konsantrasyonu
Yaz	331,8 ^a
Sonbahar	317,6 ^a
Kış	295,5 ^a
İlkbahar	326,4 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p>0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 23. Deniz suyu örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

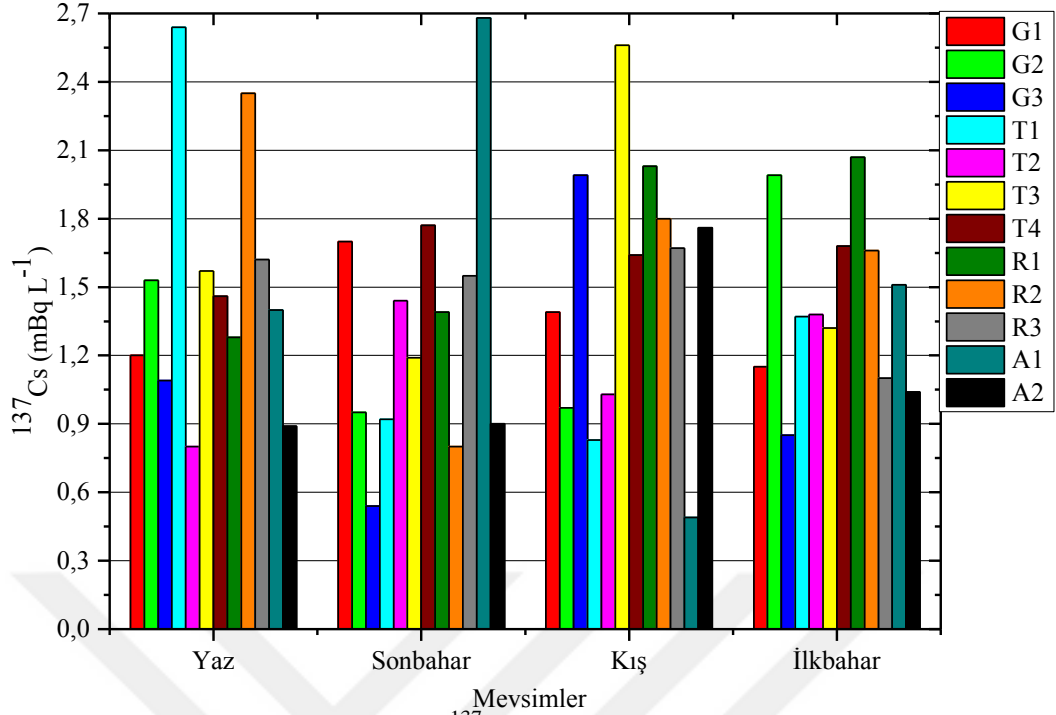
4.1.4. Deniz Suyunda ^{137}Cs

Deniz suyu örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 24) en yüksek konsantrasyonun $2,68 \text{ mBq L}^{-1}$ ile Kasım ayında A1 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $0,49 \text{ mBq L}^{-1}$ ile Şubat ayında A1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 40'da, ANOVA testinin sonucuna göre ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 40. Deniz suyu örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (mBq L^{-1}).

Mevsim	^{137}Cs Konsantrasyonu
Yaz	$1,49^a$
Sonbahar	$1,32^a$
Kış	$1,51^a$
İlkbahar	$1,43^a$

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p>0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 24. Deniz suyu örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.2. Sediment Örnekleri

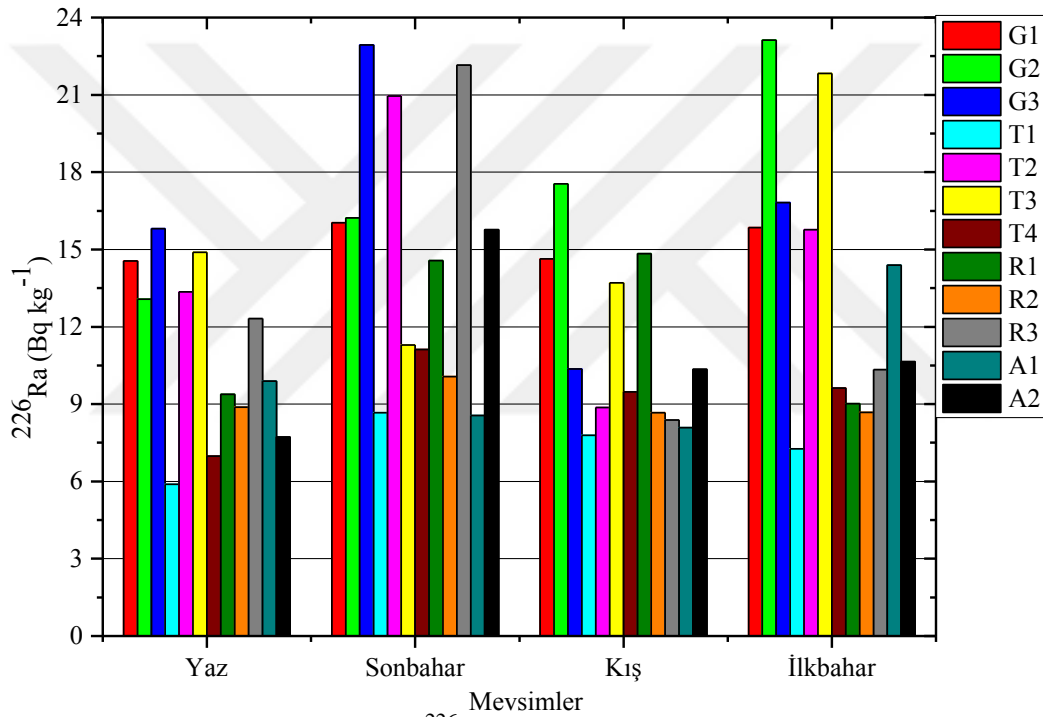
4.2.1. Sedimentte ^{226}Ra

Sediment örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 25) en yüksek konsantrasyonun $23,13 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Mayıs ayında G2 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $5,89 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Temmuz ayında T1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 41'de, ANOVA testinin sonucuna göre ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 41. Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Mevsim	^{226}Ra Konsantrasyonu
Yaz	11,06 ^a
Sonbahar	14,86 ^a
Kış	11,06 ^a
İlkbahar	13,61 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p > 0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 25. Sediment örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

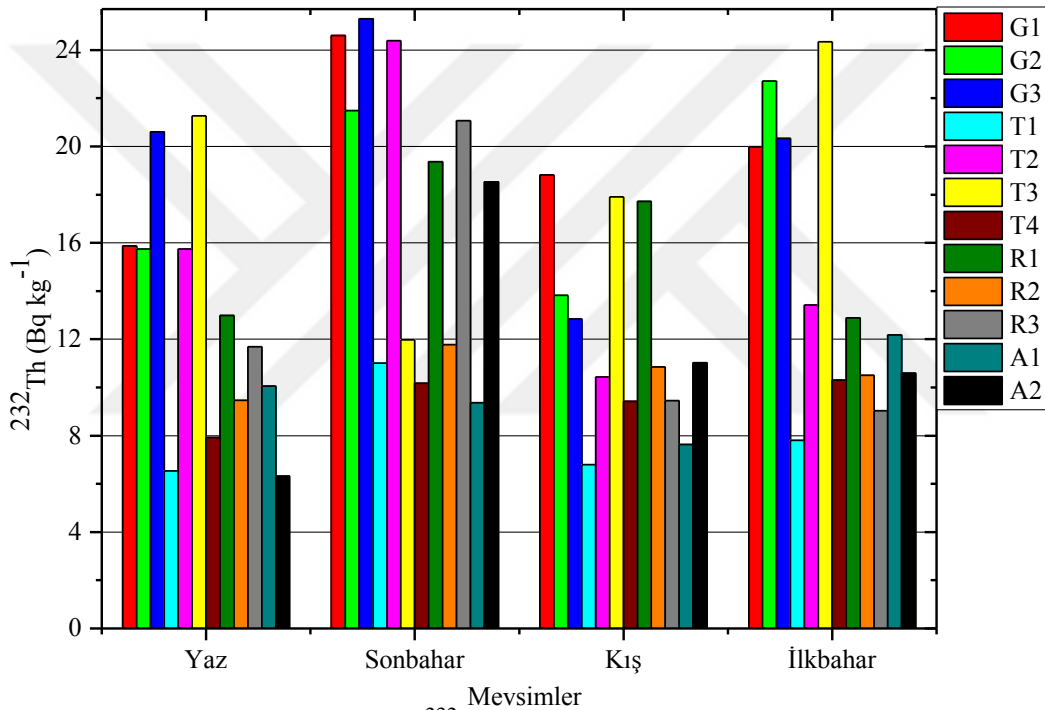
4.2.2. Sedimentte ^{232}Th

Sediment örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 26) en yüksek konsantrasyonun $25,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Kasım ayında G3 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $6,32 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Temmuz ayında A2 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 42’de ANOVA testinin sonucuna göre ^{232}Th aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 42. Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Mevsim	^{232}Th Konsantrasyonu
Yaz	12,85 ^a
Sonbahar	17,42 ^a
Kış	12,23 ^a
İlkbahar	14,51 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p > 0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 26. Sediment örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

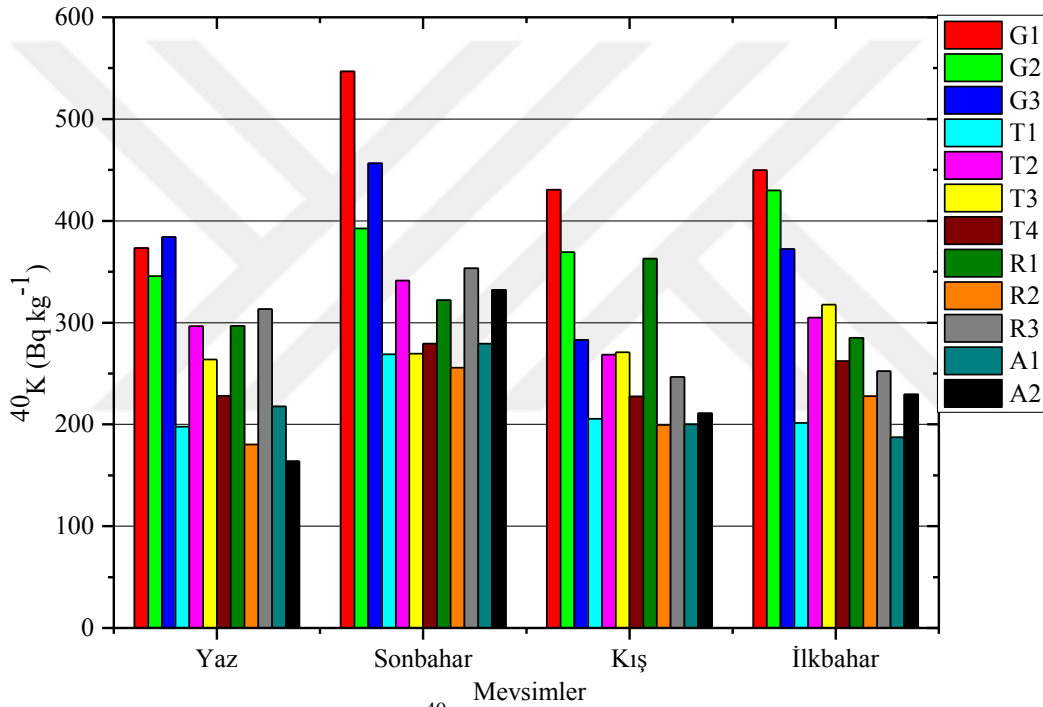
4.2.3. Sedimentte ^{40}K

Sediment örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 27) en yüksek konsantrasyonun $546,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Kasım ayında G1 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $163,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Temmuz ayında A2 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 43'te, ANOVA testinin sonucuna göre ^{40}K aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 43. Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{40}K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Mevsim	^{40}K Konsantrasyonu
Yaz	271,7 ^a
Sonbahar	341,5 ^a
Kış	272,9 ^a
İlkbahar	293,3 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p > 0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 27. Sediment örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

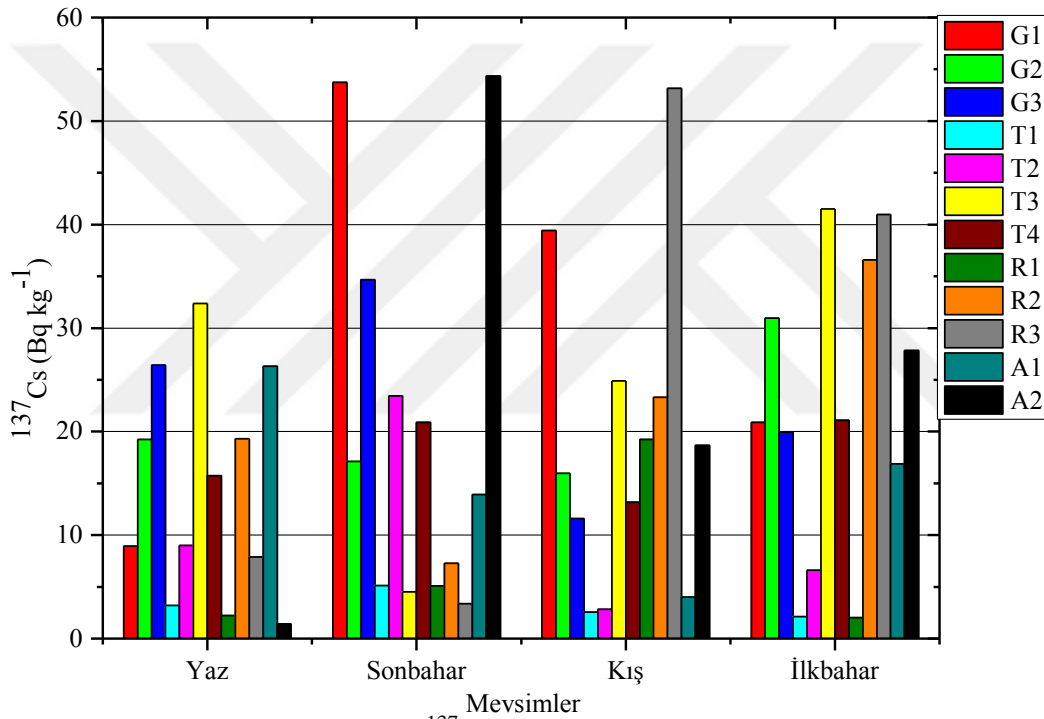
4.2.4. Sedimentte ^{137}Cs

Sediment örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 28) en yüksek konsantrasyonun $54,35 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Kasım ayında A2 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $1,40 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Temmuz ayında A2 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 44'te, ANOVA testinin sonucuna göre ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 44. Sediment örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Mevsim	^{137}Cs Konsantrasyonu
Yaz	14,33 ^a
Sonbahar	20,30 ^a
Kış	19,07 ^a
İlkbahar	22,28 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p>0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 28. Sediment örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.3. Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnekleri

4.3.1. Midyede ^{226}Ra

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyon ortalama değerlerinin istasyonlara ve mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 29) en yüksek konsantrasyonun $14,37 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Mayıs ayında G3 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $0,69 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Şubat ayında T2

istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 45-46'da, ANOVA testinin sonucuna göre ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarındaki hem mevsimler hem de boylar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 45. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

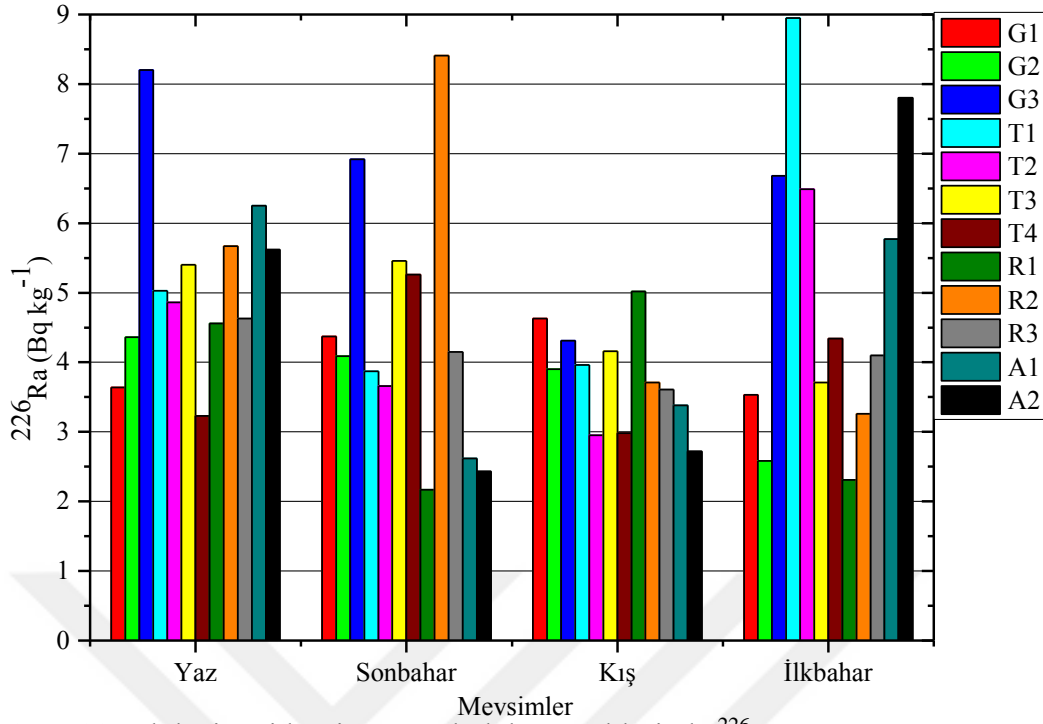
Mevsim	^{226}Ra Konsantrasyonu
Yaz	5,12 ^a
Sonbahar	4,41 ^a
Kış	3,60 ^a
İlkbahar	4,96 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p>0,05$ düzeyinde önemli değildir.

Tablo 46. Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Boy	^{226}Ra Konsantrasyonu
Büyük Boy	5,01 ^a
Orta Boy	3,84 ^a
Küçük Boy	4,72 ^a

^a harfi boylar arasındaki verilerde $p>0,05$ düzeyinde önemli değildir.



Şekil 29. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.3.2. Midyede ^{232}Th

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyon ortalama değerlerinin istasyonlara ve mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 30) en yüksek konsantrasyonun $14,39 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Şubat ayında G2 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $1,05 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Kasım ayında T2 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 47’de, ANOVA testinin sonucuna göre ^{232}Th aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Tablo 48’te, Boylar arasındaki farklılıklar ise istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Tablo 47. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

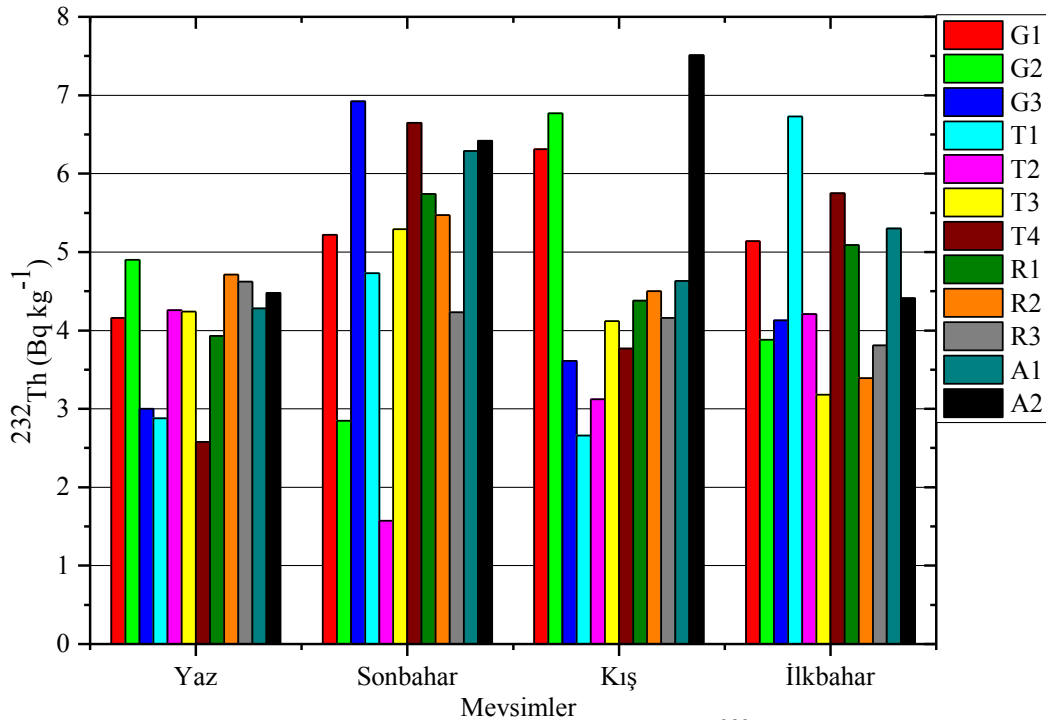
Mevsim	^{232}Th Konsantrasyonu
Yaz	4,00 ^a
Sonbahar	5,20 ^a
Kış	4,63 ^a
İlkbahar	4,59 ^a

^a harfi mevsimler arasındaki verilerde $p > 0,05$ düzeyinde önemli değildir.

Tablo 48. Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{232}Th aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Boy	^{232}Th Konsantrasyonu
Büyük Boy	6,83 ^a
Orta Boy	3,59 ^b
Küçük Boy	3,40 ^b

^{a,b} harfleri boylar arasındaki verilerde $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.



Şekil 30. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.3.3. Midyede ⁴⁰K

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ⁴⁰K aktiflik konsantrasyon ortalama değerlerinin istasyonlara ve mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 31) en yüksek konsantrasyonun 535,1 Bq kg⁻¹ ile Şubat ayında G1 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise 197,9 Bq kg⁻¹ ile Temmuz ayında G1 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 49'da, ANOVA testinin sonucuna göre ⁴⁰K aktiflik konsantrasyonlarındaki mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (p<0,05). Tablo 50'de, boylar arasındaki farklılıklar ise istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 49. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ⁴⁰K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

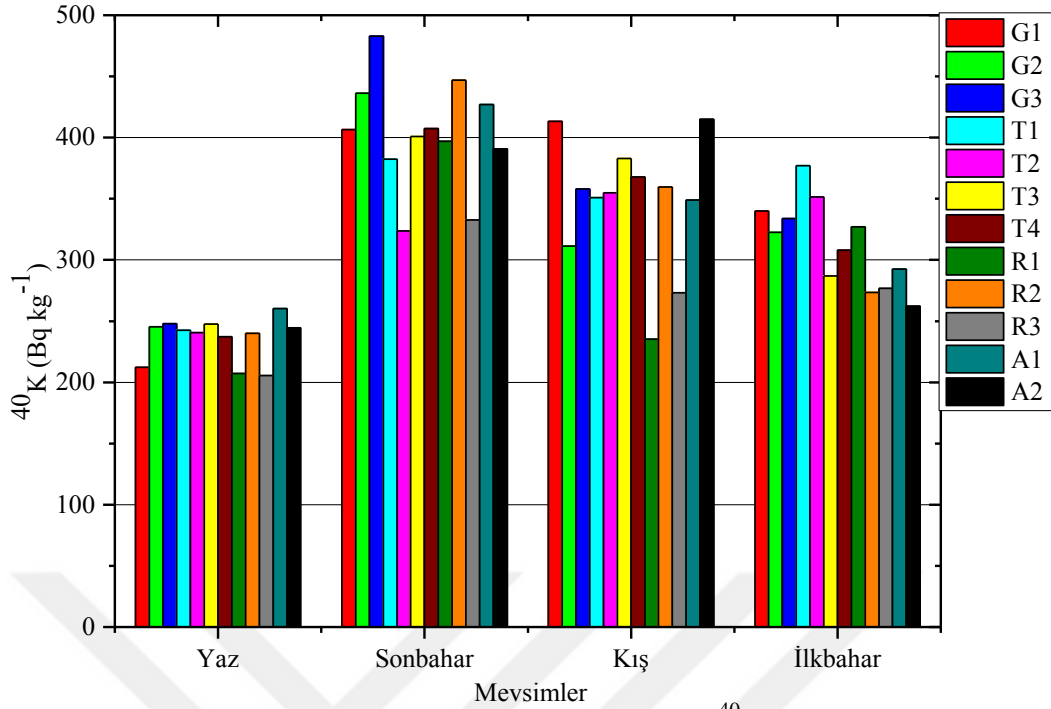
Mevsim	⁴⁰ K Konsantrasyonu
Yaz	235,9 ^a
Sonbahar	402,8 ^b
Kış	347,6 ^c
İlkbahar	312,6 ^d

^{a,b,c,d} harfleri mevsimler arasındaki verilerde p< 0,05 düzeyinde önemlidir.

Tablo 50. Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ⁴⁰K aktiflik konsantrasyonları (Bq kg⁻¹).

Boy	⁴⁰ K Konsantrasyonu
Büyük Boy	339,9 ^a
Orta Boy	319,3 ^a
Küçük Boy	315,2 ^a

^a harfi boylar arasındaki verilerde p> 0,05 düzeyinde önemli değildir.



Şekil 31. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{40}K aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.3.4. Midyede ^{137}Cs

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyon ortalama değerlerinin istasyonlara ve mevsimlere göre değişimine bakıldığında (Şekil 32) en yüksek konsantrasyonun $7,71 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Kasım ayında G2 istasyonunda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyonun ise $0,16 \text{ Bq kg}^{-1}$ ile Temmuz ayında T4 istasyonunda olduğu gözlenmiştir. Tablo 51-52’de, ANOVA testinin sonucuna göre ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarındaki hem mevsimler hem de boylar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Tablo 51. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde mevsimlere göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

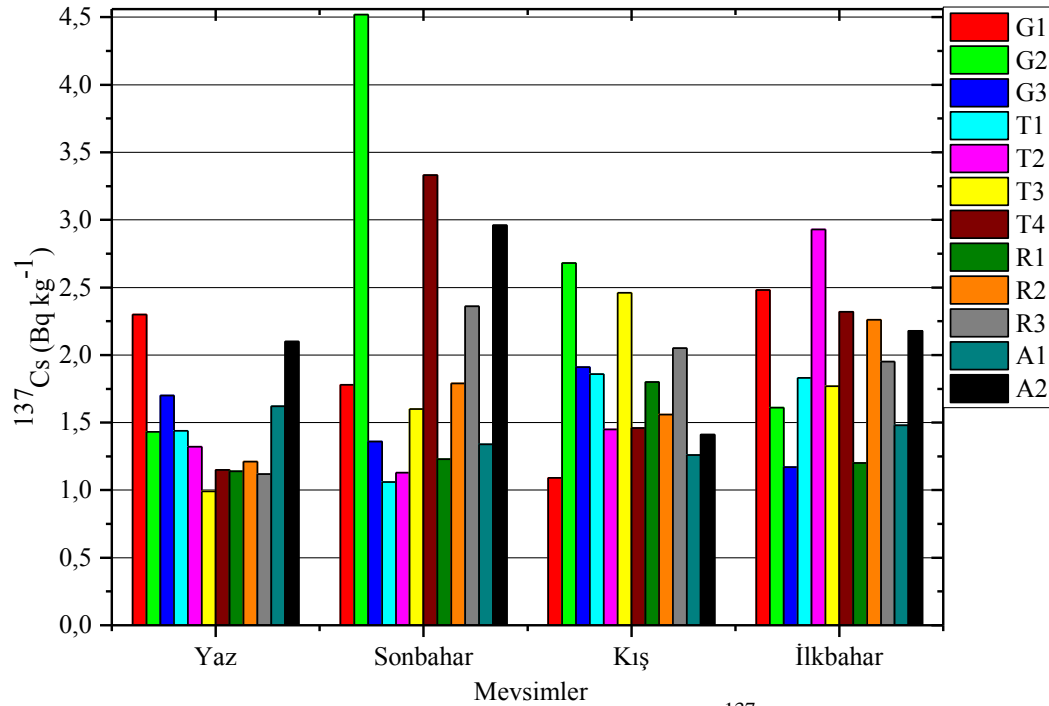
Mevsim	^{137}Cs Konsantrasyonu
Yaz	1,46 ^a
Sonbahar	2,04 ^b
Kış	1,75 ^{ab}
İlkbahar	1,93 ^{ab}

^{a,b} harfleri mevsimler arasındaki verilerde $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

Tablo 52. Akdeniz Midyesi yumuşak dokulardaki boylara göre ortalama ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları (Bq kg^{-1}).

Boy	^{137}Cs Konsantrasyonu
Büyük Boy	2,39 ^a
Orta Boy	1,76 ^b
Küçük Boy	1,23 ^c

^{a,b,c} harfi boylar arasındaki verilerde $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.



Şekil 32. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi.

4.4. Deniz Suyu, Sediment ve Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnelerinde Korelasyon Analiz Sonuçları

Deniz suyu örneklerinde korelasyon analiz sonuçlarına bakıldığında ^{232}Th - ^{40}K ($r=0,594$), ^{40}K - ^{137}Cs ($r=0,558$) radyonüklidleri arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğu ve ^{232}Th - ^{137}Cs ($r=0,335$), ^{40}K -Tuzluluk ($r=0,307$) arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu görülmüştür (Tablo 53). Deniz suyu örneklerinde tuzluluk ile ^{40}K arasında yüksek bir ilişki olduğu gözlenmiş ve artan tuzluluk değeri ile ^{40}K radyoaktiflik konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir (El-Saharty, 2013). Bu çalışmada tuzluluk ile ^{40}K arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve mevsimsel ortalama değerlerde artan tuzluluk değeri ile ^{40}K radyoaktiflik konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Sadece İlkbahar mevsiminde bu oran gözlenmemiştir, bunun sebebinde Kış mevsiminden sonra suların derelerden ve akarsulardan denize daha fazla döküldüğü düşünülmektedir ve buna bağlı olarak tuzluluk değeri azalmaktadır.

Sediment örneklerinde korelasyon analiz sonuçları incelendiğinde ^{226}Ra - ^{232}Th ($r=0,904$), ^{226}Ra - ^{40}K ($r=0,741$), ^{226}Ra -Organik Madde ($r=0,428$), ^{232}Th - ^{40}K ($r=0,824$), ^{232}Th - ^{137}Cs ($r=0,424$), ^{232}Th -Organik Madde ($r=0,487$), ^{40}K -Organik Madde ($r=0,475$) ve ^{137}Cs -Organik Madde ($r=0,839$) arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğu ve ^{226}Ra - ^{137}Cs ($r=0,345$) ve ^{40}K - ^{137}Cs ($r=0,367$) arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu görülmüştür (Tablo 54). Sedimentlerde organik madde miktarının birikmesi ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K radyonüklidlerinde yüksek aktivite konsantrasyonlarına neden olmaktadır (LaBrecque vd., 2010). ^{232}Th ve ^{238}U ile organik madde arasında kuvvetli bir ilişki bulunmuştur (Kılıç ve Çotuk, 2011). ^{40}K içeriğinin sedimentin mineralojik bileşeni ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır ve ^{40}K ile organik madde arasında anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (Ligero vd., 2009; Ergül vd., 2013). Organik madde miktarının sedimentlerde ^{137}Cs radyonüklidinin birikmesinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Kim vd., 2007) ve ^{137}Cs ile organik madde miktarı arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Park vd., 2004; Kim vd., 2006; Kim vd., 2007; Hoda vd., 2010; Kılıç ve Çotuk, 2011; Ergül vd., 2013). Bu çalışmamızda da organik madde miktarı ile ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri arasında kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir.

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde korelasyon analiz sonuçlarına bakıldığında ise ^{226}Ra - ^{232}Th ($r=0,221$), ^{232}Th - ^{40}K ($r=0,288$), ^{40}K - ^{137}Cs ($r=0,228$) elementleri arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğu ve ^{232}Th - ^{137}Cs ($r=0,184$) elementleri arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Tablo 55).

Tablo 53. Deniz suyu örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.

	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	Tuzluluk	pH
^{226}Ra	1					
^{232}Th	-0,131	1				
^{40}K	-0,011	0,594**	1			
^{137}Cs	0,039	0,335*	0,558**	1		
Tuzluluk	0,008	-0,009	0,307*	0,202	1	
pH	-0,065	-0,259	-0,127	-0,017	0,069	1

** Korelasyon 0,01 değerinde önemli.

* Korelasyon 0,05 değerinde önemli.

Tablo 54. Sediment örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.

	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	Organik Madde (%)
^{226}Ra	1				
^{232}Th	0,904**	1			
^{40}K	0,741**	0,824**	1		
^{137}Cs	0,345*	0,424**	0,367*	1	
Organik Madde (%)	0,428**	0,487**	0,475**	0,839**	1

** Korelasyon 0,01 değerinde önemli.

* Korelasyon 0,05 değerinde önemli.

Tablo 55. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.

	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
^{226}Ra	1			
^{232}Th	0,221**	1		
^{40}K	0,045	0,288**	1	
^{137}Cs	-0,040	0,184*	0,228**	1

** Korelasyon 0,01 değerinde önemli.

* Korelasyon 0,05 değerinde önemli.

4.5. Deniz Suyu Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Tuzluluk değerleri çalışmanın yapıldığı istasyonlarda %11,52 ile %18,62 arasında değişim göstermektedir. Agirbas vd., (2014) Karadenizde derinliğe bağlı olarak tuzluluğun %15,9 ile %17,67 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen minimum ve maksimum tuzluluk değerlerinin Agirbas vd. (2014)'den farklı olmasının nedeni istasyonlarımızın akarsuların mansabında yer almasından ve kıyılal bölgede bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

pH değerlerinin mevsimsel değişimine bakıldığında maksimum değer 8,68 ile Mayıs ayında R2 istasyonunda olduğu, minimum değer ise 8,04 ile Kasım ayında T1 istasyonunda olduğu görülmüştür. Doğu Karadeniz bölgesinde su kalitesi ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında bulduğumuz değerlerin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür (Akbal vd., 2011; Cevik vd., 2008).

4.6. Radyoaktiflik Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

4.6.1. Deniz Suyu Örnekleri

Deniz suyu örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının mevsimsel dağılışı aşağıda verilmiştir.

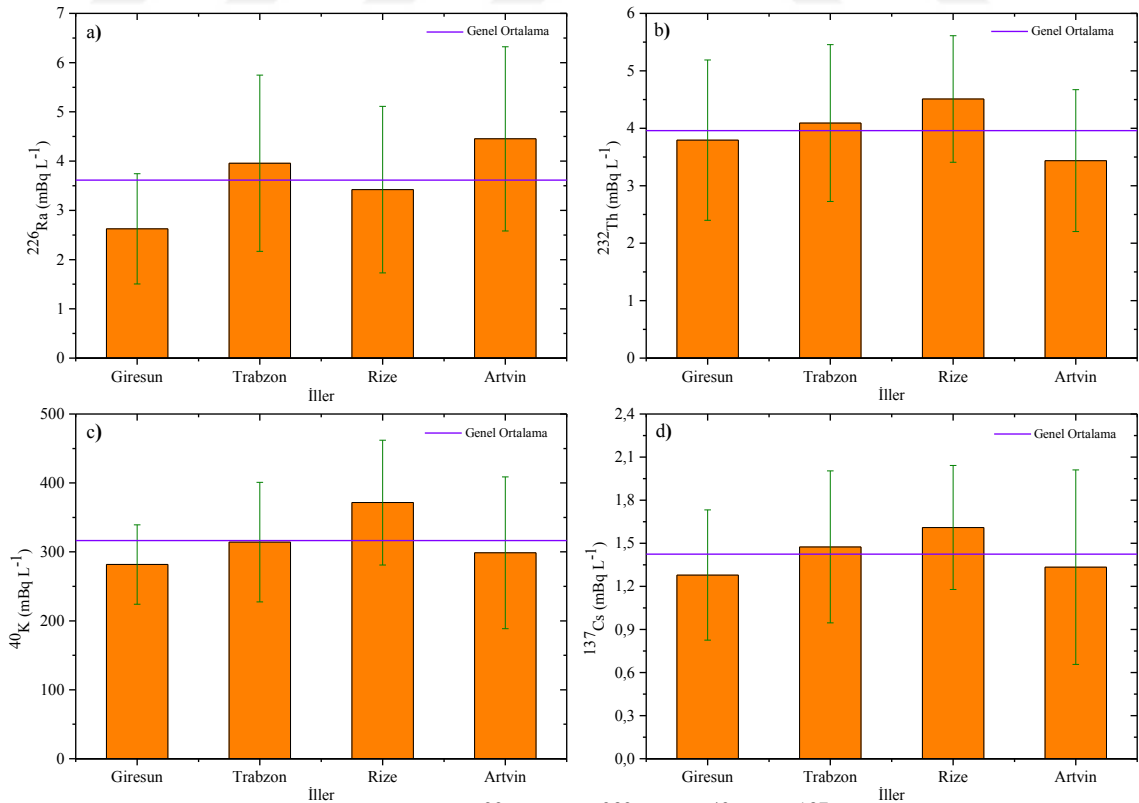
^{226}Ra (mBq L^{-1}) için; Kış (4,29) > Yaz (3,57) > İlkbahar (3,45) > Sonbahar (2,98)

^{232}Th (mBq L^{-1}) için; İlkbahar (4,37) > Kış (4,25) > Sonbahar (4,02) > Yaz (3,41)

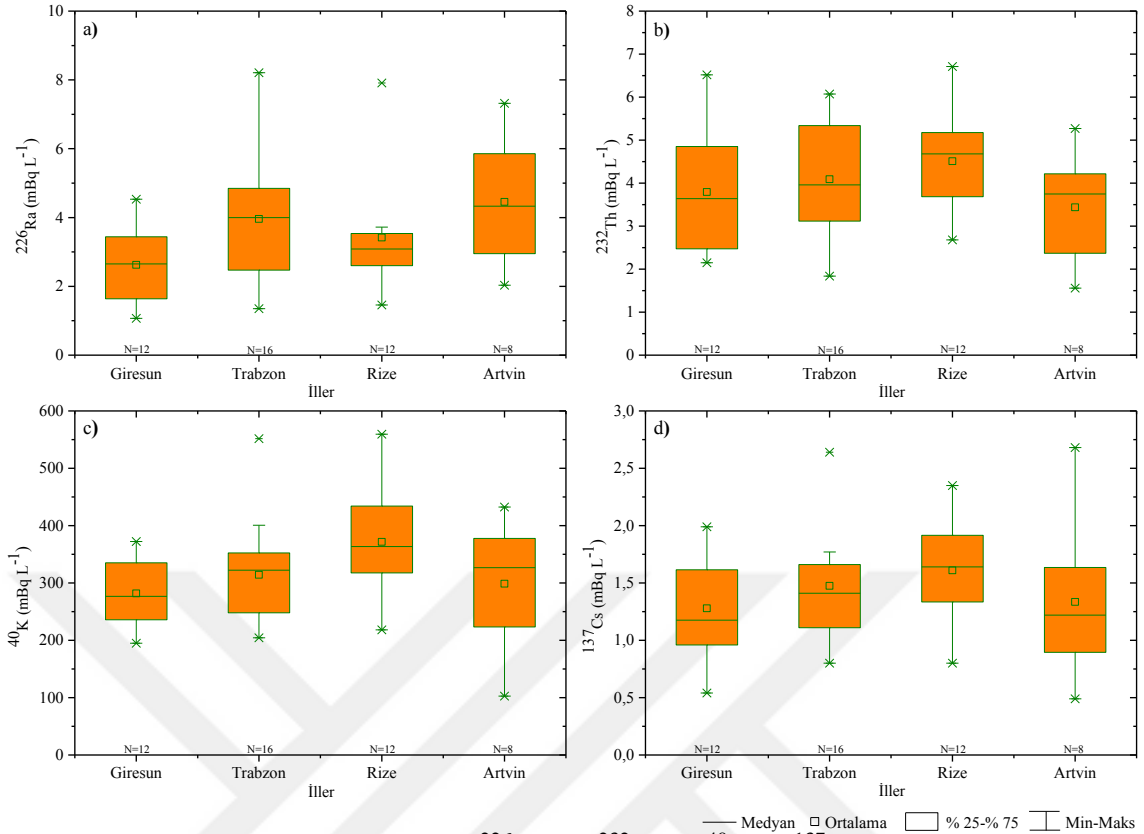
^{40}K (mBq L^{-1}) için; Yaz (331,84) > İlkbahar (326,45) > Sonbahar (317,57) > Kış (295,48)

^{137}Cs (mBq L^{-1}) için; Kış (1,51) > Yaz (1,49) > İlkbahar (1,43) > Sonbahar (1,32)

Deniz suyu örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyon değerleri Şekil 33'te ve istatistiksel özeti Şekil 34'te gösterilmektedir. Şekil 33'te illere göre değerlendirildiğinde en yüksek ^{226}Ra ortalama aktivite konsantrasyonu $4,45 \text{ mBq L}^{-1}$ olarak Artvin ilinde belirlenirken ve en yüksek ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $4,51$, $371,5$ ve $1,61 \text{ mBq L}^{-1}$ olarak Rize ilinde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 34'e göre ölçülen aktivite değerleri arasında en yüksek ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu $8,21 \text{ mBq L}^{-1}$ ile Trabzon ilinde belirlenirken, en yüksek ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla $6,71$ ve $559,4 \text{ mBq L}^{-1}$ olarak Rize ilinde ve en yüksek ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu $2,68 \text{ mBq L}^{-1}$ olarak Artvin ilinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 33. Deniz suyu örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları.



Şekil 34. Deniz suyu örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).

Tablo 56'da ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonları literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında ise ^{226}Ra 'nın ortalama aktiflik konsantrasyonu Mısır'da (El-Saharty, 2013) ölçülen konsantrasyondan daha yüksek olmasına rağmen Türkiye'de yapılan diğer çalışmalardaki (Karadeniz, Marmara Denizi) (Karahana vd., 2000) ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

^{232}Th 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonu Mısırdaki (El-Saharty, 2013) ölçülen konsantrasyondan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

^{40}K 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonu diğer çalışmalarda (Karahana vd., 2000; El-Saharty, 2013) ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonu Türkiye'de (Karadeniz ve Marmara Denizi) (Karahana vd., 2000), Japonya'da (Inoue vd., 2012) ve Ukrayna'da (Gulin vd., 2013) ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın

Ukrayna ve Japonya'da meydana gelen nükleer kazalara ve nükleer silah denemelerinden kaynaklandığı düşünülebilir.



Tablo 56. Deniz suyu örneklerinde radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Referans	Çalışma Alanı	²²⁶ Ra (mBq L ⁻¹)	²³² Th (mBq L ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq L ⁻¹)	¹³⁷ Cs (mBq L ⁻¹)
El-Saharty, 2013	Mısır, İskenderiye ve Rashid kıyıları	0,067-0,198 ^a	0,012-0,05	13,8-17,56	-
Inoue vd., 2012	Japonya, Japonya Denizi	-	-	-	0,93-3,39
Karahan vd., 2000	Türkiye, Marmara Denizi	26	-	5,65	8
Gulin vd., 2013	Ukrayna, Karadeniz	-	-	-	12,8-56,1
Karahan vd., 2000	Türkiye, Karadeniz	42	-	5,5	45
Bu Çalışma	Türkiye, Doğu Karadeniz Kıyısı	3,57 ^b (1,07-8,21)	4,01 ^b (1,56-6,71)	0,32 ^b (0,10-0,56)	1,44 ^b (0,49-2,68)

^a: ²³⁸U

^b: Ortalama değer

D ve H_{ex} değerlerinin maksimum değerlerin T1 ve R1 istasyonlarında, minimum değerlerin A1 istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Ra_{eq} ve YED değerlerinin maksimum değerlerin R1 istasyonunda, minimum değerlerin ise A1 istasyonunda olduğu tespit edilmiştir. Mevsimsel dağılışa baktığımız zaman ortalama D değerlerinin maksimum değeri Yaz ve İlkbahar mevsimlerinde, minimum değerlerin Sonbahar ve Kış mevsimlerinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama Ra_{eq} değerinin maksimum değeri İlkbahar mevsiminde, minimum değerinin Sonbahar ve Kış mevsiminde olduğu belirlenmiştir. Ortalama H_{ex} değerlerinin bütün mevsimlerde eşit çıktığı görülmüştür. Ortalama YED değerlerinin maksimum değerinin İlkbahar mevsiminde, minimum değerinin ise Yaz, Sonbahar ve Kış mevsimlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Doğal radyoizotoplar açısından sonuçlar değerlendirildiğinde deniz suyu için elde edilen değerler deniz akıntısı değişimi ve bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak literatürle uyumlu değerler elde edilmiştir.

Bu değerler göz önüne alınarak ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının halk sağlığı açısından herhangi bir risk taşımadığı gözlenmiştir.

4.6.2. Sediment Örnekleri

Sediment örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının mevsimsel dağılışı aşağıda verilmiştir.

^{226}Ra (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (14,86) > İlkbahar (13,61) > Yaz = Kış (11,06)

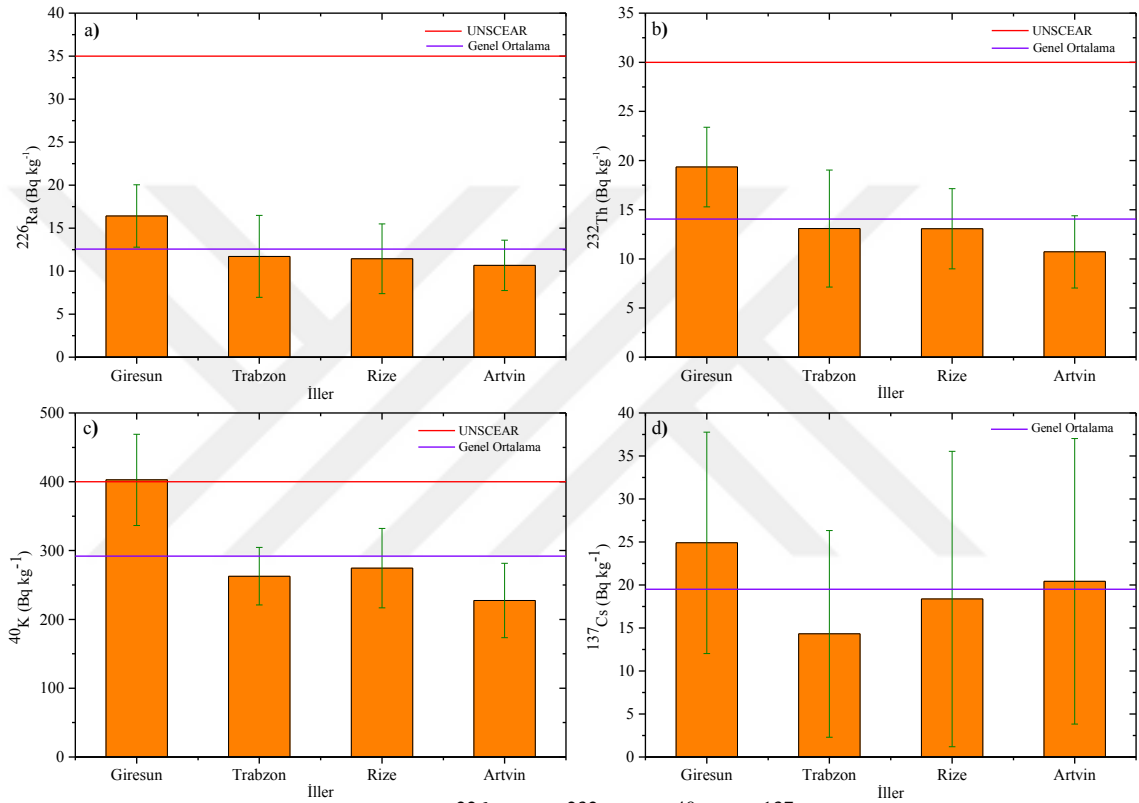
^{232}Th (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (17,42) > İlkbahar (14,51) > Yaz (12,85) > Kış (12,23)

^{40}K (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (341,45) > İlkbahar (293,31) > Kış (272,88) > Yaz (271,75)

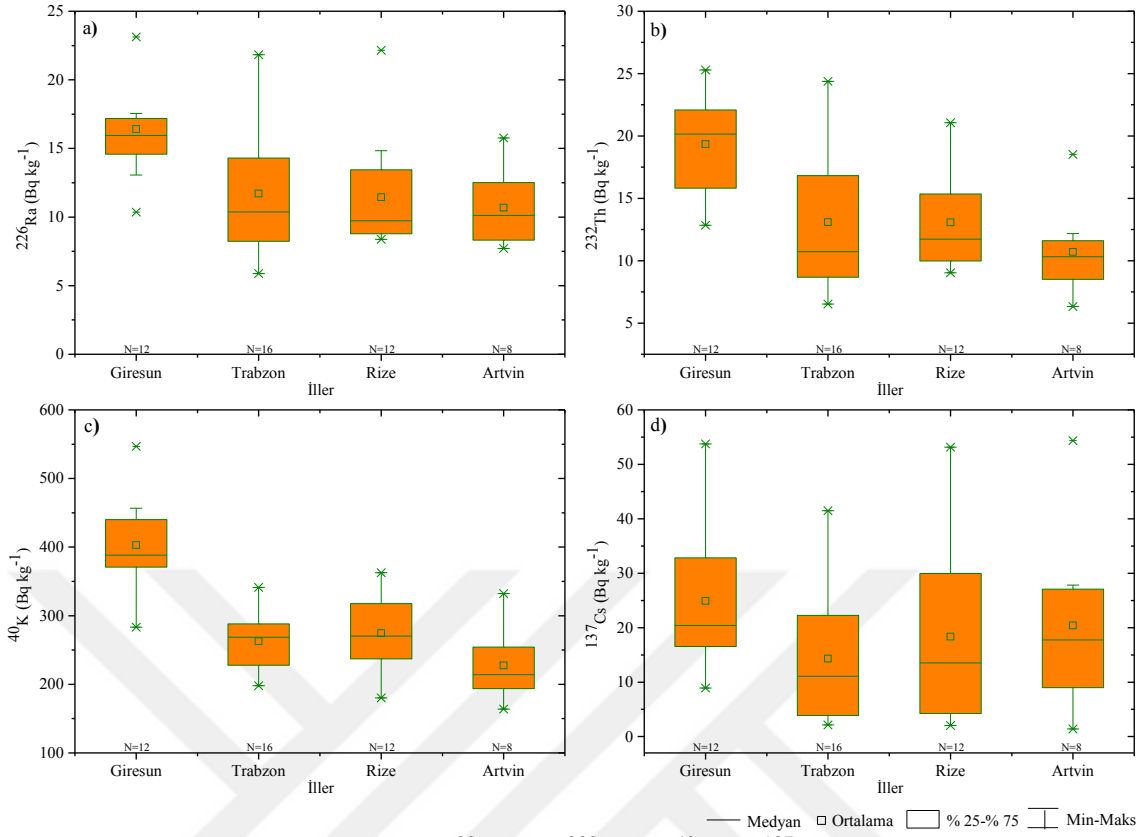
^{137}Cs (Bq kg^{-1}) için; İlkbahar (22,28) > Sonbahar (20,30) > Kış (19,07) > Yaz (14,33)

Sediment örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre konsantrasyon değerleri Şekil 35'te ve istatistiksel özeti Şekil 36'da gösterilmektedir. Şekil 35'te illere göre değerlendirildiğinde en yüksek ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktiflik konsantrasyonları sırasıyla 16,41, 19,34, 402,8 ve 24,90 Bq

kg^{-1} Giresun ilinde olduğu tespit edilmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için elde edilen ortalama konsantrasyonlarının UNSCEAR tarafından izin verilen ortalama değerlerden (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu görülmüştür. Şekil 36'a göre ölçülen aktivite değerleri arasında en yüksek ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonları sırasıyla 23,13, 25,29 ve $546,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak Giresun ilinde belirlenirken, en yüksek ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonu $54,35 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak Artvin ilinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 35. Sediment örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları.



Şekil 36. Sediment örneklerinde a) ²²⁶Ra b) ²³²Th c) ⁴⁰K d) ¹³⁷Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).

Tablo 57’de ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs’nin ortalama aktiflik konsantrasyonları literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında ise ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Türkiye’de (Ege Denizi, Haliç ve Boğaz) (Aközcan, 2012; Kılıç ve Çotuk, 2011) ölçülen konsantrasyonların maksimum değerinden daha yüksek olmasına rağmen Bulgaristan’da (Strezov vd., 1998), Türkiye’de (Karadeniz, Haliç, Fırtına Nehri) (Topçuoğlu vd., 2001; Topçuoğlu vd., 2003; Kılıç vd., 2014b; Küçükömeroğlu vd., 2008) ve Mısır’da (El Mamoney and Khater, 2004) ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

²³²Th aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Türkiye’de (Ege Denizi) (Aközcan, 2012) ölçülen konsantrasyonunun maksimum değerinden daha yüksek olmasına rağmen Bulgaristan’da (Strezov vd., 1998), Türkiye’de (Karadeniz, Fırtına Nehri, Haliç ve Boğaz) (Topçuoğlu vd., 2001; Topçuoğlu vd., 2003; Küçükömeroğlu vd., 2008; Kılıç ve Çotuk, 2011) ve Mısır’da (El Mamoney and Khater, 2004) ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

⁴⁰K aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Türkiye’de (Haliç) (Kılıç vd., 2014) llen konsantrasyonun maksimum değerinden daha yüksek olmasına rağmen diğer çalışmalarda ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

¹³⁷Cs aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Türkiye’de (Fırtına Nehri ve Haliç) (Küçükömeroğlu vd., 2008; Kılıç vd., 2014b) ve Yunanistan’da (Papaefthymiou vd., 2007) llen konsantrasyonların maksimum değerlerinden daha yüksek olmasına rağmen diğer çalışmalarda ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu fark denizdeki akıntıdan dolayı sediment taşınımına dayandırılabilir. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K’in ortalama aktiflik konsantrasyonların uluslararası değerlerden (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu grlmştir.

Tablo 57. Sediment örneklerinde radyoaktivite konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Referans	Çalışma Alanı	²²⁶ Ra (Bq kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)
El Mamoney ve Khater, 2004	Mısır, Kızıldeniz	5,3-105,6	2,3-221,9	97,6-1011	-
Papaefthymiou vd., 2007	Yunanistan, Patras Limanı	-	-	-	1,9-11,5
Aközcan, 2012	Türkiye, Ege Denizi	9-12	6-16	250-665	-
Kılıç ve Çotuk, 2011	Türkiye, Haliç ve Boğaz	10,97-20,16 ^a	13,97-27,25	341,4-683,0	8,58-67,92
Kılıç vd., 2014b	Türkiye, Haliç	21,1-27,7	-	395-500	11,1-45,4
Küçükömeroğlu vd., 2008	Türkiye, Fırtına Nehri	15,20-116,55	17,26-87,45	51,41-1605,26	0,87-41,72
Strezov vd., 1998	Bulgaristan, Karadeniz Kıyısı	10-77 ^a	5-110	11-760	4-106
Topçuoğlu vd., 2001	Türkiye, Karadeniz	<13-56 ^a	17-37	301-833	11-138
Topçuoğlu vd., 2003	Türkiye, Rize, Karadeniz Kıyısı	543 ^a	363	2783	159
Bu Çalışma	Türkiye, Doğu Karadeniz Kıyısı	12,65 ^b (5,89-23,13)	14,25 ^b (6,32-25,29)	294,85 ^b (163,84-546,92)	19,00 ^b (1,40-54,35)
UNSCEAR, 2000	-	35 (17-110)	30 (11-64)	400 (140-850)	-

^a: ²³⁸U^b: Ortalama değer

D ve YED değerlerinin maksimum değerlerin G1 istasyonunda, minimum değerlerin A2 istasyonunda olduğu belirlenmiştir. R_{eq} değerlerinin maksimum değerlerin G3 istasyonunda, minimum değerlerin A2 istasyonunda olduğu tespit edilmiştir. H_{ex} değerlerinin maksimum değerlerin G1 ve G3 istasyonlarında, minimum değerlerin ise T1 ve A2 istasyonlarında olduğu belirlenmiştir. Mevsimsel dağılışa baktığımız zaman ortalama D, R_{eq} , H_{ex} ve YED değerlerinin maksimum değerlerin Sonbahar mevsiminde, minimum değerlerinin ise Kış mevsimlerinde olduğu belirlenmiştir. Organik madde miktarı değerlerinin maksimum değerlerin G1 istasyonunda, minimum değerlerinin T1 istasyonunda olduğu görülmüştür.

Mevsimsel dağılışa baktığımız zaman ortalama organik madde miktarı değerlerinin maksimum değerlerin Kış mevsiminde, minimum değerlerin ise Yaz mevsiminde olduğu belirlenmiştir. D, R_{eq} ve YED için elde edilen ortalama değerler (D için $26,75 \text{ nGy saat}^{-1}$, R_{eq} için $55,74 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve YED için $32,80 \text{ } \mu\text{Sv yıl}^{-1}$) uluslararası ortalama değerler (D için 55 nGy saat^{-1} , R_{eq} için 370 Bq kg^{-1} ve YED için $460 \text{ } \mu\text{Sv yıl}^{-1}$) (UNSCEAR 1988, 1993) ile kıyaslandığında elde edilen değerlerin uluslararası ortalama değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Sediment örneklerinde kanserojen risk değerleri Giresun için $0,17 \times 10^{-3}$, Trabzon ve Rize için $0,12 \times 10^{-3}$ ve Artvin için $0,10 \times 10^{-3}$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler tavsiye edilen Dünya ortalaması değerinden ($0,29 \times 10^{-3}$) (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Sediment örnekleri için elde edilen ^{137}Cs radyoaktiflik konsantrasyonlarının deniz suyu ve Akdeniz midyesi örneklerindeki değerlerden daha yüksek olduğunu görülmektedir. Bu durum radyonüklidlerin dip sedimentleri tarafından absorbe edilebileceği ve yavaş yavaş yüzeye yerleştiği gerçeğine dayandırılabilir (Baltas vd., 2016).

Bu değerler göz önüne alındığı zaman ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının halk sağlığı açısından herhangi bir risk taşımadığı gözlenmiştir.

4.6.3. Akdeniz Midyesi Yumuşak Doku Örnekleri

Akdeniz Midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının mevsimsel dağılışı aşağıda verilmiştir.

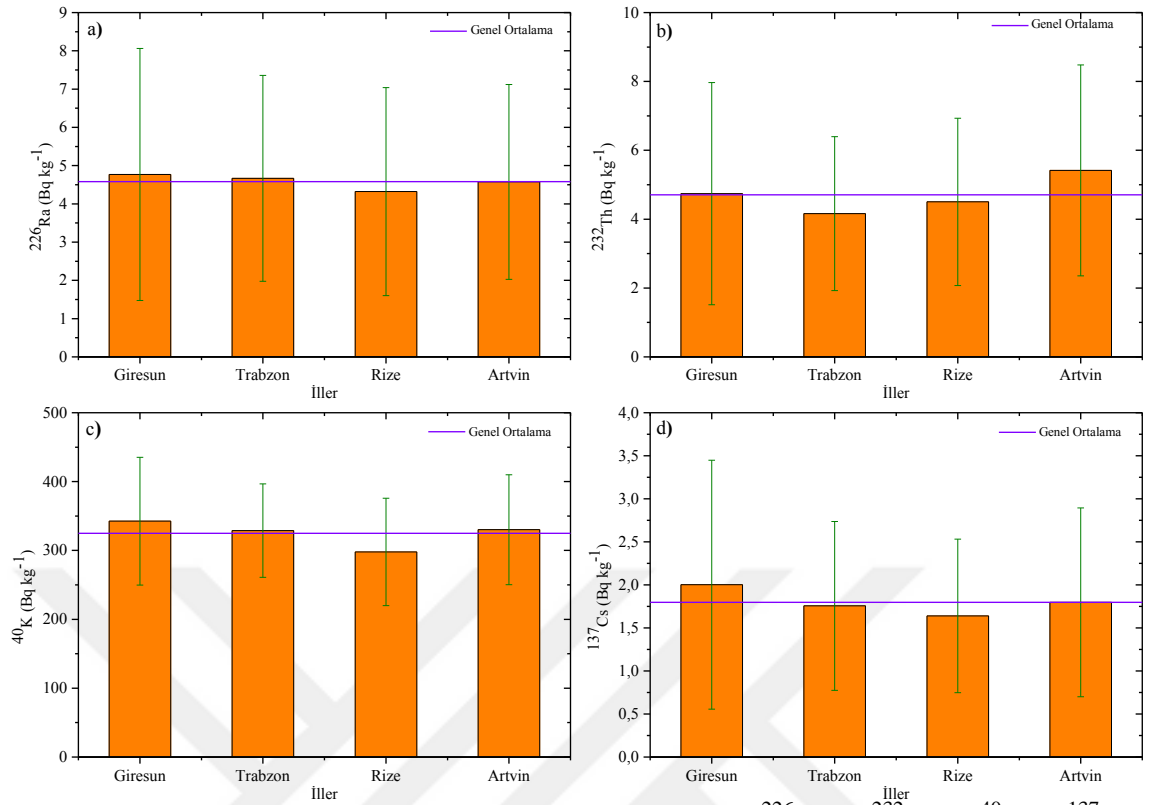
^{226}Ra (Bq kg^{-1}) için; Yaz (5,12) > İlkbahar (4,96) > Sonbahar (4,41) > Kış (3,60)

^{232}Th (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (5,20) > Kış (4,63) > İlkbahar (4,59) > Yaz (4,00)

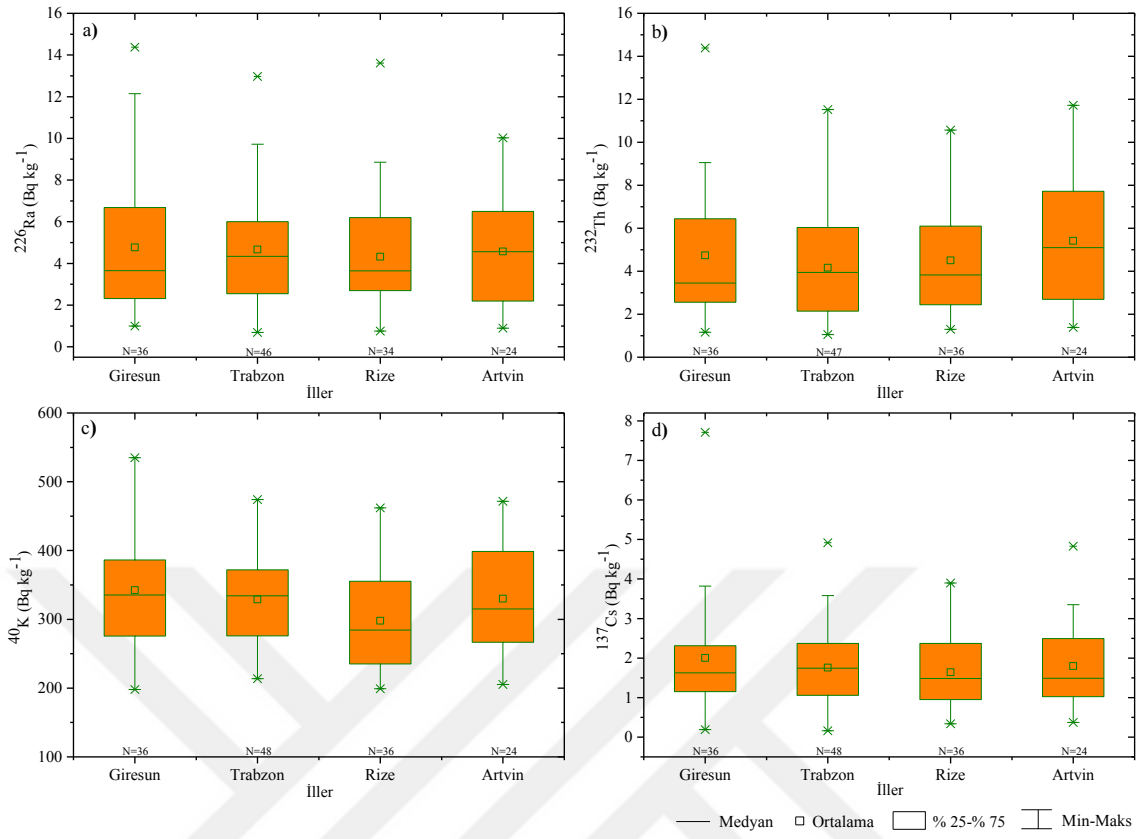
^{40}K (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (402,84) > Kış (347,62) > İlkbahar (312,64) > Yaz (235,93)

^{137}Cs (Bq kg^{-1}) için; Sonbahar (2,04) > İlkbahar (1,93) > Kış (1,75) > Yaz (1,46)

Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyon değerleri Şekil 37'de ve istatistiksel özeti Şekil 38'te gösterilmektedir. Şekil 37'de illere göre değerlendirildiğinde en yüksek ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktiflik konsantrasyonları sırasıyla 4,77, 342,5 ve 2,00 Bq kg^{-1} olarak Giresun ilinde belirlenirken, en yüksek ^{232}Th ortalama aktiflik konsantrasyonu 5,42 Bq kg^{-1} olarak Artvin ilinde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 38'e göre ölçülen aktivite değerleri arasında en yüksek ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları sırasıyla 14,37, 14,39, 535,1 ve 7,71 Bq kg^{-1} olarak Giresun ilinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 37. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerinin illere göre ortalama konsantrasyonları.



Şekil 38. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ²²⁶Ra b) ²³²Th c) ⁴⁰K d) ¹³⁷Cs radyoaktif çekirdeklerin illere göre konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, illerdeki örnekleme sayısını göstermektedir).

Tablo 58’de ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs’nin ortalama aktiflik konsantrasyonları literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında ise ²²⁶Ra aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Suriye’de (Al-Masri vd., 2004) ve Türkiye’de (Haliç ve Boğaziçi, Türkiye’nin bütün sahilleri) (Kılıç ve Çoltuk, 2014; Kılıç vd., 2014a; Kılıç vd., 2014b) ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olmasına rağmen Türkiye’de (Karadeniz) (Topçuoğlu vd., 2003) ölçülen konsantrasyondan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

²³²Th aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri diğer çalışmalarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

⁴⁰K aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri Türkiye’de (Karadeniz, Haliç ve Boğaziçi) (Topçuoğlu vd., 2003; Kılıç ve Çotuk, 2011; Kılıç vd., 2014b) ölçülen maksimum konsantrasyonlardan ve Suriye’de (Al-Masri vd., 2004) ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olmasına rağmen Türkiye’de (Türkiye’nin bütün

sahilleri) (Kılıç vd., 2014a) ölçülen maksimum konsantrasyondan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

¹³⁷Cs aktiflik konsantrasyonunun maksimum değeri ise diğer çalışmalarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu fark Çernobil nükleer kazası sonucu oluşan radyoaktif kirliliğin birikimine dayandırılabilir. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ¹³⁷Cs'nin ortalama aktiflik konsantrasyonuna bakıldığı zaman büyük boydan küçük boya doğru bir azalma olduğu gözlenmiştir (Şekil 39). Bu sonuç büyük boy Akdeniz midyesi örneklerinin küçük boy Akdeniz midyesi örneklerine göre yaş farkından dolayı dokularında daha fazla radyoaktivite biriktirdiğini göstermiştir. Böylece, örneklerin radyoaktiviye maruz kalma süresi ve radyonüklidlerin şiddetine dayandırılabilir.

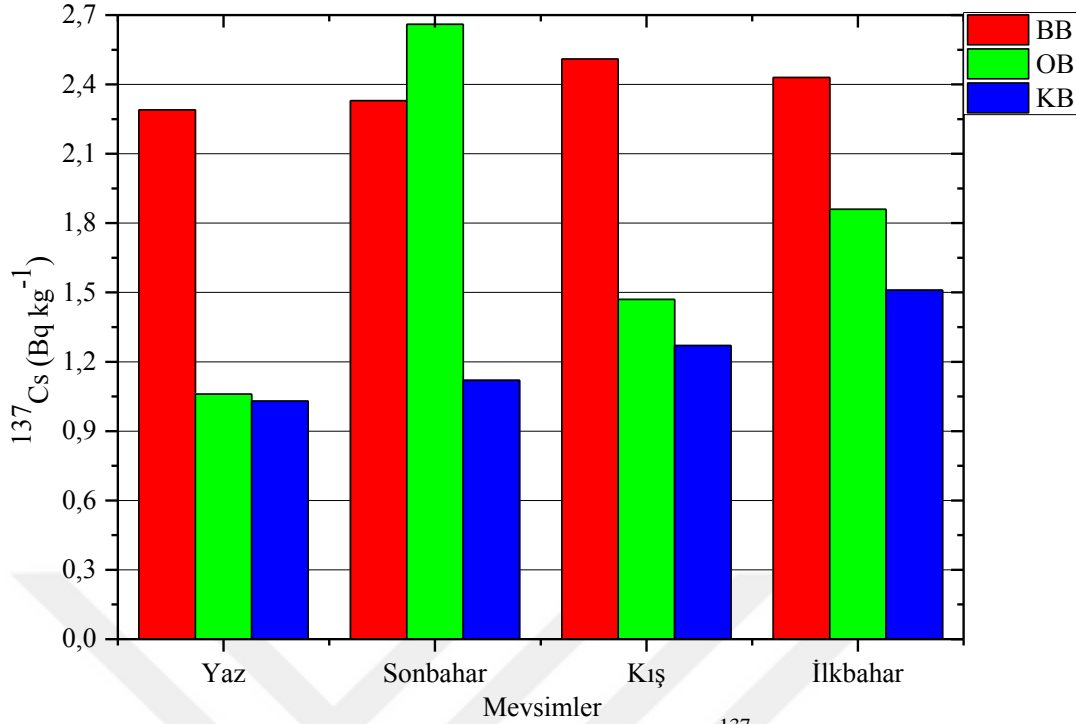
Tablo 58. Akdeniz Midyesi yumuşak doku örneklerinde radyoaktiflik konsantrasyon değerlerinin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Referans	Çalışma Alanı	Midye Türü	²²⁶ Ra (Bq kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)
Al-Masri vd., 2004	Suriye, Fırat Nehri	Anodonta sp.	4,0-6,9 ^a	-	<4-81	-
Catsiki ve Florou, 2006	Yunanistan, Thermaikos Körfezi	Mytilus galloprovincialis	-	-	-	0,3-1,9
Kılıç vd., 2014a	Türkiye'nin bütün sahilleri	Mytilus galloprovincialis	<MDA-1,26	<MDA-2,14	391-593	<MDA-1,37
Kılıç ve Çotuk, 2011	Türkiye, Haliç ve Boğaziçi	Mytilus galloprovincialis	0,40-1,38	0,49-3,58	261,1-496,7	0,86-2,43
Kılıç vd., 2014b	Türkiye, Haliç	Mytilus galloprovincialis	1,55-4,91	-	340,3-445,7	0,77-1,35
Thebault vd., 2008	Akdeniz ve Karadeniz	Mytilus galloprovincialis	-	-	-	0,01-1,5
Topçu vd., 2003	Türkiye, Pazar, Karadeniz Kıyısı	Mytilus galloprovincialis	336 ^a	<7	<170	<3
Topçu vd., 2003	Türkiye, Rize, Karadeniz Kıyısı	Mytilus galloprovincialis	240 ^a	<7	<170	<3
Bu çalışma	Türkiye, Doğu Karadeniz Kıyısı	Mytilus galloprovincialis	4,52 ^b (0,69-14,37)	4,60 ^b (1,05-14,39)	324,76 ^b (197,87-535,05)	1,80 ^b (0,16-7,71)

^a: ²³⁸U

^b: Ortalama değer

MDA: Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite



Şekil 39. Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs ortalama aktiflik konsantrasyonunun mevsimlerde boya göre değişimi (BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy).

Midyeler sedimentte bulunan organizmalarla beslendiği için sedimentlerde bulunan radyoaktiviteye maruz kalmaktadır. Özellikle bu etki nehir ağzı ve kıyı sularında yaşayan bentik organizmalarda görülmektedir. Böylece, bu deniz canlıları insanlar tarafından doğrudan besin olarak tüketilmektedir. Tüketime bağlı olarak insanların maruz kaldığı bu etkileşme denizi çevreleyen sanayi atıklarının ve nükleer silah testlerinin radyolojik etkisini gösterebilir (Baltas vd., 2016). T1 istasyonunun referans nokta olması göz önüne alınırsa sediment örneklerinde T1 istasyonunda diğer istasyonlara göre düşük konsantrasyon değerleri gözlenmesine rağmen Akdeniz midyesi yumuşak doku ve deniz suyu örneklerinde düşük konsantrasyon değerleri gözlenmemiştir. Bunun sebebi akıntıdan dolayı Akdeniz midyesi ve deniz suyu hareketliliğine dayandırılabilir. Bu yüzden deniz kirliliği araştırmalarında genellikle sediment denizel çevreye giren doğal ve yapay radyonüklidlerin ana biriktiricisidir (Kılıç ve Çotuk 2011; Kılıç vd., 2014b).

^{40}K çok uzun yarı ömürlü doğal bir radyonükliddir ve K elementinin radyoaktif izotopudur. İnsan sağlığı açısından bakıldığında, deniz ürünlerinde her zaman mevcut olan ^{40}K gibi doğal radyonüklid düzeylerini değerlendirmek önemlidir. ^{40}K deniz

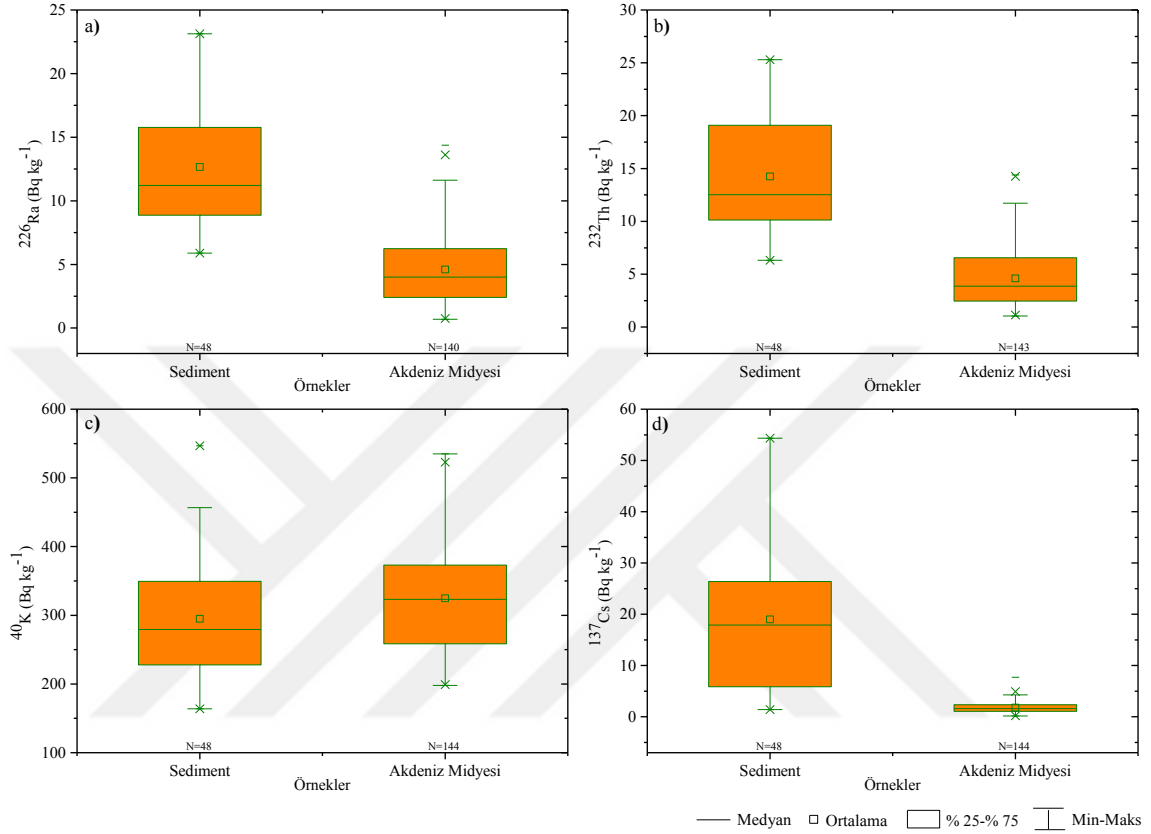
canlılarında baskın bir radyoaktif doz katkılayıcısı olarak değerlendirilmesi önemlidir. Aynı zamanda bu radyonüklid kimyasal özellikleri bakımından Cs'ye benzerliğinden dolayı dikkat çekmektedir. Genellikle, uzun yarı ömürlü radyonüklidlere maruz kalan gıda ve suların tüketimi iç radyasyona neden olur. ^{40}K radyonüklidi bu nedenle önemli bir radyasyon geçmişine sahiptir ve uzun süreli ışınlama ve maruz kalma ile insan sağlığı için olumsuz sonuçları vardır (Baltas vd., 2016). Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde yaz mevsimi için elde edilen ^{40}K aktiflik konsantrasyonları diğer mevsimlerde elde edilen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin midye yumuşak dokusundaki ^{40}K radyonüklidinin mevsimsel değişim göstermesi çevresel faktörlerden ziyade metabolizmanın sıcak mevsimde K ihtiyacının azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Kılıç, 2010). Bu çalışmada elde edilen ^{40}K konsantrasyon değerlerinin literatürde yapılan benzer çalışmalardaki sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Çevresel doğal radyoaktivite (U ve Th serileri, K) öncelikle Dünyada her bir bölgenin toprak ve sediment oluşumunun jeolojik koşullarına bağlıdır (Dugalic vd., 2010). Toryum deniz suyunda neredeyse tamamen çözünmezken, uranyum deniz suyunda oldukça çözündür. Bu radyonüklidler deniz suyunda çözünerek, deniz suyunda asılı kalan planktonlara, deniz dibindeki sedimentlere ve kirlenmiş deniz organizmalarına yapışarak deniz çevresine transfer edilebilir (Khandaker vd., 2015). Bunlara bağlı olarak bu çalışmada elde edilen ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyon değerlerinin literatürde yapılan benzer çalışmalardaki sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

D ve YED değerlerinin maksimum değerlerin G1 istasyonunda, minimum değerlerin R1 istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Ra_{eq} değerlerinin maksimum değer G1 istasyonunda, minimum değer R3 istasyonunda olduğu tespit edilmiştir. H_{ex} değerlerinin maksimum değer G1 istasyonunda, minimum değer G1, T4, R1, R3 ve A1 istasyonlarında olduğu gözlenmiştir. Mevsimsel dağılışa baktığımız zaman ortalama D, Ra_{eq} , H_{ex} ve YED değerlerinin maksimum değerlerinin Sonbahar mevsiminde, minimum değerlerin Yaz mevsiminde olduğu belirlenmiştir.

Sediment ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonlarının istatistiksel özeti Şekil 40'da

gösterilmiştir. Elde edilen istatistiksel grafikler örneklere göre değerlendirildiğinde en yüksek ^{226}Ra ^{232}Th ^{40}K ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarının sediment örneklerinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 40. Sediment ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde a) ^{226}Ra b) ^{232}Th c) ^{40}K d) ^{137}Cs radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (N, toplam örnekleme sayısını göstermektedir).

Akdeniz midyesinin yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin midye boyuna göre günlük alımı, yıllık alınan etkin doz ve kanserojen risk değerleri Tablo 59-61'de gösterilmiştir. Radyonüklidlerin günlük alımının ortalama değerlerinin aralıkları ^{226}Ra için 0,07-0,11 Bq gün⁻¹, ^{232}Th için 0,05-0,14 Bq gün⁻¹, ^{40}K için 5,57-7,13 Bq gün⁻¹ ve ^{137}Cs için 0,02-0,05 Bq gün⁻¹'dir.

^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin alımı sonucu ortalama yıllık etkin doz değerleri sırasıyla 8,90±1,33, 7,48±2,92, 13,93±1,01, 0,16±0,05 ve 30,47±5,69 µSv yıl⁻¹ olarak elde edilmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin alımı sonucu yıllık etkin doz değerlerinin Dünya ortalamaları sırasıyla 120, 120 ve 170 µSv yıl⁻¹'dir (UNSCEAR, 2000). Tahmin edilen yıllık etkin doz değerlerinin Dünya ortalaması

değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Tahmin edilen toplam yıllık alınan etkin doz değerleri $24,77 \pm 5,12 - 39,71 \pm 6,81 \mu\text{Sv yıl}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Tahmin edilen toplam yıllık alınan etkin doz değerlerinin Dünya ortalaması değerinden ($290 \mu\text{Sv yıl}^{-1}$) (UNSCEAR, 2000) daha düşük olduğu görülmüştür. Kanserojen risk değerlerinin de kabul edilen limit değerinden (10^{-3}) (Khandaker vd., 2015) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu değerler göz önüne alınarak ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonları genel olarak benzer çalışmalarda ölçülen değerlere sediment örneklerinde ölçülen değerlerinden çok düşük çıkması bağlı olarak halk sağlığı açısından herhangi bir risk taşımadığı gözlenmiştir.

Tablo 59. Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin günlük alımı (Bq gün^{-1}) ($\pm\text{SS}$).

İstasyon	Midye Boyu	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Giresun (3)	BB	$0,11 \pm 0,06$	$0,14 \pm 0,02$	$7,13 \pm 0,09$	$0,05 \pm 0,00$
	OB	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$6,28 \pm 0,16$	$0,04 \pm 0,02$
	KB	$0,09 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$6,04 \pm 0,77$	$0,02 \pm 0,01$
Trabzon (4)	BB	$0,09 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,01$	$6,25 \pm 0,22$	$0,04 \pm 0,00$
	OB	$0,07 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$6,25 \pm 0,08$	$0,03 \pm 0,01$
	KB	$0,11 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$	$6,19 \pm 0,42$	$0,03 \pm 0,00$
Rize (3)	BB	$0,10 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,00$	$5,80 \pm 0,43$	$0,04 \pm 0,01$
	OB	$0,07 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,00$	$5,57 \pm 0,86$	$0,03 \pm 0,01$
	KB	$0,08 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$5,58 \pm 0,43$	$0,02 \pm 0,01$
Artvin (2)	BB	$0,08 \pm 0,00$	$0,15 \pm 0,01$	$6,75 \pm 0,15$	$0,04 \pm 0,00$
	OB	$0,09 \pm 0,00$	$0,07 \pm 0,02$	$6,03 \pm 0,24$	$0,04 \pm 0,01$
	KB	$0,09 \pm 0,00$	$0,09 \pm 0,05$	$6,02 \pm 0,30$	$0,02 \pm 0,01$
Ortalama		$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,03$	$6,16 \pm 0,45$	$0,03 \pm 0,02$

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy
SS: Standart Sapma

Tablo 60. Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin yıllık alınan etkin doz değerleri ve toplam yıllık alınan etkin doz değerleri ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$) ($\pm\text{SS}$).

İstasyon	Midye Boyu	Yıllık Alınan Etkin Doz YAED ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$)				YAED _T ($\mu\text{Sv yıl}^{-1}$)
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	
Giresun (3)	BB	11,13 \pm 6,45	12,13 \pm 1,64	16,19 \pm 0,19	0,26 \pm 0,02	39,71 \pm 6,81
	OB	7,40 \pm 2,34	5,99 \pm 1,91	14,22 \pm 0,37	0,17 \pm 0,08	27,78 \pm 5,77
	KB	9,18 \pm 1,05	4,51 \pm 0,54	13,67 \pm 1,75	0,11 \pm 0,06	27,47 \pm 5,86
Trabzon (4)	BB	9,04 \pm 2,52	9,14 \pm 1,25	14,16 \pm 0,49	0,19 \pm 0,01	32,53 \pm 5,81
	OB	7,50 \pm 1,45	5,46 \pm 0,58	14,15 \pm 0,19	0,15 \pm 0,03	27,26 \pm 5,79
	KB	10,81 \pm 1,72	5,14 \pm 1,16	14,02 \pm 0,95	0,13 \pm 0,02	30,10 \pm 6,15
Rize (3)	BB	9,95 \pm 4,16	10,68 \pm 0,29	13,11 \pm 0,91	0,20 \pm 0,04	33,94 \pm 5,69
	OB	6,67 \pm 0,80	5,36 \pm 0,30	12,60 \pm 1,94	0,14 \pm 0,04	24,77 \pm 5,12
	KB	8,58 \pm 2,54	5,46 \pm 1,36	12,62 \pm 0,97	0,11 \pm 0,04	26,77 \pm 5,28
Artvin (2)	BB	8,48 \pm 0,21	12,72 \pm 0,53	15,19 \pm 0,35	0,22 \pm 0,03	36,61 \pm 6,57
	OB	8,76 \pm 0,46	5,96 \pm 1,40	13,65 \pm 0,54	0,18 \pm 0,07	28,55 \pm 5,62
	KB	9,34 \pm 0,10	7,18 \pm 3,88	13,63 \pm 0,67	0,08 \pm 0,03	30,23 \pm 5,66
Ortalama		8,90 \pm 1,33	7,48 \pm 2,92	13,93 \pm 1,01	0,16 \pm 0,05	30,47 \pm 5,69

BB: Büyük Boy, OB: Orta Boy, KB: Küçük Boy
SS: Standart Sapma

Tablo 61. Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin kanserojen risk değerleri.

İstasyon	Midye Boyu	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Giresun (3)	BB	$2,96 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$12,0 \times 10^{-5}$	$1,43 \times 10^{-9}$
	OB	$1,97 \times 10^{-5}$	$0,50 \times 10^{-5}$	$10,5 \times 10^{-5}$	$0,96 \times 10^{-9}$
	KB	$2,44 \times 10^{-5}$	$0,37 \times 10^{-5}$	$10,1 \times 10^{-5}$	$0,60 \times 10^{-9}$
Trabzon (4)	BB	$2,41 \times 10^{-5}$	$0,76 \times 10^{-5}$	$10,5 \times 10^{-5}$	$1,07 \times 10^{-9}$
	OB	$2,00 \times 10^{-5}$	$0,45 \times 10^{-5}$	$10,5 \times 10^{-5}$	$0,84 \times 10^{-9}$
	KB	$2,88 \times 10^{-5}$	$0,43 \times 10^{-5}$	$10,4 \times 10^{-5}$	$0,72 \times 10^{-9}$
Rize (3)	BB	$2,65 \times 10^{-5}$	$0,89 \times 10^{-5}$	$9,7 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-9}$
	OB	$1,78 \times 10^{-5}$	$0,44 \times 10^{-5}$	$9,3 \times 10^{-5}$	$0,78 \times 10^{-9}$
	KB	$2,28 \times 10^{-5}$	$0,45 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-5}$	$0,59 \times 10^{-9}$
Artvin (2)	BB	$2,26 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-5}$	$11,3 \times 10^{-5}$	$1,24 \times 10^{-9}$
	OB	$2,33 \times 10^{-5}$	$0,50 \times 10^{-5}$	$10,1 \times 10^{-5}$	$0,99 \times 10^{-9}$
	KB	$2,49 \times 10^{-5}$	$0,60 \times 10^{-5}$	$10,1 \times 10^{-5}$	$0,47 \times 10^{-9}$
Ortalama		$2,37 \times 10^{-5}$	$0,62 \times 10^{-5}$	$10,3 \times 10^{-5}$	$0,90 \times 10^{-9}$

Sonuç olarak:

- Sediment örnekleri için elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonları deniz suyu ve Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Deniz suyu ve sediment örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarında mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).
- Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktiflik konsantrasyonlarında mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli

bulunmazken ($p>0,05$), ^{40}K ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonlarında mevsimler arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

- Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{232}Th ve ^{137}Cs aktiflik konsantrasyon değerlerine göre midye büyüklükleri arasında istatistiksel açıdan fark olmasına rağmen ($p<0,05$), ^{226}Ra ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonlarına göre büyüklükler arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir ($p>0,05$).
- Akdeniz midyesi yumuşak doku örneklerinde ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonuna bakıldığında zaman büyük boydan küçük boya doğru bir azalma olduğu gözlenmiştir.
- Akdeniz midyesi yumuşak doku örnekleri ve sediment örnekleri için elde edilen kanserojen risk değerleri izin verilen Dünya ortalaması değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Deniz suyu örneklerinde tuzluluk ile ^{40}K arasında yüksek bir ilişki olduğu gözlenmiştir.
- Sediment örneklerinde organik madde miktarı ile ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri arasında kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir.
- Bütün örnekler için ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktiflik konsantrasyonlarının halk sağlığı açısından her hangi bir risk taşımadığı gözlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Doğu Karadeniz kıyısal alanında yapılan bu tür çalışmanın yine aynı şekilde Türkiye'nin diğer deniz kıyısı alanlarında da tekrarlanması durumunda ülkenin denizel ortamdaki radyoaktif kirliliğinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'nin bütün sahil kıyı şeridi boyunca denizel ortamdaki doğal ve yapay radyonüklidlerin aktivitelerinin belirlenmesi durumunda ileride doğabilecek herhangi bir nükleer kazası durumunda radyasyon takibi açısından ve insan sağlığına yönelik radyolojik risklerin değerlendirilmesi bakımından çok faydalı olacaktır.

Türkiye'nin kıyısı olan diğer denizler için de ^{137}Cs aktiflik konsantrasyonunun belirlenmesi durumunda Karadeniz'e doğru Çernobilden kaynaklanan ^{137}Cs radyoaktif kirlilik değişiminin incelenmesi ve bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması anlamlı olacaktır.

İnsan sağlığının korunması açısından radyolojik risk tahminine yönelik bilgi vermesi ve hem günümüzde hem de gelecekte radyoaktif kirliliğinin değerlendirilmesi açısından bu tür çalışmaların belirli periyotlarla tekrarlanması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Agirbas, E., Feyzioglu, A.M. and Kopuz, U., 2014.** Seasonal Changes of Phytoplankton Chlorophyll a, Primary Production and their Relation in the Continental Shelf Area of the South Eastern Black Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 14, 713-726. DOI: 10.4194/1303-2712-v14_3_14
- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, İ., Bakan, G. and Büyükgüngör, H., 2011.** Multivariate Statistical Techniques for the Assessment of Surface Water Quality at the Mid-Black Sea Coast of Turkey. Water, Air and Soil Pollution, 216, 21-37. DOI: 10.1007/s11270-010-0511-0
- Aközcan, S., 2012.** Distribution of natural radionuclide concentrations in sediment samples in Didim and Izmir Bay (Aegean Sea-Turkey). Journal of Environmental Radioactivity, 112, 60-63. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.03.016
- Alkılıç, B. 2010.** Zeytin Karasuyunun Küçükkuşu Kıyılarındaki (Çanakkale) Etkileri ve Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819), Deniz Salyangozu (*Monodonta turbinata*, Born, 1780) ve Japon Şemsiyesi (*Patella caerulea*, Linne, 1758) Üzerindeki Toksik Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye, 69 s., 3.
- Al-Masri, M.S., Byrakdar, M.E., Mamish, S. and Al-Haleem, M.A., 2004.** Determination of natural radioactivity in Euphrates river. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 261(2), 349-355.
- Andersen, M., Gwynn, J.P., Dowdall, M., Kovacs, K.M. and Lydersen, C., 2006.** Radiocaesium (^{137}Cs) in marine mammals from Svalbard, the Barents Sea and the North Greenland Sea. Science of The Total Environment, 363, 87-94. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.06.019
- Baltaş, H., 2006.** YBaCuO ve BiPbSrCaCuO Süperiletkenlerinin Soğurma Katsayılarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 104 s., 8, 9, 10, 13, 14.
- Baltas, H., Kiris, E., Dalgic, G. and Cevik, U., 2016.** Distribution of ^{137}Cs in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in Eastern Black Sea Coast of Turkey. Marine Pollution Bulletin, Article in Press, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.032
- Barsanti, M., Conte, F., Delbono, I., Lurlaro, G., Battisti, P., Bortoluzzi, S., Lorenzelli, R., Salvi, S., Zicari, S., Rapucci, C. and Delfanti, R., 2012.** Environmental Radioactivity Analyses in Italy Following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Accident. Journal of Environmental Radioactivity, 114, 126-130. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2011.12.020
- Baysal, A. and Tunçer, S., 1994.** Radioactivity levels in fish, shellfish, algae and seagrass collected from the Eastern Black Sea Coast of Turkey, 1992.

Toxicological and Environmental Chemistry, 42, 149-153. DOI: 10.1080/02772249409357998

- Beretka, J. and Mathew, P.J., 1985.** Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*, 48(1), 87-95.
- Besada, V., Andrade, J.M., Schutze, F. and Gonzalez, J.J., 2011.** Comparison of the 2000 and 2005 spatial distributions of heavy metals in wild mussels from the North-Atlantic Spanish coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, 373-381. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.10.002
- Buesseler, K.O. and Livingston, H.D., 1996.** Natural and man-made radionuclides in the Black Sea. In: *Radionuclides in the Oceans, Inputs and Inventories*, edited by P. Guegueniat et al., Les Ed. de Phys., Cherbourg, France, 199-217.
- Buesseler, K.O. and Livingston, H.D., 1997.** Time-series profiles of ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Black Sea. In: *Sensitivity of North Sea, Baltic Sea and Black Sea to Anthropogenic and Climatic Changes*, NATO ARW, edited by E. Ozsoy and A. Mikaelyan, Kluwer Acad., Norwell, Mass., 239-251.
- Catsiki, V.A. and Florou, H., 2006.** Study on the behavior of the heavy metals Cu, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn and ^{137}Cs in an estuarine ecosystem using *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator species: the case of Thermaikos Gulf, Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 86, 31-44. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2005.07.005
- Cevik, U., Damla, N., Kobya, A.I., Bulut, V.N., Duran, C., Dalgic, G. and Bozacı, R., 2008.** Assesment of metal element concentrations in mussel (*M. galloprovincialis*) in Eastern Black Sea, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 396-401. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.010
- Cevik, U., Baltas, H., Tabak, A. and Damla, N., 2010.** Radiological and chemical assessment of phosphate rocks in some countries. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 531-535. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.064
- Currie, L.A., 1968.** Limits for qualitative detection and quantitative determination", *Analytical Chemistry*, 40, 586-593.
- Damla, N., 2009.** Türkiye'deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 125 s., 6, 7, 43.
- Dugalic, G., Krstic, D., Jelic, M., Nikezic, D., Milenkovic, B., Pucarevic, M. and Zeremski-Skoric, T., 2010.** Heavy metals, organics and radioactivity in soil of western Serbia, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 697-702. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.087

- Egorov, V.N., Povinec, P.P., Polikarpov, G.G., Stokozov, N.A., Gulin, S.B., Kulebakina, L.G. and Osvath, I., 1999.** ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications. *Journal of Environmental Radioactivity*, 43, 137-155. DOI: 10.1016/S0265-931X(98)00088-5
- Egorov, V. N., Gulin, S. B., Mirzoyeva, N. Yu., Polikarpov, G. G., Stokozov, N.A., Laptev, G.V., vd., 2008.** The state of radioactive pollution. In: Oguz, T. (Ed.), *State of the Environment of the Black Sea (2001-2006/7)*. Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC), İstanbul, 163-172.
- Egorov, V.N., Gulin, S.B., Polikarpov, G.G. and Osvath, I., 2010.** Black sea. In: Atwood, D.A. (Ed.), *Radionuclides in the Environment*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester (UK), 430-452.
- El Mamoney, M.H. and Khater A.E.M., 2004.** Environmental characterization and radioecological impacts of non-nuclear industries on the Red Sea coast. *Journal of Environmental Radioactivity*, 73, 151-168. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2003.08.008
- El-Saharty, A.A., 2013.** Radioactive survey of coastal water and sediments across Alexandria and Rashid coasts. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 39, 21-30. DOI: 10.1016/j.ejar.2013.02.001
- Ergül, H.A., Belirvermiş, M., Kılıç, Ö., Topcuoglu, S. and Çotuk, Y., 2013.** Natural and artificial radionuclide activity concentrations in surface sediments of Izmit Bay, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 126, 125-132. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.07.015
- Fowler, S.W., 1997.** Biological sampling for marine radioactivity monitoring, *Strategies and Methodologies for Applied Marine Radioactivity Studies*. IAEA, Technical course series, 7, 299-210.
- Gulin, S.B., Mirzoyeva, N.Yu., Egorov, V.N., Polikarpov, G.G., Sidorov, I.G. and Proskurnin, V.Yu., 2013.** Secondary radioactive contamination of the Black Sea after Chernobyl accident: recent levels, pathways and trends. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 50-56. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.04.001
- Güldür, S., 2011.** İstanbul Boğazı'ndan Avlanan Akdeniz Midyesi'nden (*Mytilus galloprovincialis*) İzole Edilen Bakterilerin Ağır Metal Dirençliliklerinin Tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 85 s., 17.
- Güngör, N., 1999.** ^{134}Cs ve ^{241}Am Biyokinetiğinin üç farklı organizma için incelenmesi ve kesikli zaman modeli ile yeni bir değerlendirme. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 175 s.
- Güven, K. ve Öztürk, B., 2005.** Deniz Kirliliği Temel Kirleticiler ve Analiz Yöntemleri. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı Yayınları, No: 21, 161-176.

- Gwynn, J.P., Heldal, H.E., Gäfvert, T., Blinova, O., Eriksson, M., Sværen, I., Brungot, A. L., Stråberg, E., Møller, B. and Rudjord, A.L., 2012.** Radiological status of the marine environment in the Barents Sea. *Journal of Environmental Radioactivity*, 113, 155-162. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.06.003
- Hoda, I., El-Reefy, T.S., Tarek, E. and Hussein, M.B., 2010.** Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the marine environment of the Burullus Lake: II. bottom sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169, 273-284. DOI: 10.1007/s10661-009-1169-1
- IAEA, 1999.** Inventory of Radioactive Waste Disposals at Sea. IAEA, Vienna. IAEA-TECDOC-1105.
- IAEA, 2005.** Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS). Radionuclide Levels in Oceans and Seas. IAEA, Vienna, IAEA-TECDOC-1429.
- IAEA, 2011.** Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety standards series no. GSR Part 3 (Interim), STI/PUB/1531, 190–219.
- Inoue, M., Kofuji, H., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Yoshida, K., Fujimoto, K., Takada, T. and Isoda, Y., 2012.** Lateral variation of ^{134}Cs and ^{137}Cs concentrations in surface seawater in and around the Japan Sea after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109, 45-51. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.01.004
- Kacar, B., 2009.** Toprak Analizleri (2. Basım). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 466 s.
- Karahan, G., Öztürk, N. and Bayülken, A., 2000.** Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul, Turkey. *Water Research*, 34(18), 4367–4370. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00219-0
- Kim, Y., Cho, S., Kang, H.D., Kim, W., Lee, H.R., Doh, S.H., Kim, K., Yun, S.G., Kim, D.S. and Jeong, G.Y., 2006.** Radiocesium reaction with illite and organic matter in marine sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 659-665. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2005.10.017
- Kim, Y., Kim, K., Kang, H.D., Kim, W., Doh, S.H., Kim, D.S. and Kim, B.K., 2007.** The accumulation of radiocesium in coarse marine sediment: effects of mineralogy and organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1341-1350. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.06.003
- Kılıç, Ö., 2010.** İstanbul Boğazı ve Haliç Biyota ve Sedimentinde Radyonüklid Analizi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 86 s., 10, 60.
- Kılıç, Ö. and Çotuk Y., 2011.** Radioactivity concentrations in sediment and mussel of Bosphorus and Golden Horn. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, 289, 627-635. DOI: 10.1007/s10967-011-1140-9

- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Çotuk, Y. and Topçuoğlu, S., 2014a.** Radioactivity concentrations in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) of Turkish Sea coast and contribution of ^{210}Po to the radiation dose. *Marine Pollution Bulletin*, 80, 325-329. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.037
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gözel, F. and Carvalho, F.P., 2014b.** Radioactivity levels in mussels and sediments of the Golden Horn by the Bosphorus Strait, Marmara Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 86, 555-561. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.033
- Khandaker, M.U., Norfadira, B.W., Amin, Y.M. and Bradley, D.A., 2013.** Committed effective dose from naturally occurring radionuclides in shellfish. *Radiation Physics and Chemistry*, 88, 1-6. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.02.034
- Khandaker, M.U., Asaduzzaman, Kh., Nawi, S.M., Usman, A.R., Amin, Y.M., Daar, E., Bradley, D.A., Ahmed, H. and Okhunov, A.A., 2015.** Assessment of Radiation and Heavy Metals Risk due to the Dietary Intake of Marine Fishes (*Rastrelliger kanagurta*) from the Straits of Malacca. *Plos One* 10(6):e0128790. DOI: 10.1371/journal.pone.0128790
- Küçükömeroğlu, B., Kurnaz, A., Keser, R., Korkmaz, F., Okumusoglu, N.T., Karahan, G., Sen, C. and Cevik, U., 2008.** Radioactivity in sediments and gross alpha-beta activities in surface water of Firtına River, Turkey. *Environmental Geology*, 55, 1483-1491. DOI: 10.1007/s00254-007-1098-7
- LaBrecque, J.J., Cordoves, P.R., Cordoves, M.A., Perez, K., Palacios, D. and Alfonso, J., 2010.** Distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th and ^{238}U in coastal marine sediments of Margarita Island, Venezuela. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 283, 669-674. DOI: 10.1007/s10967-009-0434-7
- Ligero, R.A., Vidal, J., Meléndez, M.J., Hamani, M. and Casas-Ruiz, M., 2009.** Sedimentology models from activity concentration measurements: application to the “Bay of Cadiz” Natural Park (SW Spain). *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 203-208. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.11.011
- Livingston, H.D., Buessler, K.O., Izdar, E. and Konuk, T., 1988.** Characteristics of Chernobyl fallout in the southern black sea. In: Guary, J.C., Guegueniat, P., Pentreath, R.J. (Eds.), *Radionuclides: A Tool for Oceanography*, Elsevier Applied Science, London & New York, 204-216.
- Meli, M.A., Desideri, D., Roselli, C. and Feduzi, L., 2008.** Natural radioactivity in the mussel *Mytilus galloprovincialis* derived from the Central Adriatic Sea (Italy). *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 71, 1270-1278. DOI: 10.1080/01932690801934562
- Mohery, M., Baz, S., Kelany, A.M. and Abdallah, A.M., 2014.** Environmental radiation levels in soil and sediment samples collected from floating water from a

land runway resulting from heavy rains in the Jeddah region, KSA. *Radiation Physics and Chemistry*, 97, 16-24. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.10.007

Mollah, A.S., Rahman, M.M., Koddus, M.A., Husain, S.R. and Malek, M.A., 1987. Measurement of high natural background radiation levels by TLD at Cox and Bazar coastal areas in Bangladesh. *Radiation Protection Dosimetry*, 18 (1), 39–41.

NATO Science Series, 2003. Environmental Protection Against Radioactive Pollution, 33, 19-29.

Oliver, L.M., William, S.F., Winstead, J.T., Hemmer, B.L. and Long, E. R. 2001. Relationships between tissue contaminants and defense-related characteristics of oysters (*Crassostrea virginica*) from five Florida Bays. *Aquatic Toxicology*, 55, 203-222. DOI: 10.1016/S0166-445X(01)00161-8

Oyebanjo, O.A., Joshua, E.O. and Jibiri, N.N. 2012. Natural Radionuclides and Hazards of Sediment Samples Collected from Osun River in Southwestern Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 13 (2), 391-396.

Park, G., Lin, X.J., Kim, W., Kang, H.D., Lee, H.L., Kim, Y., Doh, S.H., Kim, D.S., Yun, S.G. and Kim, C.K., 2004. Properties of ^{137}Cs in marine sediments off Yangnam, Korea. *Journal of Environmental Radioactivity*, 77, 285-299. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2004.03.012

Papaefthymiou, H., Papatheodorou, G., Moustakli, A., Christodoulou, D. and Geraga, M., 2007. Natural radionuclides and ^{137}Cs distributions and their relationship with sedimentological processes in Patras Harbour, Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 94, 55-74. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2006.12.014

Polikarpov, G.G., Kulebakina, L.G., Timoshchuk, V.I. and Stokozov, N.A., 1991. ^{90}Sr and ^{137}Cs in surface waters of the Dnieper River, the Black Sea and the Aegean Sea in 1987 and 1988. *Journal of Environmental Radioactivity*, 13, 25-38. DOI: 10.1016/0265-931X(91)90037-G

Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Gulina, S.B., Tsytsugina, V.G., Stokozov, N.A., Lazorenko, G.E., vd., 2008. Radioecological response of the Black Sea to Chernobyl accident. *Proc. Natl. Acad. Sci. Ukraine*, 4, 29-43.

Ravisankar, R., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Prince Prakash Jebakumar, J., Vijayalakshmi, I., Vijayagopal, P. and Venkatraman, B., 2014. Spatial distribution of gamma radioactivity levels and radiological hazard indices in the East coastal sediments of Tamilnadu, India with statistical approach. *Radiation Physics and Chemistry*, 103, 89–98. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.05.037

Strezov, A., Milanov, M., Mishev, P. and Stoilova, T., 1998. Radionuclide accumulation in near-shore sediments along the Bulgarian Black Sea coast. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(12), 1721–1728. DOI: 10.1016/S0969-8043(97)10147-6

- Thebault, H., Baena, A.M.R., Andral, B., Barisic, D., Albaladejo, J.B., Bologna, A., Boudjenoun, R., Delfanti, R., Egorov, V.N., El Khoukhi, T., Florou, H., Kniewald, G., Noureddine, A., Patrascu, V., Pham, M.K., Scarpato, A., Stokozov, N.A., Topçuoğlu, S. and Warnau, M., 2008.** ¹³⁷Cs baseline levels in Mediterranean and Black Sea: A cross-basin survey of the CIESM Mediterranean mussel watch programme. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 801–806. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.11.010
- Topçuoğlu, S. and Van Downen, A.M., 1997.** A Study on the Elimination of ¹³⁷Cs in Mussels Under Contaminated Field and Laboratory Conditions. *Toxicological Environmental Chemistry*, 58, 217-222. DOI: 10.1080/02772249709358411
- Topçuoğlu, S., Kut, D., Esen, N., Güngör, N., Ölmez Eğilli, E. and Kırbaşoğlu, Ç., 2001.** ¹³⁷Cs in biota and sediment samples from Turkish coast of Black Sea, 1997–1998. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 250(2), 381–384. DOI: 10.1023/A:1017932604374
- Topçuoğlu, S., Ergül H. A., Baysal A., Ölmez E. and Kut D. 2003.** Determination of radionuclide and heavy metal concentrations in biota and sediment samples from Pazar and Rize stations in the Eastern Black Sea. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(7), 695-699.
- Topçuoğlu, S., Ergül, H.A., Belivermiş, M. and Kılıç, Ö., 2010.** Monitoring of Radionuclide Concentrations in Marine Algae, Mussel and Sediment Samples From the Turkish Marine Environment During the Period of 2001-2009. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*, 16, 285-293.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2011.** Su Ürünleri İstatistikleri (2010), Ankara, Turkey.
- Tyler, A.T., Carter, S., Davidson, D.A., Long, D.J. and Tipping, R., 2001.** The extent and significance of bioturbation on ¹³⁷Cs distributions in upland soils, *Catena* 43, 81-99. DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00127-2
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 1988.** Sources, effects and risk of ionizing radiation, United Nations, New York.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 1993.** Exposure from natural sources of radiation, United Nations, New York.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 2000.** Sources, effects and risk of ionizing radiation, United Nations, New York.
- URL-1, 2015.** http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=il_maden_haritalari (10 Ekim 2015).

- US Energy Protection Agency (USEPA), 1999.** Cancer risk coefficients for environmental exposure to radionuclides. Federal Guidance Report No:13, EPA 402-R-99-001.
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaşoğlu, Ç. and Yılmaz, Y.Z., 2008.** Heavy Metal Pollution in Surface Sediment and Mussel Samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 169-178. DOI: 10.1007/s10661-007-9986-6
- Varinlioğlu, A., Köse, A., Çevik, U., Kopya, A.İ., Altunbaş, M. and Karal, H., 1995.** Levels of Natural and Artificial Radioactivity in Sediments in The Eastern Black Sea of Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 201 (1), 31-37.
- Veleva, B., Kolarova, M., Mungov, G. and Galabov, N., 1996.** Variations of the Concentrations of some Radionuclides Along the Bulgarian Black Sea Coastal Zone. International seminar on the use of Isotope Techniques in Marine Environmental Studies, IAEA-SR-194/21, Athens, Greece.
- Voitsekhovitch, O., Kanivets, V., Simov, V. and Fetisov, L., 1996.** Experimental Studies of the Radionuclide Flux from Rivers and Radionuclide-Sediment Interaction in the Black Sea. IAEA, Research Contract no 7330/R2/RB, Final report, Kiev-Ukraine.
- Yabanlı, M., Katalay, S., Yozukmaz, A. and İnanan, B.E., 2015.** Comparative study of heavy metals and selenium accumulation in the digestive gland and gills of *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) caught in Izmir bay (Turkey). *Turkish Journal of Biochemistry*, 40(2), 140–148. DOI: 10.5505/tjb.2015.32448

EKLER

Ek 1. Doğal radyoaktif ^{238}U serisi.

U-238 $4,6 \times 10^9$ yıl				U-234 $2,45 \times 10^5$ yıl	
↓ α 4,196 MeV		β^-		↓ α 4,776 MeV	
	Pa-234 1,17 dk				
		β^-			
Th-234 27,0 gün				Th-230 $7,54 \times 10^4$ yıl	
				↓ α 4,688 MeV	
				Ra-226 1602 yıl	
				↓ α 4,784 MeV	
				Rn-222 3,82 gün	
				↓ α 5,490 MeV	
				Po-218 3,05 dk	
				↓ α 6,003 MeV β^-	
			β^-	Po-214 2×10^{-4} sn	
				↓ α 7,687 MeV ↓ β^-	
				Bi-214 20 dk 609,3keV gama	
				↓ β^-	
				Bi-210 5 gün	
				↓ α 5,304 MeV	
				Pb-214 26,8 dk 351,9 keV gama	
				↓ β^-	
				Pb-210 22,3 yıl	
				↓ β^-	
				Pb-206 Kararlı	

Ek 2. Doğal radyoaktif ^{232}Th serisi.

Th-232 $1,41 \times 10^{10}$ yıl		Th-228 1,91 yıl
↓ α 4,01 MeV	β^-	↓ α 5,423 MeV
	Ac-228 6,13 saat	
	β^-	
Ra-228 5,75 yıl		Ra-224 3,66 gün
		↓ α 5,686 MeV
		Rn-220 55,6 s
		↓ α 6,288 MeV
		Po-216 0,145 s
		Po-212 3×10^{-7} s
	β^-	↓ α 8,784 MeV
	Bi-212 60,55 dak	
	β^-	
Pb-212 10,6 saat		Pb-208 Kararlı
		↓ α 6,051 MeV
		β^-
	Tl-208 3,05 dk	

Ek 3. Aktinyum radyoaktif bozunma serisi.

U-235 7,13x10 ⁸ yıl			
↓ α 4,58 MeV	Pa-231 32,76 yıl		
	β ⁻ ↗		
Th-231 25,52 saat	↓ α 4,05 MeV	Th-227 18,72 gün	
	β ⁻ ↗		
	Ac-227 21,77 yıl	↓ α 6,03 MeV	
	↓ α 4,9 MeV	Ra-223 11,44 gün	
	β ⁻ ↗		
	Fr-223 21,8 dk	↓ α 5,86 MeV	
	↓ α 5,3 MeV	Rn-219 18,4 dk	
	At-219 0,9 dk	↓ α 6,03 MeV	At-215 10 ⁻⁴ s
	β ⁻ ↗		
	↓ α 6,27 MeV	Po-215 1,83 ms	↓ α 8,00 MeV
	β ⁻ ↗		β ⁻ ↗
	Bi-215 8 dk	↓ α 7,38 MeV	Bi-211 2,15 dk
	β ⁻ ↗		↓ α 7,43 MeV
		Pb-211 36,1 dk	↓ α 6,62 MeV
			β ⁻ ↗
			Pb-207 Kararlı
			Tl-207 4,8 dk

ÖZGEÇMİŞ

Erkan KIRIŞ, 13/08/1986 tarihinde Ladik’de doğdu. İlkokulunu 1996 yılında Amasya’nın Suluova ilçesinde Zübeyde Hanım İlkokulu’nda, Ortaokul ve Lise’yi 2002 yılında Amasya’nın Suluova ilçesinde Fatih Lisesinde tamamladı. 08/09/2003 tarihinde başladığı lisans eğitimini 29/06/2007 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde Fakülte ikinciliği ve Bölüm ikinciliği derecesi ile tamamladı. 2007 yılına Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde başladığı yüksek lisans öğreniminden yabancı dil eğitimini tamamladıktan sonra ayrıldı. 2008 yılında Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde başladığı yüksek lisans öğrenimini 2010 yılında tamamladı. 2010 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nde başladığı doktora öğrenimini halen devam ettirmektedir. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Kurumunda Araştırma Görevlisi olarak 2009 yılı itibariyle görev yapmaktadır. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.

Bilimsel Çalışmaları ve Yayınları

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Yılmaz, E., Baltas, H., Kırıs, E., Ustabas, I., Cevik, U. and El-Khayatt, A.M., 2011. Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials. *Annals of Nuclear Energy*, 38, 2204-2212. DOI: 10.1016/j.anucene.2011.06.011

Damla, N., Baltas, H., Celik, A., Kırıs, E. and Cevik, U., 2012. Calculation of radiation attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities for some building materials. *Radiation Protection Dosimetry*, 150, 541-549. DOI: 10.1093/rpd/ncr432

Baltas, H., Kırıs, E., Ustabas, I., Yılmaz, E., Sirin, M., Kuloglu, E. and Erdogan Gunes, B., 2014. Determination of Natural Radioactivity Levels of Some Concretes and Mineral Admixtures in Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 26(13), 3946-3952. DOI: 10.14233/ajchem.2014.16045

Baltas, H., Kırıs, E., Dalgic, G. and Cevik, U., 2016. Distribution of ¹³⁷Cs in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in Eastern Black Sea Coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. Article in Press, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.032

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Kırış, E., Baltas, H., Damla, N., Ertugral, B. and Cevik, U., 2013. Radioactivity levels in some cow milks consumed in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Batman University Journal of Life Sciences*, 3(2), 29-38.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan sözlü bildiriler

Kırış, E. and Karabulut, H., 2010. İki Boyutlu Helyum Atomunun Taban Durum Enerjisinin Hesaplanması. Turkish Physics Society, 27th International Physics Congress, İstanbul Üniversitesi, İstanbul/Türkiye, 14– 17 Eylül.

Kırış, E., Baltas, H., Apaydın, G. and Ustabaş, İ., 2011. Investigation of attenuation coefficients in silica fume glasses containig boron ore in different energies. Turkish Physics Society, 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September 2011.

Yılmaz, E., Kırış, E., Ertuğral, B., Şirin, M. and Baltas, H., 2011. Determination of gammaray attenuation coefficients in some building materials. Turkish Physics Society, 28th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 6-9 September.

Kırış, E., Yılmaz, E., Erdoğan Güneş, B., Ertuğral, B. and Baltas, H., 2012. Determination of natural radioactivity levels in some concrete materials. Turkish Physics Society, 29th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 5-8 September.

Yılmaz, E., Şirin, M., Kırış, E., Keskenler, E.F., Apaydın, G. and Baltas, H., 2012. Investigation of optical parameters at ZnO thin films. Turkish Physics Society, 29th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 5-8 September.

Kırış, E., Baltas, H. and Tan, H., 2013. Determination of Natural Radioactivity Levels in LVL and Plywood Samples Produced with Peel Coatings. Turkish Physics Society, 30th International Physics Congress, İstanbul/Turkey, 2-5 September.

Baltas, H., Kırış, E., Şirin, M. and Ertugral, B., 2013. Determination of Natural Radioactivity Levels in Fruit, Leaf, Core and Soil Samples of Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus L.*). Turkish Physics Society, 30th International Physics Congress, İstanbul/Turkey, 2-5 September.

Baltas, H., Kuloğlu, E., Kırış, E. and Nevruzoğlu, V., 2013. Determination of Linear Attenuation Coefficients of Polyethylene Samples with Boron and Barite Additives. Turkish Physics Society, 30th International Physics Congress, İstanbul/Turkey, 2-5 September.

Kırış, E., Baltas, H., Dalgıç, G., Yılmaz Bayrak, E., Apaydın, G. and Çevik, U., 2015. Radionuclide concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and sediments collected from the Eastern Black Sea Region of Turkey", International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry (LumiDoz 9), Antalya/Türkiye, 2-4 September.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan poster bildiriler

Memiş, O., Ertuğral, B., Baltaş, H., Taşkın, H., Kırış, E. ve Yüksel, S., 2012.
Giresun'un merkez şebeke suyu kaynaklarının radyoaktivite seviyeleri ve kimyasal analizlerinin belirlenmesi. Turkish Physics Society, 29th International Physics Congress, Bodrum/Turkey, 5-8 September 2012.

