

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**KARADENİZ KIYISINDAKİ DENİZ SUYU, SEDİMENT VE BAZI  
MAKROALGLERDEKİ RADYOAKTİFLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Nilay AKÇAY**

**HAZİRAN 2013  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**KARADENİZ KIYISINDAKİ DENİZ SUYU, SEDİMENT VE BAZI  
MAKROALGLERDEKİ RADYOAKTİFLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Nilay AKÇAY**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“DOKTOR (FİZİK)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.05.2013**  
**Tezin Savunma Tarihi : 18.06.2013**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Fizik Ana Bilim Dalında**

**Nilay AKÇAY Tarafından Hazırlanan**

**KARADENİZ KIYISINDAKİ DENİZ SUYU, SEDİMENT VE BAZI  
MAKROALGLERDEKİ RADYOAKTİFLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışmada, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2013 gün ve 1507 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**DOKTORA TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA .....**

**Üye : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU .....**

**Üye : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK .....**

**Üye : Prof. Dr. Halit KANTEKİN .....**

**Üye : Prof. Dr. Mahmut DOĞRU .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Karadeniz kıyısındaki deniz suyu, sediment ve bazı makroalglerdeki radyoaktiflik düzeylerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlandı.

Radyoaktiflik ölçümleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Nükleer Fizik laboratuvarında, ağır metal analizleri ise Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında gerçekleştirildi.

Doktora tez çalışmamda deneysel ve teorik bilgi yönünden yararlandığım ve öğrenciliğimin her aşamasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA ve Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU hocama en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'nde çalışmalarım boyunca ilgilerini ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na, Prof. Dr. Halit KANTEKİN'e, Prof. Dr. Uğur ÇEVİK'e, Doç. Dr. Hasan BALTAŞ'a, Doç. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR'e, Yrd. Doç. Dr. Recep KESER'e, kıymetli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi destekleriyle sürekli beni cesaretlendiren aileme en içten sevgi, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Nilay AKÇAY  
Trabzon 2013

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum “Karadeniz Kıyısındaki Deniz Suyu, Sediment ve Bazı Makroalglerdeki Radyoaktiflik Düzeylerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'nın sorumluluğunda tamamladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 27/05/2013

Nilay AKÇAY

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyoaktiflik.....	3
1.2.1. Doğal Radyoaktiflik .....	4
1.2.2. Yapay Radyoaktiflik .....	5
1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu .....	6
1.3.1. Peş Peşe Bozunma Kanunu.....	10
1.3.2. Radyoaktif Denge.....	12
1.3.2.1. Geçici Denge .....	12
1.3.2.2. Sürekli Denge .....	13
1.4. Radyasyon ve Madde ile Etkileşmesi.....	13
1.4.1. Alfa Parçacıkları.....	14
1.4.2. Beta Parçacıkları .....	15
1.4.3. Gama Işınları .....	17
1.4.3.1. Fotoelektrik Olay.....	17
1.4.3.2. Compton Saçılması .....	18
1.4.3.3. Çift Oluşumu .....	19
1.4.4. Radyasyon Dedektörleri.....	20
1.4.5. Yarı İletken Dedektörler.....	21
1.5. Aktivite ve Radyasyon Birimleri.....	21
1.5.1. Aktivite Birimleri .....	21
1.5.2. Işınlama Birimi.....	22
1.5.3. Soğurulmuş Doz.....	22

1.5.4.	Eşdeğer Doz .....	22
1.6.	Radyasyon Kaynakları .....	23
1.6.1.	Doğal Radyasyon Kaynakları.....	24
1.6.2.	Yapay Radyasyon Kaynakları.....	26
1.7.	Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	27
1.7.1.	Somatik Etkiler.....	28
1.7.2.	Genetik Etkiler .....	29
1.8.	Denizlerdeki Radyasyon .....	29
1.9.	Makroalgler .....	31
1.9.1.	Makroalglerin Sınıflandırılması .....	32
1.9.1.1.	<i>Chlorophyta</i> (Yeşil algler) .....	32
1.9.1.2.	<i>Rhodophyta</i> (Kırmızı algler) .....	33
1.9.1.3.	<i>Phaeophyta</i> (Kahverengi algler) .....	34
1.9.2.	Makroalglerin Beslenmede Kullanımı .....	34
1.9.3.	Makroalglerin Balık Yemlerinde Kullanımları .....	36
1.9.4.	Makroalglerin Tarımda Kullanımları .....	36
1.9.5.	Makroalglerin Endüstride Kullanımları .....	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	38
2.1.	Çalışma Alanı.....	38
2.2.	Numunelerin Toplanması .....	39
2.3.	Çalışmada Kullanılan Makroalg Türleri ve Genel Özellikleri .....	44
2.3.1.	<i>Cystoseira barbata</i> .....	44
2.3.2.	<i>Ulva lactuca</i> .....	45
2.3.3.	<i>Enteromorpha intestinalis</i> .....	46
2.3.4.	<i>Enteromorpha linza</i> .....	47
2.3.5.	<i>Ceramium rubrum</i> .....	48
2.4.	Gama Spektroskopisi Analizleri.....	49
2.4.1.	Deniz Suyu Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması.....	49
2.4.2.	Sediment Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması .....	50
2.4.3.	Makroalg Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması .....	50
2.4.4.	Gama Spektroskopi Sistemi .....	50
2.4.4.1.	Enerji Kalibrasyonu.....	52
2.4.4.2.	Verim Kalibrasyonu .....	53
2.4.4.3.	Minimum Dedeksiyon Limiti .....	55
2.4.4.4.	Aktivite Konsantrasyonu.....	55
2.4.4.5.	Hesaplanan Radyasyon Parametreleri.....	58

2.4.4.5.1. Radium Eşdeğer Aktivitesi.....	58
2.4.4.5.2. Soğurulan Gama Doz Hızı (D).....	58
2.4.4.5.3. Yıllık Etkin Doz .....	58
2.4.4.5.4. Dış Tehlike İndeksi (H <sub>ex</sub> ) .....	58
2.4.4.5.5. Gıda Yoluyla Tüketimden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz Değeri .....	59
2.5. Kimyasal Analizler.....	59
2.5.1. Deniz Suyu Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması.....	59
2.5.2. Sediment Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması .....	60
2.5.3. Makroalg Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması .....	60
2.5.4. Kimyasal Analiz Sistemi .....	61
3. BULGULAR .....	63
3.1. Deniz Suyu Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları.....	63
3.2. Sediment Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları .....	72
3.3. Makroalg Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları .....	83
3.3.1. <i>Cystoseira barbata</i> Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları.....	83
3.3.2. <i>Ulva lactuca</i> Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları .....	88
3.3.3. <i>Enteromorpha intestinalis</i> Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları.....	93
3.3.4. <i>Enteromorpha linza</i> Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları.....	97
3.3.5. <i>Ceramium rubrum</i> Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları.....	102
3.4. Kimyasal Analiz Sonuçları.....	107
3.4.1. Deniz Suyu Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	107
3.4.2. Sediment Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	108
3.5. Makroalg Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları .....	109
3.5.1. <i>Cystoseira barbata</i> Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	109
3.5.2. <i>Ulva lactuca</i> Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları .....	111
3.5.3. <i>Enteromorpha intestinalis</i> Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	112
3.5.4. <i>Enteromorph linza</i> Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	113
3.5.5. <i>Ceramium rubrum</i> Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları.....	114
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR .....	116
5. ÖNERİLER .....	125
6. KAYNAKLAR .....	126
ÖZGEÇMİŞ	



Doktora Tezi

ÖZET

KARADENİZ KIYISINDAKİ DENİZ SUYU, SEDİMENT VE BAZI  
MAKROALGLERDEKİ RADYOAKTİFLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Nilay AKÇAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA  
2013, 134 Sayfa

Bu çalışmada Karadeniz kıyısındaki deniz suyu, sediment ve bazı makroalglerdeki radyoaktiflik düzeyleri araştırıldı. Ayrıca bu örneklerin ağır metal analizi de yapıldı. Yapılan bu çalışmada deniz suları için en yüksek  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri sırasıyla 0,025 Bq/L, 0,027 Bq/L, 0,012 mBq/L ve 2,9 Bq/L bulundu. Sediment örnekleri için en yüksek  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri sırasıyla 35,6 Bq/kg, 44,1 Bq/kg, 35,3 Bq/kg, 29,1 Bq/kg ve 946 Bq/kg bulundu. Makroalg örneklerindeki en yüksek  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri sırasıyla 111,7 Bq/kg, 43,3 Bq/kg, 39,2 Bq/kg, 4,9 Bq/kg ve 2003,0 Bq/kg bulundu. Ağır metal analizi sonucunda Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co ve Ni elementlerinin deniz suyu, sediment ve makroalg örneklerindeki miktarları tespit edildi. Yapılan Kruskal Wallis ve One Way Anova istatistiği ile elde edilen sonuçların örnekler arasındaki bağlantıları incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Gama, Aktivite, Ağır Metal, Analiz, Deniz Suyu, Sediment, Makroalg, Karadeniz Kıyısı

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS FOR SEA WATER, SEDIMENT  
AND SOME MACROALGAE IN BLACK SEA COAST

Nilay AKÇAY

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Physics Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA  
2013, 134 Pages

In this work, radioactivity levels have been measured for sea water, sediment and some macroalgae in Black Sea Coast. Also heavy metal analysis carried out for these samples. Maximum values of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  activity was found for sea water samples, 0,025 Bq/L, 0,027 Bq/L, 0,012 mBq/L ve 2,9 Bq/L, respectaculary. Maximum values of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  activity was found for sediment samples, 35,6 Bq/kg, 44,1 Bq/kg, 35,3 Bq/kg, 29,1 Bq/kg, respectaculary. Maximum values of 946,0 Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  activity was found for macroalgae samples, 111,7 Bq/kg, 43,3 Bq/kg, 39,2 Bq/kg, 4,9 Bq/kg ve 2003,0 Bq/kg, respectaculary. Amount of Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co ve Ni in sea water, sediment and macroalgae have been measured by heavy metal analysis. Relation between all measured data with samples have been compared with Kruskal Wallis and One Way Anova Statistics.

**Key Words:** Gamma, Activity, Heavy Metal, Analysis, Sea Water, Sediment, Macroalgae, Black Sea Coast

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi.....	8
Şekil 2. Peş peşe bozunma grafiği.....	12
Şekil 3. Compton saçılması.....	19
Şekil 4. Çift oluşumu.....	20
Şekil 5. Yarıiletken dedektör şeması.....	21
Şekil 6. Radyasyon kaynakları.....	24
Şekil 7. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon.....	26
Şekil 8. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal katkıları.....	26
Şekil 9. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları .....	27
Şekil 10. Çalışma alanı.....	39
Şekil 11. <i>Cystoseira barbata</i> .....	45
Şekil 12. <i>Ulva lactuca</i> .....	46
Şekil 13. <i>Enteromorpha intestinalis</i> .....	47
Şekil 14. <i>Enteromorpha linza</i> .....	48
Şekil 15. <i>Ceramium rubrum</i> .....	49
Şekil 16. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü .....	51
Şekil 17. Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı .....	51
Şekil 18. Enerjinin kanala göre değişimi .....	53
Şekil 19. Verim değerlerinin enerjilere göre değişimi .....	54
Şekil 20. Deniz suyu numunesine ait gama spektrum örneği .....	56
Şekil 21. Sediment numunesine ait gama spektrum örneği .....	57
Şekil 22. Makroalg numunesine ait gama spektrum örneği .....	57
Şekil 23. ICP- OES cihazı .....	62
Şekil 24. Artvin ili deniz suyu örneklerin için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri .....	64
Şekil 25. Artvin ili deniz suyu örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	64
Şekil 26. Artvin ili deniz suyu örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	65
Şekil 27. Rize ili deniz suyu örnekleri için $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	65
Şekil 28. Rize ili deniz suyu örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	66

Şekil 29. Rize ili deniz suyu örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	66
Şekil 30. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	67
Şekil 31. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	68
Şekil 32. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	68
Şekil 33. Giresun ili deniz suyu örnekleri için $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	69
Şekil 34. Giresun ili deniz suyu örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	69
Şekil 35. Giresun ili deniz suyu örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	70
Şekil 36. Ordu ili deniz suyu örnekleri için $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	71
Şekil 37. Ordu ili deniz suyu örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	71
Şekil 38. Ordu ili için deniz suyu örneklerindeki $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	72
Şekil 39. Artvin ili sediment örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	74
Şekil 40. Artvin ili sediment örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	74
Şekil 41. Artvin ili sediment örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	75
Şekil 42. Rize ili sediment örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	76
Şekil 43. Rize ili sediment örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	76
Şekil 44. Rize ili sediment örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	77
Şekil 45. Trabzon ili sediment örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	78
Şekil 46. Trabzon ili sediment örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	78
Şekil 47. Trabzon ili sediment örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	79
Şekil 48. Giresun ili sediment örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	80
Şekil 49. Giresun ili sediment örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	80
Şekil 50. Giresun ili sediment örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	81
Şekil 51. Ordu ili sediment örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	82
Şekil 52. Ordu ili sediment örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	82
Şekil 53. Ordu ili sediment örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	83
Şekil 54. <i>Cystoseira barbata</i> örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ aktivite değerleri .....	85
Şekil 55. <i>Cystoseira barbata</i> örnekleri için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri.....	86
Şekil 56. <i>Cystoseira barbata</i> örnekleri için $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	86
Şekil 57. <i>Cystoseira barbata</i> örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	87
Şekil 58. <i>Cystoseira barbata</i> örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri.....	88
Şekil 59. <i>Ulva lactuca</i> örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ aktivite değerleri .....	90
Şekil 60. <i>Ulva lactuca</i> örnekleri için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri .....	90
Şekil 61. <i>Ulva lactuca</i> örnekleri için $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	91

Şekil 62. <i>Ulva lactuca</i> örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri .....	92
Şekil 63. <i>Ulva lactuca</i> örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	92
Şekil 64. <i>Enteromorpha intestinalis</i> örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ aktivite değerleri.....	94
Şekil 65. <i>Enteromorpha intestinalis</i> örnekleri için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri .....	95
Şekil 66. <i>Enteromorpha intestinalis</i> örnekleri için $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	95
Şekil 67. <i>Enteromorpha intestinalis</i> örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	96
Şekil 68. <i>Enteromorpha intestinalis</i> örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	97
Şekil 69. <i>Enteromorpha linza</i> örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ aktivite değerleri .....	99
Şekil 70. <i>Enteromorpha linza</i> örnekleri için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri.....	100
Şekil 71. <i>Enteromorpha linza</i> örnekleri için $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri .....	100
Şekil 72. <i>Enteromorpha linza</i> örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	101
Şekil 73. <i>Enteromorpha linza</i> örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	102
Şekil 74. <i>Ceramium rubrum</i> örnekleri için $^{226}\text{Ra}$ aktivite değerleri.....	104
Şekil 75. <i>Ceramium rubrum</i> örnekleri için $^{238}\text{U}$ aktivite değerleri .....	104
Şekil 76. <i>Ceramium rubrum</i> örnekleri için $^{232}\text{Th}$ aktivite değerleri.....	105
Şekil 77. <i>Ceramium rubrum</i> örnekleri için $^{137}\text{Cs}$ aktivite değerleri.....	106
Şekil 78. <i>Ceramium rubrum</i> örnekleri için $^{40}\text{K}$ aktivite değerleri .....	106

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri .....	5
Tablo 2. Yapay radyoaktif çekirdekler .....	6
Tablo 3. Bazı izotopların yarı-ömürleri .....	8
Tablo 4. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki .....	23
Tablo 5. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri .....	25
Tablo 6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre oransal değerleri .....	27
Tablo 7. Makroalg numunelerinin toplandığı istasyonlar .....	40
Tablo 8. Deniz suyu ve sediment örneklerinin toplandığı istasyonlar .....	44
Tablo 9. $^{152}\text{Eu}$ kalibrasyon kaynağının özellikleri $^{152}\text{Eu}$ ( $T_{1/2} = 13.516$ y) .....	52
Tablo 10. Enerjinin kanallara göre değişimi .....	53
Tablo 11. Standart kaynağın gama enerjilerindeki dedektörün verim değerleri .....	54
Tablo 12. Dedekte edilen radyonüklitlerin minimum dedeksiyon limitleri .....	55
Tablo 13. ICP-OES ile analizi yapılan elementlerin kalibrasyon verileri .....	62
Tablo 14. İllere göre deniz suyu örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	63
Tablo 15. İllere göre sediment örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	73
Tablo 16. İllere göre <i>Cystoseira barbata</i> örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	84
Tablo 17. İllere göre <i>Ulva lactuca</i> örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	89
Tablo 18. İllere göre <i>Enteromorpha intestinalis</i> örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	93
Tablo 19. İllere göre <i>Enteromorpha linza</i> örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	98
Tablo 20. İllere göre <i>Ceramium rubrum</i> örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri .....	103
Tablo 21. İllere göre deniz suyu örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) .....	107
Tablo 22. İllere göre sediment örneklerindeki örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	108

Tablo 23. İllere göre <i>Cystoseira barbata</i> örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	110
Tablo 24. İllere göre <i>Ulva lactuca</i> örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	111
Tablo 25. İllere göre <i>Enteromorpha intestinalis</i> örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	112
Tablo 26. İllere göre <i>Enteromorpha linza</i> örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	113
Tablo 27. İllere göre <i>Ceramium rubrum</i> örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) .....	114
Tablo 28. Deniz suyu örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması.....	116
Tablo 29. Sediment örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması .....	118
Tablo 30. Makroalg örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{137}\text{Cs}$ ve $^{40}\text{K}$ aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması .....	119
Tablo 31. Gama analizleri için istatistikler .....	123
Tablo 32. Kimyasal analizler için istatistikler.....	124

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Aktivlik
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
Gy	: Gray
N	: Radyoaktif çekirdek sayısı
$N_0$	: İntegrasyon sabiti
Sv	: Sievert
$T_{1/2}$	: Yarı ömür
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
Q	: Radyoaktif bozunma sonucu açığa çıkan enerji
$\lambda$	: Bozunma sabiti
$\tau$	: Ortalama ömür
Cr	: Krom
Mn	: Mangan
Fe	: Demir
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Cd	: Kadmiyum
Pb	: Kurşun
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yüzyıllardır beslenme, dinlenme, ulaşım, taşımacılık, atıkların boşaltılması ve hammadde üretimi alanında yararlanılan denizlerin insan yaşamı için önemi çok büyüktür. Dünya nüfusunun hızla artması ile yeni besin kaynaklarına yönelen insanoğlu denizlerden daha çok yararlanmak için araştırmalarını yoğunlaştırmıştır. Yapılan araştırmalar bir taraftan denizlerin gelecek nesiller için hem büyük bir besin gücü hem de zengin mineral ve enerji kaynakları ile saklı bir depo vazifesi gördüğünü, bir taraftan ise son yıllarda oluşan kirlilik ile yaşam mücadelesi verdiğini ve ileride giderilmesi mümkün olmayacak şekilde olumsuz yönde etkilendiği önemle gözler önüne sermektedir [1, 2].

Deniz kirliliği çevre kirliliğinin bir parçası olup denizlerin dezavantajı, çevreye (kara, nehir, göl, atmosfer vb.) atılan her türlü kirleticinin bir şekilde denizlerde son bulmasıdır. Denizlere bırakılan binlerce maddenin bir kısmı istenmeyen zararlara neden olabilmekte bu maddelerin doğrudan ya da dolaylı etkileri, insanlar dahil canlıların ölümüyle sonuçlanabilmektedir [3].

Canlı sağlığının, çevresel değerlerin ve ekolojik dengenin korunması açısından büyük önem taşıyan deniz kirliliği tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hayati bir öneme sahiptir. Ülkemiz deniz varlığı açısından zengin bir yarımada olup Türkiye yarımadasının kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Akdeniz, batısında Ege ve Marmara Denizi bulunmaktadır. Bir zamanlar zengin biyolojik çeşitlilik ve balık potansiyeli ile bilinen Karadeniz, son yıllarda ortaya çıkan bir dizi iklimsel ve insan kaynaklı etkenlerden dolayı günümüzde son derece sağlıklı bir ekosistem yapısı sergilememektedir [4]. Bu etkenlerin belli başlı olanları; arıtma işleminden geçirilmeden doğrudan doğruya veya akarsular vasıtasıyla denize boşaltılan kanalizasyon, tarımsal faaliyetlere bağlı olarak oluşan atıklar, endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan kirlilik ve hepsinden daha tehlikeli olan nükleer kirlenmelerdir. Bağımsız Devletler Topluluğu'nda faaliyet gösteren 500 nükleer santralin en az altmışının radyoaktif atıklarını Karadeniz'e boşalttıkları düşünüldüğünde radyoaktif kirlenme bakımından Karadeniz'in diğer denizlere göre çok daha şanssız bir konumda olduğu ortaya çıkmaktadır [5].

Denizler ve çevresindeki radyoaktif kirleticilerin belirlenmesi, çevre kalitesinin izlenmesi ve çeşitli çözüm yollarına gidilebilmesi açısından gereklidir. Deniz ortamlarında bulunan bu tür kirleticileri belirlemek için genellikle su analizleri kullanılmaktayken bu analizlerin tek başına yeterli olmadığı, tamamlayıcı diğer analizlerin de (sediment, biota) yapılması gerektiği önerilmektedir [6]. Çünkü su ortamları tek başına su kütlelerinden ibaret olmayıp, bünyelerinde birçok hayvan ve bitki kökenli yüzen veya dipteki sediment tabakasında yaşayan organizma grupları ihtiva etmektedir. Kirleticiler sadece suda kalmayıp, ortam şartlarına göre organizmaya geçmekte, besin zincirinde birikmekte veya dibe çökmektedir. Dolayısıyla kirleticiler sadece suda değil aynı zamanda su ortamında bulunan diğer canlıların yapısına da geçmektedir [7].

Kirlilik pek çok organizmanın ortamı terk edip yok olmasına neden olurken, diğer bazı organizmaların direnerek varlıklarını sürdürmesini sağlamaktadır. Ekolojik toleransa sahip midye, istiridye, balık, algler gibi dayanıklı organizmalar biyoindikatör tür olarak kirliliğin izlenmesinde kullanılmaktadır [8]. Özellikle kıyısal alanda birincil üretime önemli ölçüde katkısı bulunan deniz makroalgleri, deniz ekosistemindeki radyoaktif içerikleri kolaylıkla bünyelerine alabilme ve biriktirebilme yeteneğine sahip olduklarından çoğunlukla deniz suyunun kirlilik göstergeleri olarak tanımlanmaktadır [9, 10, 11]. Ayrıca çoğu makroalg türü nispeten uzun yaşam evresine sahip olduğundan, buldukları bölgedeki ortamın kirlilik düzeylerindeki kısa süreli dalgalanmaları da yansıtabilmektedirler [12].

Deniz ortamlarında balıklar ve diğer canlıların besini olan makroalglerde biriken kirleticiler bir üst basamaktaki canlıya aynen geçmekte ve biyolojik birikimin gereği olarak bir sonraki basamaktaki canlıya daha yoğun bir şekilde taşınmaktadır. Besin zincirini oluşturan balıklarda ise en yüksek değere ulaşmakta ve balıkları besin olarak tüketen insanlarda son olarak etki göstermektedir [13]. Bu nedenle makroalglerdeki kirleticilerin tespiti her geçen gün ekonomik değeri artan ve çok büyük bir besin gücünü içinde barındıran denizler ve denizlerden yararlanan insanoğlu ve çevresinin sağlığı açısından oldukça büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı Karadeniz bölgesindeki deniz suyu, sediment ve bazı makroalg örneklerindeki radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesidir. Bu amaçla ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Breban vd. [14], Romanya kıyılarındaki deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini 41,2 mBq/l bulmuşlardır. Aynı çalışmada sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesini sırasıyla 128,6 Bq/kg, 80 Bq/kg ve 50 Bq/kg bulmuşlardır.

Godoy vd. [15], Brezilya'nın güneydoğu sahillerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini deniz suyu örneklerinde 0,004 Bq/l ve sediment örneklerinde 3,8 Bq/kg bulmuşlardır.

Outola vd. [16], Finlandiya kıyılarındaki deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini 0,024 Bq/l ve sediment örneklerinde 240 Bq/kg bulmuşlardır. Aynı çalışmada  $^{40}\text{K}$  aktivitesini deniz suyu örneklerinde 1,74 Bq/l ve sediment örneklerinde 714 Bq/kg bulmuşlardır.

Aközcan vd. [17], Ege Denizi kıyılarında  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini deniz suyu örneklerinde 0,001 Bq/l ve sediment örneklerinde 1,30 Bq/kg bulmuşlardır.

Topçuoğlu vd. [18], Türkiye kıyılarındaki farklı istasyonlardan aldıkları makroalg örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesini sırasıyla 2,41 Bq/kg, 11,34 Bq/kg, 6,17 Bq/kg ve 435,7 Bq/kg bulmuşlardır. Aynı çalışmada sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesini sırasıyla 159 Bq/kg, 543 Bq/kg, 363 Bq/kg ve 2783 Bq/kg bulmuşlardır.

Masri vd. [19], Suriye kıyılarındaki makroalglerde  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesini sırasıyla <0,47 Bq/kg, 1,2 Bq/kg ve 2260 Bq/kg bulmuşlardır.

Nonova vd. [20], Bulgaristan'ın Karadeniz kıyısındaki farklı istasyondan topladıkları makroalglerde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesini sırasıyla 9,0 Bq/kg, 12,7 Bq/kg ve 1690 Bq/kg bulmuşlardır.

Mihai vd. [21], Romanya'nın Karadeniz kıyılarından topladıkları makroalglerde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini sırasıyla 11,8 Bq/kg, 3,6 Bq/kg, 1,40 Bq/kg ve 8,9 Bq/kg bulmuşlardır.

Sawidis vd. [22], Yunanistan'ın Ege denizi kıyılarında yaygın olarak bulunan makroalglerde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesini 20,3 Bq/kg- 596 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

## 1.2. Radyoaktiflik

Çekirdek fiziğinde önemli gelişmelere yol açan radyoaktiflik, 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in X-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel tarafından uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle keşfedildi. Daha sonraki

yıllarda Curie ve diğer bilim adamları tarafından yapılan klasik çalışmalar, bu alanda yapılan yeni gelişmelere zemin hazırladı.

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. Doğal ve yapay olmak üzere iki tip radyoaktiflik mevcuttur.

### 1.2.1. Doğal Radyoaktiflik

Bozunuma uğrayan çekirdek (izotop) doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunumu sonrası ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik denir. Çekirdek yapısının açıklanmasında, yaş hesaplarında, sediment oluşum oranlarının tespiti gibi farklı alanlarda doğal radyoaktiflikten faydalanılır. Çevrenin doğal radyoaktiflik seviyesinin bilinmesi, nükleer kaza esnasında o bölgenin hangi oranda kirlendiğinin 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. Doğal radyoaktif elementler genel olarak kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar.

Kara kökenli radyoaktif çekirdekler; Uranyum serisi ( $^{238}\text{U}$ ), Toryum serisi ( $^{232}\text{Th}$ ), Aktinyum serisi ( $^{235}\text{U}$ ), Tek izotoplu radyoaktif çekirdekler ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  v.s.) ve Neptünyum serisi ( $^{241}\text{Pu}$ ) çekirdeklerdir. Bu serinin halen bilinen tek izotopu  $^{209}\text{Bi}$ 'dir.

Tablo 1'de dört seriye ait bazı temel özellikler verilmektedir. Tarihsel sıralama sözü konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir.

Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Uranyum, Toryum ve Aktinyum sırasıyla kurşunun kararlı olan  $^{206}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{208}_{82}\text{Pb}$  ve  $^{207}_{82}\text{Pb}$  çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan  $^{209}_{83}\text{Bi}$ 'a dönüşür.

Neptünyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarı ömrü diğerlerinininkine nazaran Dünya'nın oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez [23].

Tablo 1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek	Ana Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41.10^{10}$
Neptünyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14.10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47.10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04.10^8$

Uzay kökenli radyoaktif çekirdekler; kozmik ışınlar ve yüklü parçacıklardır. Kozmik ışınlar veya yüklü parçacıklar, dünya atmosferine girdiklerinde ortamda bulunan (azot, oksijen, argon, vb.) gazlarla nükleer reaksiyonlara girerek nötron, proton, muon ve kaonların yanı sıra dozimetrik açıdan önemli olan kozmojenik  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  gibi radyoaktif çekirdekleri üretirler. Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (% 93) hızlı protonlardan ve daha az da (% 6,3) alfalardan ve bir miktar da trityum ve karbon-14 çekirdeklerinden oluşur. Uzaydan gelen kozmik ışınlarla birincil kozmik ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen ışınlarla (nötron, proton, pion, kaon, mezon) ikincil kozmik ışınlar, reaksiyon ürünü olan,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  ve  $^{22}\text{Na}$  gibi radyoaktif çekirdeklere de kozmojenik radyoaktif çekirdekler denir. Güneşten dünyaya sürekli olarak 1 keV'lik enerjilerde parçacıklar gelmektedir. Bu parçacıklardan çok az bir kısmı yer seviyesine kadar ulaşabilmektedir.

### 1.2.2. Yapay Radyoaktiflik

Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması olayıdır. Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarını kullanmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişimin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlamaktadır [24].

Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler Tablo 2'de gösterilmektedir. 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 açmaktadır.

Tablo 2. Yapay radyoaktif çekirdekler

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
<sup>60</sup> Co	5.3 (yıl)	$\beta, \gamma$
<sup>65</sup> Zn	244 (gün)	$\gamma$
<sup>90</sup> Sr	29 (yıl)	$\beta$
<sup>90</sup> Y	64 (saat)	$\beta$
<sup>125</sup> I	60 (gün)	X
<sup>131</sup> I	8 (gün)	$\beta, \gamma$
<sup>134</sup> Cs	2,1 (yıl)	$\beta, \gamma$
<sup>137</sup> Cs	30 (yıl)	$\beta, \gamma$
<sup>155</sup> Eu	4,96 (yıl)	$\beta, \gamma$
<sup>238</sup> Pu	87,7 (yıl)	$\alpha$
<sup>239</sup> Pu	$2,4 \cdot 10^2$ (yıl)	$\alpha, \gamma$
<sup>240</sup> Pu	$6,5 \cdot 10^3$ (yıl)	$\alpha$
<sup>241</sup> Pu	14,4 (yıl)	$\beta$

### 1.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Tabiatta atom çekirdeklerinin bir kısmı kararlı, bir kısmı ise kararsızdır. Kararsız çekirdekler, taşıdıkları fazla enerjiyi parçacık çıkarmak veya ışıma yapmak suretiyle atarlar. Çekirdeklerin böyle kendi kendine parçacık çıkararak başka bir izotopa veya aynı izotopun farklı bir durumuna dönüşmesi olayına radyoaktif bozunma denir.

Bazı radyoaktif atomların kendi kendine bozunması zamandan bağımsızdır. Tamamen tesadüfî bir karakter gösterir. Bozunma sayısı sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama bozunma sayısından bahsedilir.

Radyoaktifliğin keşfedildiği 1896 yılını izleyen üç yılda yapılan deneylerde, saf bir radyoaktif numunenin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktifliğin tüm numunede değil de tek tek atomlarda değişikliği temsil ettiğinin anlaşılması için daha birçok yılın geçmesi gerekmiştir.

Bozunmanın istatistiksel yapıda olduğunu, yani herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilinememesi ve bu hipotezin doğrudan üstel kanuna uyduğunun anlaşılması ise iki yıl almıştır. Kuantum teorisinin gelişmesinden önce, bu durumun kabul edilmesi oldukça zor olmuştur [23].

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır.

Eğer herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa sonsuz küçük dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır.

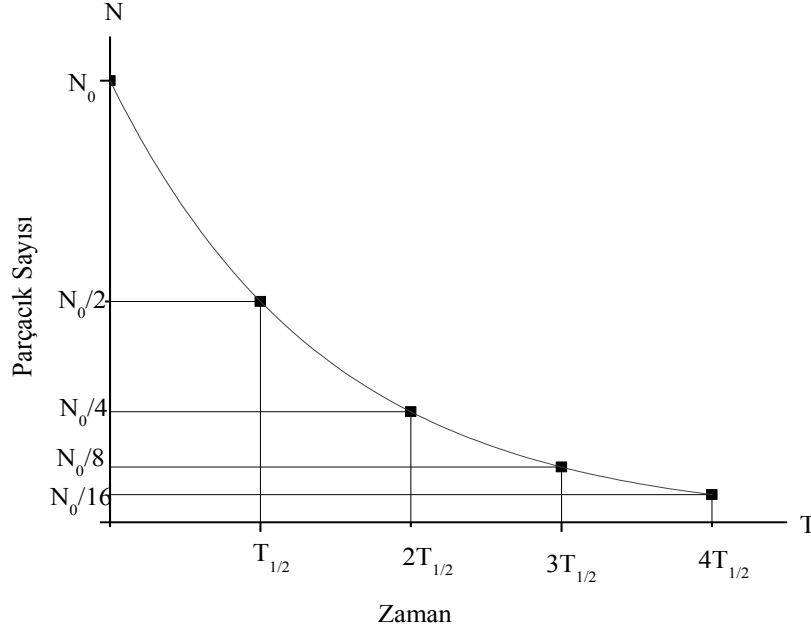
$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

Eksi işareti zamanla radyoaktif atomların azaldığını gösterir. Denklem çözülerek radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \longrightarrow \quad \int \frac{dN(t)}{N(t)} = -\int \lambda dt \quad \longrightarrow \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Denklemden N(t), t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N<sub>0</sub> başlangıçtaki (t=0 iken) çekirdek sayısını ve λ radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir ve birimi s<sup>-1</sup>dir.

Şekil 1’de bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denklemine ait çekirdek sayısı değişimi verilmektedir.



Şekil 1. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

Radyoaktif maddelerle ilgili önemli bir diğer karakteristik değer de yarı ömür dür. Radyoizotopların sahip oldukları kararsız atom sayılarının yarıya inmesi için geçmesi gereken süreye yarılanma süresi (yarı ömür) denir ve  $T_{1/2}$  ile gösterilir. Her izotopun kendine özgü bir yarı ömrü vardır ve bu süre saniyeler kadar kısa veya milyarca yıl gibi uzun olabilmektedir. Tablo 3’de bazı izotoplara ilişkin yarı-ömür ve radyasyon türleri verilmiştir.

Tablo 3. Bazı izotopların yarı-ömürleri

İzotop	Yarı-Ömür	Radyoaktiflik Türü
$^{232}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{10}$ yıl	$\alpha, \gamma$
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^{10}$ yıl	$\alpha, \gamma$
$^{226}\text{Ra}$	1620 yıl	$\alpha, \gamma$
$^{222}\text{Rn}$	3,82 gün	$\alpha$
$^{40}\text{K}$	$1,28 \cdot 10^9$ yıl	$\alpha, \beta$
$^{137}\text{Cs}$	30 yıl	$\alpha, \beta$

Radyoaktif bir maddenin birim zamandaki parçalanma sayısı, o andaki mevcut atom sayısı ile orantılıdır. Yarı ömrü tayin etmek için denklem 2’de  $N = \frac{N_0}{2}$  olarak alınırsa;



$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \longrightarrow e^{-\lambda t} = \frac{1}{2} \longrightarrow T_{1/2} = -\frac{0,693}{\lambda} \quad (3)$$

elde edilir.

Bozunmanın üstel ifadesi, radyoaktif atomların sayısının sıfır olması için sonsuz zaman olması gerektiğini gösterir. Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir atomun ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Buna göre bir atomun ne kadar yaşayacağı bilinmez, ancak bir grup atomun ortalama ömründen söz edilebilir. Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir.

$\tau$  ortalama ömür de bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır.  $t_1, t_2$  ömürlerine sahip atomların sayıları sırası ile  $dN_1(t), dN_2(t) \dots$  ise ortalama ömür aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + \dots} = \frac{t dN(t)}{dN(t)} \quad (4)$$

burada ( $dN \rightarrow 0$ ) için

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (5)$$

denklem 2'deki  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$  bağıntısı yerine konursa

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{N_0} t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

elde edilir.

### 1.3.1. Peş Peşe Bozunma Kanunu

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peş peşe bozunmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu ürün de radyoaktif ise bu da başka bir elemente bozunur. Birçok durumda bu peş peşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürünün de kararlı bir elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Şayet işe radyoaktif ana izotopun belli sayıda atomlarıyla başlanmışsa verilen herhangi bir anda bozunma ürünün atomlarının sayısı ne olacaktır. Bu sayılar şu şekilde hesaplanabilir. Herhangi bir  $t$  anında,  $\lambda_1$  bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı  $N_1$  olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını  $N_2$  ile gösterelim. Bunlar da  $\lambda_2$  bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı ise  $N_3$  olsun. Ayrıca,  $t = 0$  iken  $N_1 = N_{10}$ ,  $N_2 = N_{20}$ ,  $N_3 = N_{30}$  olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (7)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (8)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (9)$$

7 bağıntısı  $N_1$ 'in bozunma hızını verir. 8 bağıntısı  $N_2$  tipindeki atomların  $\lambda_1 N_1$  hızıyla üretildiklerini ve  $\lambda_2 N_2$  hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. 9 bağıntısından  $N_3$  atomlarının üretim hızı elde edilir.

7 denkleminde  $t = 0$  da  $N_1 = N_{10}$  integrali alınırsa

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

elde edilir.  $N_1$ 'in bu değeri denklem 8 de yerine konulursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (11)$$

olur. Bu bağıntının iki tarafı  $e^{\lambda_2 t}$  ile çarpılırsa

$$\frac{d}{dt}(N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (12)$$

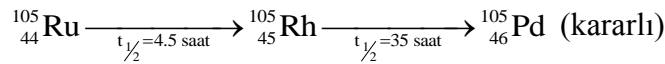
bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (13)$$

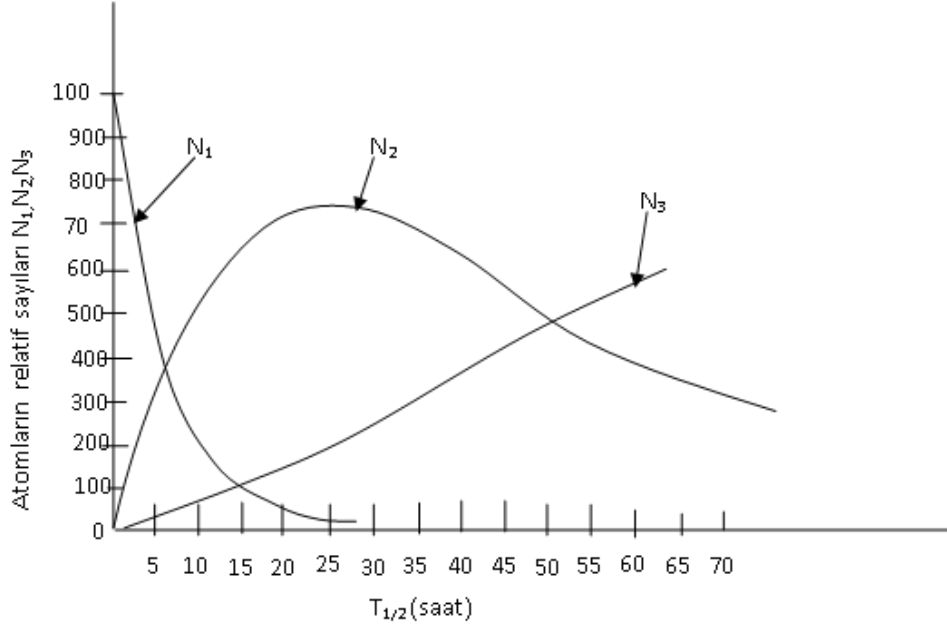
elde edilir. Benzer şekilde 9 bağıntısı  $t=0$ 'da,  $N_3 = N_{30} = 0$  şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (14)$$

elde edilir. 10, 13, 14 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 durumları için üretilmiştir. Bundan sonra  $N_{20}$  ve  $N_{30}$ ,  $t=0$  iken sıfır olmasalar bile  $N_1, N_2$  ve  $N_3$  için bağıntılar üretmek mümkündür. 10, 13, 14 bağıntılarının nasıl kullanılacağına örnek olarak



verilebilir.  $t=0$  iken  $N_{10} = 100$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  şartları altında başlayan bu  ${}^{105}_{44}\text{Ru}$  bozunmasıyla oluşan  $N_1, N_2$  ve  $N_3$  'ün  $t$ 'ye göre değişimi Şekil 2'de verilmektedir [25].



Şekil 2. Peş peşe bozunma grafiği

### 1.3.2. Radyoaktif Denge

#### 1.3.2.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin  $\lambda_1$  bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da  $\lambda_2$  sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Eşitlik 13,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (15)$$

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,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (16)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

### 1.3.2.2. Sürekli Denge

Denklem 12’te  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  durumunu ele alalım.  $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$  ve  $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$  yazabiliriz. Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (17)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla  $e^{-\lambda_2 t}$  terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşır ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (18)$$

elde edilir.  $\lambda_1$  çok küçük olduğundan  $\lambda_1 N_1 \approx 0$  olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

### 1.4. Radyasyon ve Madde ile Etkileşmesi

Radyasyonu ortamda yol alan enerji olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım kapsamında doğal ya da radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromagnetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de “Radyasyon” olarak adlandırılır.

Radyasyon temel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyonlardır. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hareketli mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgalarıdır. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir [24].

Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık mor renk ötesine gider ve mor ötesi olarak adlandırılır. Mor ötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak mevcuttur ve eğer şiddeti büyükse ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilebilir.

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da iki gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır.

İyonlaştırıcı radyasyonlar, radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda, madde içerisinde iyonizasyon oluşturan radyasyonlardır. Birçok radyasyon tipi bu gruba girmektedir. Örnek olarak alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötronlar, X ve gama ışınlarıdır. Bu radyasyon tiplerinden elektrik yüklü olanlar madde ile etkileşmeleri sırasında doğrudan iyonizasyona neden olmaktadır. Bu nedenle de bu tip radyasyonlara “doğrudan iyonlaştırıcı radyasyonlar” denir. Bir de elektrik yüklü olmadıkları halde madde içinde iyonizasyona neden olan radyasyon çeşitleri vardır. Bunlara ise “dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlar” adı verilmektedir. Bu tip radyasyonlar arasında nötronlar, X ışınları ve gama ışınları sayılabilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ise radyasyon karakteri göstermekle birlikte madde ile etkileşmesi sırasında maddeyi iyonize etmeyen radyasyon çeşitleridir. Bunlar arasında kızıl ötesi ışınlar ve görünür ışınlar sayılabilirler.

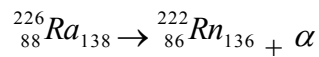
#### 1.4.1. Alfa Parçacıkları

Alfa ışınları parçacık radyasyonlarıdır ve esas itibarıyla, Helyum çekirdeği olup enerjileri 3–5 MeV arasında değişen pozitif yüklü parçacıklardır. Bir başka deyişle her alfa parçacığı, 2 proton ve 2 nötrondan oluşmaktadır.

Alfa bozunması işleminde ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütlesi dört birim, yükü ise iki birim azalır. Bu işlem



bağıntısı ile temsil edilebilir. Burada, X ana çekirdeği, Y ürün çekirdeği, A çekirdeğin kütle numarasını, Z atom numarasını göstermektedir.  $\alpha$  bozunumuna bir örnek,



dir. Burada  ${}^{226}Ra$ 'nın yarı-ömürü 1620 yıldır ve  $\alpha$  parçacığının kinetik enerjisi yaklaşık 4,8 MeV' dir.

Alfa tanecikleri, pozitif yüklü iki proton ve iki nötrondan meydana geldikleri için bir elektrona yaklaştıklarında, aralarında kuvvetli bir elektrostatik çekim kuvveti meydana gelir. Bu taneciklerin kütlesi yaklaşık olarak elektronunun 8000 katı kadardır. Hızları  $1,6 \cdot 10^7$  m/s mertebesindedir. Enerjilerini esnek ve esnek olmayan çarpışmalarla kaybederler. Alfa tanecikleri çoğunlukla, içinden geçtikleri ortamdaki atomların elektronlarıyla etkileşim yaptıkları için geçtikleri yol üzerinde birçok iyon çifti oluştururlar [26]. +2 elektrik yüklerinden dolayı madde içinden geçerken kuvvetli iyonizasyona neden olurlar. Havada her seferinde 32,5 eV vererek bir “iyon çifti” oluştururlar. Bir başka deyişle ortamdaki atomlardan negatif yüklü elektronları koparıp atomlar arası uzaya çıkmalarına neden olarak sonuçta atomları pozitif ve negatif elektrik yüklü kısımlara ayırtmış olurlar.

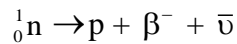
Alfa taneciklerinin enerjileri bu şekilde tümüyle soğurur. Alfa parçacıklarının kütlesi ağır olduğundan madde içindeki menzili kısadır. Bu tanecikleri bir kağıtla bile durdurmak mümkündür. Derinin yüzey tabakasından geçebilirler. Solunum veya sindirim gibi herhangi bir yolla vücut içine girmedikleri sürece, etkileri sadece yüzeyseldir.

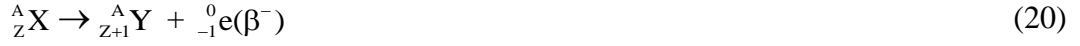
#### 1.4.2. Beta Parçacıkları

Beta ışınları, kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan yüksek enerjili elektronlardır. Kararsız çekirdeklerde protonlar ve nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri daha yakından incelendiğinde enerji fazlalığından kurtulmak için nükleonlarda bazı değişiklikler olduğu göze çarpar. Bu değişiklikler protonların nötronlara, nötronların da protonlara dönüşmesi şeklindedir.

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonunu nötrona veya bir nötronunu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir.

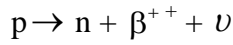
$\beta^-$  Bozunumu :  $\beta^-$  yayınlanması işleminde elektrik yükünün korunumu bir nötronun bir protona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. Bozunma denklemi,





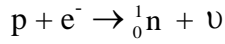
şeklindedir. Bu ifade, nötronun bozunarak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir.

$\beta^+$  Bozunumu: Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır.  $\beta^+$  bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,



şeklindedir.

Elektron Yakalama: Bu işlemde ise çekirdek etrafında en yakın yörüngede dönen elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Bozunma denklemi,



şeklindedir.

Beta parçacıklarının enerjileri 0,8-3 MeV olup, hızları ise yayınladığı radyoaktif maddenin çeşidine göre  $1,2 \cdot 10^8$ - $2,8 \cdot 10^8$  m/s arasında değişir. Beta parçacıklarının madde içinden geçmesi ve iyon çifti oluşturmaları alfa parçacıklarına benzer. Ancak yine de aralarında önemli farklar vardır. Beta parçacıklarının kütleleri alfa parçacıklarından küçük olduğundan aynı enerjide oluşturdukları özgül iyonizasyon daha küçüktür. Alfa parçacıkları radyoaktif kaynaktan genellikle aynı enerjide, nadiren iki üç farklı enerjide çıkarlar. Beta parçacıkları ise sürekli enerji dağılımına sahiptirler. Beta parçacıkları, madde içinden geçerken atom çekirdekleri ve elektronlarla çarpışır ve yönlerinde değişiklik olur. Beta parçacıkları, kütlelerinin küçük olması ve bir tek elementer yükleri nedeniyle, alfalar



gibi kolayca durdurulamazlar ise de, yüksek enerjilere çıkmadıkça madde içine fazla nüfuz edemezler.

### 1.4.3. Gama Işınları

Gama ışınlarının kaynağı atom çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklarından meydana gelir. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlamasından sonra çoğu zaman kararlı durumda kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu çekirdek, oluştuğundan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlamak üzere fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır.

Gama ışınlarının dalga boyları  $10^{-10}$  m ile  $10^{-14}$  m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede gericilik 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.

Maddeye girdiklerinde gama ışınları değişik şekillerde atomla etkileşebilirler. Üç ana etkileşim Fotoelektrik Soğurma, Compton Saçılması ve Çift Oluşumu'dur. Üç durumun tümünde serbest elektronlar üretilir ve bu elektronlar madde içinde yolları üzerinde yavaşlatıldığından elektron-iyon veya elektron-delik çiftleri oluştururlar. Birçok foton dedektöründe, ya bir fotonun geçişini dedekte etmede ya da yüklü parçacığın miktarını ölçmeyle onun enerjisini tayin etmede bu yüklü parçacıklar kullanılır.

#### 1.4.3.1. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olayda, foton bağlı bir elektronla etkileşir ve foton enerjisinin tümü soğurulur. Elektron  $E_e$  enerjisiyle atomdan fırlatılır:

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (23)$$

Burada  $E_b$  bağlanma enerjisidir. Bir miktar enerji atoma verilir. Bu enerji denklem (23)'te ihmal edilmiştir. Hem enerjinin hem de momentumun korunması mümkün olmadığından fotoelektrik soğurma bağlı olmayan elektronlarda vuku bulmaz.

Etkileşme vakumda olmadıkça, fırlatılan elektron komşu materyalde yavaşlatılır ve enerjisi orada soğurulur. Fırlatılan elektron bir atom kabuğunda bir delik bırakacağından bu atom bir veya daha fazla X ışınlarının veya Auger elektronlarının yayımıyla yeniden uyarılmış olur. Eğer bu etkileşme bir katı malzemede vuku bulursa X ışınları çevredeki malzeme tarafından soğurulur. Bundan dolayı çoğu durumda bu etkileşme, etkileşme bölgesine yakın malzemeye tüm foton enerjisinin transferini içerir.

Her ne kadar etkileşme tesir kesiti basit bir analitik ifadeyle açıklanamasa da, fotonun  $E_\gamma$  enerjisine ve malzemenin  $Z$  atom numarasına bağlılığı yaklaşık olarak

$$\tau = \text{sabit. } Z^{4,5} E_\gamma^{-3} \quad (24)$$

ifadesiyle tanımlanabilir.

Güçlü  $Z$  bağlılığı göstermektedir ki, yüksek  $Z$ 'li materyal foton soğurulmasında çok etkindir. Foton enerjisine bağlılık niçin bu etkin düşük enerjilerde etkileşmenin baskın şekli olduğu, fakat yüksek enerjilerde ihmal edilebilir olduğunun sebebidir.

#### 1.4.3.2. Compton Saçılması

Compton saçılması olayında, foton enerjisinin yalnızca bir kısmı elektrona aktarılır ve artakalan enerji ikincil bir foton olarak görülür. Enerji ve momentum korunumundan, saçılan foton ve elektronun enerjileri yayıldıkları açıya bağlıdır. Saçılma açıları Şekil 3'teki gibi tanımlanır.  $E$  gelen fotonun enerjisi,  $E'$  ve  $E_e$  sırasıyla çıkan fotonun ve elektronun enerjileri ve  $\alpha$ ,  $E / m_0c^2$  olsun. Burada  $m_0c^2$  elektronun durgun kütesine uyan enerjidir (511 keV). O halde ikincil fotonun enerjisi

$$E' = E [1 + \alpha(1 - \cos\theta)]^{-1} \quad (25)$$

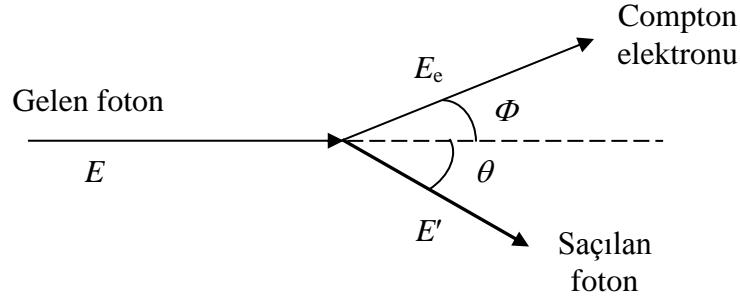
ve saçılan elektronun enerjisi

$$E_e = E \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right\} \quad (26)$$

ile verilir. İki açı ise

$$\tan \Phi = 1/[1 + \alpha \tan(\theta/2)] \quad (27)$$

bağıntısıyla ilişkilidir. Çok küçük foton saçılma açıları için elektron enerjisi sıfıra gider ve bundan dolayı ikincil foton yaklaşık olarak gelen fotonla aynı enerjiye sahiptir. Fakat  $180^\circ$ 'lik saçılma açısı için ikincil foton  $E/(1+2\alpha)$  olan büyük bir enerjiye sahiptir.



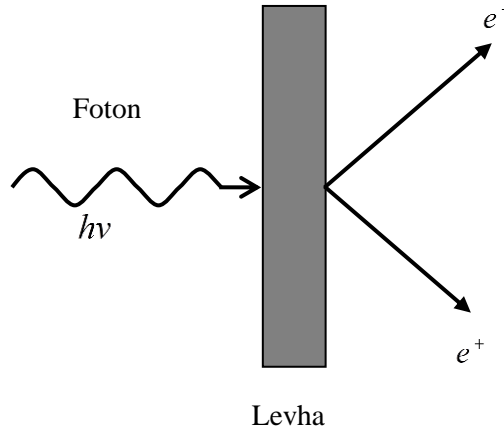
Şekil 3. Compton saçılması

Bu olay saçılan fotonun yayımını içerdiğinden gelen fotonun enerjisi ilk etkileşme bölgesinde toplanmaz. Tüm foton enerjisini araştırmak için, ikincil foton ve onun etkileşme terimini takip etmeliyiz. Yüksek enerjili (1 MeV gibi) bir foton için, ardışık fotoelektrik soğurma olayı ile son bulmadan önce her biri ikincil bir foton enerjisi üreten bir seri Compton saçılması olayı olabilir. Bundan dolayı gelen foton enerjisi materyalin büyük bir hacmi içine dağıtılabilir.

### 1.4.3.3. Çift Oluşumu

Birkaç MeV'lik  $\gamma$  ışınları için çift oluşumu öne çıkan etkileşme mekanizmasıdır. Bu olayda fotonun enerjisi nükleer Coulomb alanı içinde bir pozitron elektron çiftine dönüşür.

$$\gamma \text{ fotonu} \rightarrow e^+ + e^- \quad (28)$$



Şekil 4. Çift oluşumu

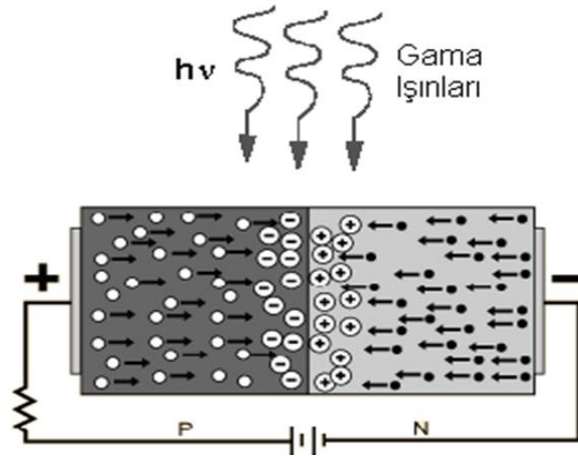
Bundan dolayı foton enerjisi, elektronun durgun kütle enerjisinin iki katından daha büyük yani (1022 keV) olmalıdır. Fazla enerji,  $E_\gamma - 2m_0c^2$ , kinetik enerji olarak iki parçacık arasında paylaşılır. Hem elektron hem de pozitron bitişik materyalde yavaşlatılır. Pozitron son olarak bir elektronla reaksiyona girer ve yok olur. Eğer bu olay, pozitronun kinetik enerjisinin tümü tamamen kaybolduktan sonra vuku bulursa, yaklaşık  $m_0c^2 = 511$  keV'lik enerjili iki foton üretilir. Bu iki foton momentumun korunumu için hemen hemen zıt yönde yayılır. Elektron genellikle zayıf bir şekilde atoma bağlı olduğu için, küçük bir miktar enerji uygun bir momentumla birlikte atoma transfer olabilir. Bu enerji kaybının sonucu olarak iki fotonun enerjisi  $m_0c^2$ 'den biraz daha az olur.

#### 1.4.4. Radyasyon Dedektörleri

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri için radyasyona hassas cihazlar kullanılır. Radyasyonu tespit etmek için kullanılan tüm dedektörler benzer çalışma özelliklerine sahiptirler. Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek için elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine ve hakkındaki mevcut bilgiye bağlıdır. Gama radyasyonu ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektörler yarı iletken dedektörlerdir.

### 1.4.5. Yarı İletken 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. İçerdeki elektrik alan, elektronları eklem pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Şekil 5’de yarıiletken dedektörlerin basit şematik gösterimi verilmiştir [26].



Şekil 5. Yarıiletken dedektör şeması

## 1.5. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

### 1.5.1. Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi Curie'dir. Herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede  $3,7 \cdot 10^{10}$  bozunma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanmaktadır.

1 Bq = 1 parçalanma/saniye

1 Ci =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq

1 Bq =  $2.7 \times 10^{-11}$  Ci'dir.

### 1.5.2. Işınlama Birimi

Işınlama dozu olarak tarif edilen Coulomb/kg (C/kg) normal şartlar altında  $0^\circ \text{C}$  ve 760 mm Hg basıncında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif veya negatif iyonlar oluşturan X veya  $\gamma$  radyasyonu miktarıdır.  $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$  (Röntgen) veya  $1 \text{ R} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$  dır.

### 1.5.3. Soğurulmuş Doz

Radyasyonla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozudur. Eski özel birimi rad olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurma eşdeğeridir.

$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$

$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$

$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

### 1.5.4. Eşdeğer Doz

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.

$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$

$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Radyasyonun şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının (aktiflik) sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır. Tablo 4'te bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo 4. Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

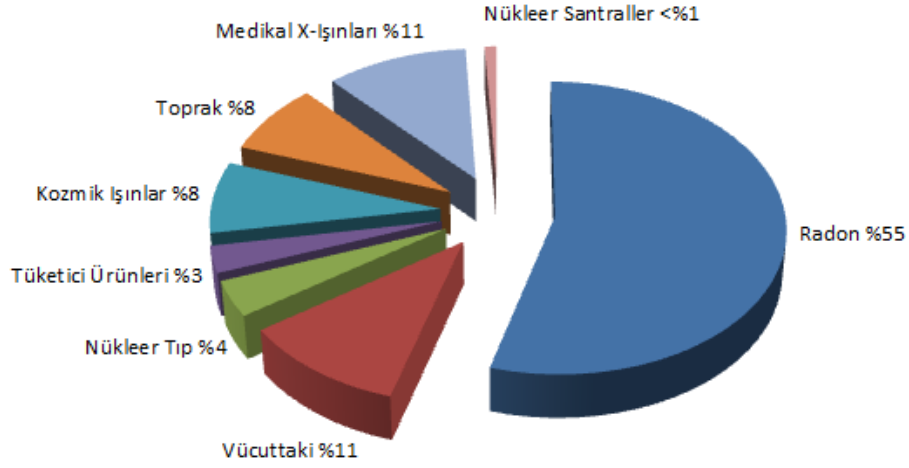
Terim	Birim		Dönüşüm
	Eski	Yeni	
Aktivite	Curie (Ci): $3.7 \times 10^{10}$ parçalanma/saniye	Becquerel (Bq): 1 Parçalanma/ 1sn	1 Ci= $3.7 \times 10^{10}$ Bq 1 Ci=17 GBq
Işınlama Dozu	Röntgen (R): normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında $2.58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya $\gamma$ radyasyonu miktarıdır.	Coulomb/kilogram (C/kg): normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X ve $\gamma$ radyasyonu miktarıdır.	1 C/kg= 3876 R 1 R= $2.58 \times 10^{-4}$ C/kg
Soğurulmuş Doz	Radiation dose (rad): ışınlanan maddenin 1 kg'ında $10^{-2}$ Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy): ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	1 Gy= 100 rad 1 rad= 0.001 Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen equivalent man (rem): 1 Röntgen'lik X veya $\gamma$ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. rem= (rad)x ( $W_R$ )*	Sievert (Sv): 1 Gy'lik X ve $\gamma$ ışını il aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sv= (Gy)x( $W_R$ )*	1 Sv= 100 rem 1 rem= 0.01 Sv
* $W_R$ , "Radyasyon ağırlık faktörü" olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılan bir faktördür.			

## 1.6. Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler,

mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler [24].

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.



Şekil 6. Radyasyon kaynakları

### 1.6.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv / yıl'dır [27].

Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olurlar. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv / yıl'dır.



Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dâhili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır.

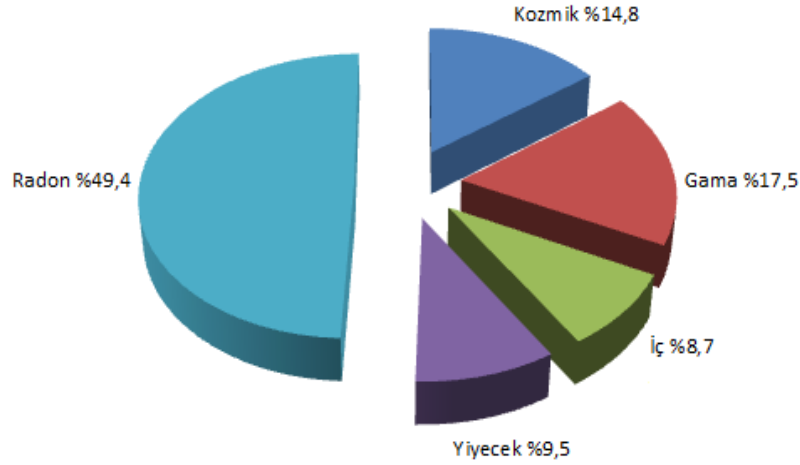
Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv / yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin ( $^{226}\text{Ra}$ ) bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv / yıl'dır.

Şekil 7'de doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir. Tablo 5'de ise değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon doz düzeyleri verilmektedir.

Tablo 5. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri

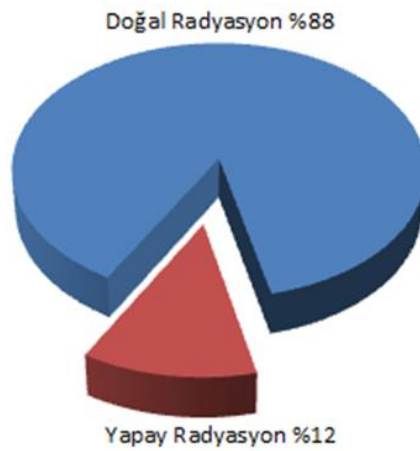
Mersin (Akkuyu)	0.53 mSv/yıl
Ankara	0.44 mSv/yıl
Iğdır (Alican)	0.88 mSv/yıl
Çanakkale	1.23 mSv/yıl
Kars (Digor)	1.58 mSv/yıl
Hindistan (Kerela)	15.80 mSv/yıl
İran (Ramsar)	148.92 mSv/yıl
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40 mSv/yıl



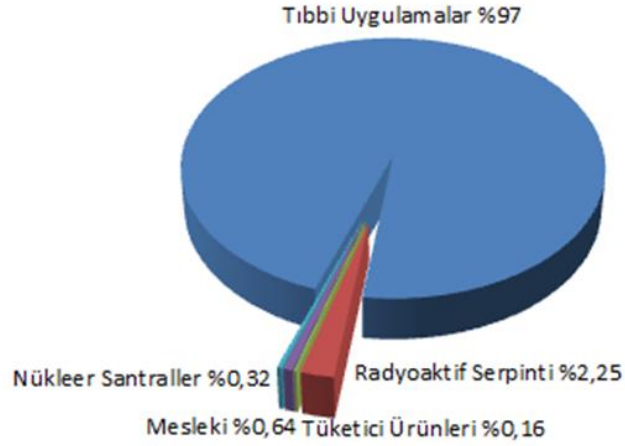
Şekil 7. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

### 1.6.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Şekil 8’de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları, Şekil 9’da yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları



Şekil 9. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre oransal değerleri

Radyasyon Kaynakları	Radyasyon Dozu (mSv)
Kozmik	0.390
Gama Işınları	0.460
İç	0.230
Radon	1.300
Tıbbi	0.300
Serpinti	0.007
Mesleki	0.002
Atıklar	0.001

### 1.7. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde çok uzun yıllardan beri biline gelen birçok zararlı etkisi vardır. Bu etkiler; radyasyon yanıkları, kalıtsal bozukluklar, doğal yaşam süresinin kısalması ve kanser başta olmak üzere radyasyon kaynaklı hastalıklardır [28].

Hatta çok büyük miktarlarda radyasyona maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak mümkündür.

Vücuda giren radyasyon, atom ve molekülleri uyararak, vücut içinde çeşitli iyonlaşmalara sebep olur. Bu fiziksel etki süratle gelişir ve yaklaşık  $10^{-15}$  s' den daha kısa sürer. Bu etkiyi, insan vücudunda meydana gelen ve  $10^{-6}$  s süren kimyasal süreç takip eder. Bu iki basamağı takiben biyolojik değişimi içeren ileri etkileşmeler başlar. Sonuç olarak, vücuda girmiş olan radyasyon 1s'den daha kısa bir sürede atom ve molekülleri uyarır. Böylece vücutta fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlerin oluşmasına neden olur. Vücuda giren tahrip edici radyasyonun genetik etkiler oluşturması ve bundan dolayı bir takım rahatsızlıkların görülmesi için uzun bir süre geçmesi gerekir. Radyasyona bağlı oluşan hastalıklar için gizli bir karakteristik süreç vardır. Örneğin bu süreç, kemik kanseri ve lösemi için en az 2 yıl gibi bir gizlilik süreci gösterirken, vücutta bir tümör kitlesinin oluşumu için bu süreç 10 yıla kadar çıkabilir [29].

İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri yüzeysel olabilir, deri ve saçlara etki eder veya beden derinliklerinde olabilir, kanda düzensizlik, tümörler, kemik iliğinde hasar yaparlar. İyonlaştırıcı radyasyonun sağlığa ne kadar zararlı olduğu ve alınan doz miktarlarına bağlı olarak oluşacak zararlı etkilerin ne olduğu konusu halk sağlığı açısından daima önemli bir konudur. Eğer alınan doz çok fazla ise (örneğin 1Gy'den fazla), birkaç saatten başlayıp bir haftaya kadar vücutta biyolojik etkiler görülür. Bu tür kısa süreli etkilere akut etkiler denir ve bunlar doğal radyasyondan alınan dozun dışındaki kaynaklardan oluşur. Düşük dozlar için biyolojik etkiler, yıllarca süren bir periyottan sonra kendini gösterir ve bu tip etkilere kronik etkiler adı verilir. Düşük dozlarda alınan radyasyon zamanla insan üzerinde genetik etkilere yol açarken, yüksek dozlarda alınan radyasyon ise kısa süre içerisinde somatik etkilere neden olur [30].

### **1.7.1. Somatik Etkiler**

Somatik etkiler kısa süreli olarak alınan çok yüksek radyasyon dozlarının meydana getirdiği şiddetli etkilerdir. Somatik etkiler belirgin ve rastgele etkiler olmak üzere ikiye ayrılır. Belirgin etkiler alınan doz miktarına bağlı olarak değişebilir ve etkisi başlangıçta alınan doza göre değişir. Bu etki; göz bebeklerinde katarak oluşması, erkeklerde geçici kısırlık, kadınlarda ise sürekli kısırlık şeklinde ortaya çıkar. Rastgele etkiler ise gelişigüzel

olarak alınan doz miktarına bağlı olarak ortaya çıkar. Bu tür etkiler genelde kötü huylu tümörlerin oluşmasına yol açarak kanser hastalığına neden olur [31].

### 1.7.2. Genetik Etkiler

İyonlaştırıcı radyasyonunun en önemli özelliklerinden biri de canlı hücrelerinde kalıtsal bilgiyi içeren DNA molekülünde tahribat yaparak kuşaktan kuşağa aktarılabilen farklılıklar oluşturmasıdır. Bu genetik değişimler, iyonlaştırıcı radyasyonun hücreye alınmasıyla birlikte hücre çekirdeğini saran sitoplazmanın içerisinde bulunan su moleküllerinin yapısını bozmasıyla başlar. Canlıların tüm özellikleri genler tarafından belirlendiği için genlerdeki bu değişiklikler çok önem arz etmektedir. Örneğin; kalıtsal açıdan üreme hücrelerinde oluşan değişiklikler çok önemlidir. Çünkü bu değişiklikler sonraki kuşaklara aktarılabirler, böylece diğer nesiller de bu zararlı değişikliklerden etkilenmiş olurlar [32].

### 1.8. Denizlerdeki Radyasyon

Denizlerde radyasyon bulunmasının başlıca nedeni doğal veya yapay orijinli radyonüklidlerden kaynaklanır. Doğal radyonüklidler yer kürenin oluşumu sırasında ortaya çıkan ve günümüze kadar varlıklarını sürdüren uranyum ve toryum serisi bozunum ürünleri ile  $^{40}\text{K}$  ve kozmik ışınların atmosferde oluşturduğu  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  vb. gibi radyonüklidlerdir.

Deniz ortamlarında doğal radyonüklid konsantrasyonları yapay gübrelerin, fosil yakıtların, deterjan ve pestisid kullanımının, fosfat işleme tesislerinin ve fosil yakıt kullanan termik santrallerin çoğalması ile hızla artmaktadır. Örneğin bir termik santralde, 1 GW elektrik üretiminde kullanılan kömürden çevreye yılda  $10^9$ - $10^{11}$  Bq  $^{220}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$ ,  $10^8$ - $10^{10}$  Bq  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  yayılmaktadır [33, 34].

Deniz ortamlarında radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en önemli yapay radyasyon kaynakları atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba ve silah denemeleri sonucu oluşan radyoaktif serpintilerdir. Ayrıca nükleer tesislerde meydana gelen kazalar ve sızıntılar, radyoaktif atık yığınları, nükleer denizaltı ve uçak kazaları da deniz ortamlarındaki yapay radyonüklid kaynakları arasında yer almaktadır [17].

1963 ve öncesi nükleer silah testleri ve 1986 yılındaki Çernobil kazası sonucunda geniş miktarda yapay radyonüklid kısa zamanda atmosfere yayılmıştır. 1945 yılından günümüze kadar geçen zamanda yayılan radyonüklidler arasında sadece uzun yarı ömürlü olanlar ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  gibi) deniz ortamlarında ve canlıların vücudunda kalmıştır. Bu radyonüklidlerden biyolojik bakımdan en önemlileri 500 ile 1000 yıllık bir süre için potansiyel tehlikeli sayılan  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$ 'dir [35].  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{90}\text{Sr}$  karşılaştırıldığında ise iç ışınlamada en etkili olanın  $^{137}\text{Cs}$  olduğu saptanmıştır [36].

Potasyuma benzer kimyasal özelliklere sahip alkali bir metal olan sezyumun radyoaktif izotoplarından biri olan  $^{137}\text{Cs}$ , nükleer fisyonun önemli ürünlerinden biridir.  $^{137}\text{Cs}$ , 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 [17].

$^{137}\text{Cs}$ 'un 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  $^{137}\text{Cs}$ 'den Avrupa ve Asya'nın kara ve deniz olmak üzere pekçok bölümü etkilenmiştir. Tyler vd. [37], 1960'lı yılların ortalarına kadar nükleer denemeler sonucu oluşan toplam  $^{137}\text{Cs}$ 'nin %90'ının yeryüzünde biriktiğini rapor etmişlerdir

Deniz ortamlarına kuru ve yağ çökeltme şeklinde havadan giren radyoaktif kirleticiler, ayrıca akarsular yoluyla da denizlere taşınmaktadır. Diğer taraftan Çernobil kazasında olduğu gibi radyasyonla kontamine olmuş toprakların erozyonla denizlere taşınması da bu ortamların kirletilmesinde etkili olmaktadır. Deniz ortamına herhangi bir yolla giren radyoaktif kirleticiler su, sediment ve organizma arasında döngüye uğramaktadır [38].

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. Besin ya da sudan olan biyobirikimin nispi önemi radyonüklid türüne ve maruz kalınan şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Biyobirikim olayı birçok çevresel ve doğuştan olan faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bunların bazıları, radyonüklidin fiziksel-kimyasal formu, tuzluluk, sıcaklık,

diğer elementlerle olan ilişki, organizmanın büyüklüğü, fizyolojisi, yeme alışkanlığı vb. faktörlerdir.

Organizmalar tarafından biriktirilmiş olan radyonüklidler dikey ve yatay olarak aktif olarak taşınabilmekte ya da, metabolik atıklar, vücut kılıfı, yumurta gibi biyojenik ürünler ile pasif olarak organizmalardan atılmaktadır.

Deniz organizmalarında biyobirikimle konsantre olan radyonüklidlerin o organizma üzerinde toksik etkisi olmasa bile, insana besin yolu ile geçmesi önemli bir çevre sorunudur [38].

### **1.9. Makroalgler**

Algler fotosentetik pigmentlere sahip, karmaşık üreme sistemleri olmayan, prokaryotik (çekirdeksiz) ya da ökaryotik (çekirdekli) ilkel bitkisel organizmalar olup mikroskobik tek hücreli canlılardan, çok hücreli, metrelerce uzunluğa kadar erişen deniz yosunlarını içerirler [39]. Alglerin gözle görülemeyen mikroskobik boyutlarda olanları mikroalg, gözle ayırd edilebilen makroskobik boyutlarda olanları makroalg olarak tanımlanır. Makroalglerin yapısı bir bütün olarak ele alındığında genel anlamda bir tutunma yerine (rizoid), bir gövdeye ve yaprak benzeri bir yapıya sahip oldukları söylenebilir. Gerçek anlamda kök ve damarları olmadığından tallus adı verilen uzantılara sahiptirler [40, 41].

Önemli fotosentetik üreticiler olan algler ışıktaki fotosentez yolu ile karbondioksit ve inorganik maddelerden herbivor formların kullanabileceği yüksek enerji potansiyeline sahip organik maddeler üretirler. Böylece su ortamındaki besin dengesinin ve çözünmüş oksijen oranının artmasını sağlayarak besin zincirinin ilk halkasını oluştururlar [12, 41].

Algler denizlerin yanı sıra tatlı ve acı sularda yaşayabilirler. Yaşam alanları suların üst kısmından ışığın girebileceği derinliklere kadar olabilir. Alglerin inebildikleri derinlikler bitkinin türüne, suyun kirliliğine, ışık alma durumuna ve diğer ekolojik etmenlere göre değişiklik gösterebilir. Bazı alglerin 80-100 m derinliklere kadar inebildikleri bilinir [42].

Algler su içerisinde çeşitli ortamlarda yetişirler. Çamurlu ve kumlu ortamlarda gelişenler 'epipelik', makroskobik bitkiler üzerinde gelişenler 'epifitik', taşlar üzerinde gelişenler 'epilitik' ve su hayvanları üzerinde gelişenler 'epizoik' olarak adlandırılır. Pelajik bölgede yetişenlere ise 'fitoplankton' denilir [41].

Denizlerin önemli canlı kaynakları olan makroalgler su canlılarının beslenme, üreme, barınma, ve korunma alanlarını oluştururlar. Pek çok omurgalı ve omurgasız yumurta bırakma, larvaların gizlenmesi ve düşmanlardan korunma alanları olarak makroalglerin buldukları bölgeleri seçerler [41].

Makroalgler gıda, kozmetik, gübre ve kimya endüstrisinde çok geniş kullanım alanlarına sahip olmalarının yanı sıra çevresel koşullara dirençli olmaları ve kirleticileri sudan çekebilme özellikleri sayesinde biyolojik indikatör olarak kirliliğin izlenmesinde ve iyileştirme süreçlerinde kullanılırlar [43] [44].

### **1.9.1. Makroalglerin Sınıflandırılması**

Çiçeksiz bitkiler sınıfına giren makroalgler içerdikleri pigment maddelerine göre Chlorophyta (Yeşil algler), Rhodophyta (Kırmızı algler) ve Phaeophyta (Kahverengi algler) olmak üzere başlıca üç gruba ayrılırlar [42].

#### **1.9.1.1. Chlorophyta (Yeşil Algler)**

Yeşil algler hareketli veya hareketsiz, tek hücreli, kamçılı veya kamçısız, koloni oluşturan, dallanmış veya dallanmamış, iplikli, tüpümsü, yassı, zarsı, yapraksı yapıda olabilen yaklaşık 500 genusa ait 8000 tür ile algler içerisinde önemli bir yere sahiptirler. İçerdikleri klorofil-a ve klorofil-b sayesinde yeşil görünürler. Fotosentez ürünleri nişasta ve yağlardır [42, 45]. Hücrelerindeki kloroplastları kadeh, şerit, disk, halka, ağ, spiral, yıldız şeklinde olup sayıları bir veya daha fazladır. Çoğunluğunda pirenooid vardır [46, 47].

Hücre çeperleri iç tabakada selüloz dış tabakada pektinik maddeden oluşur. Bazı formlarda dış tabakanın müsilaajlı bir yapı kazandığı bilinmektedir. Sitoplazmada geniş merkezi bir koful, tek hücreli örneklerde iki veya daha fazla küçük koful bulunur.

Türlerin %90'ı tatlı sularda, geri kalan %10'luk kısmı ise denizlerin sığ bölgelerinde dağılım gösterir. Bazı türlerin karasal habitatlardaki nemli substratlarda geliştikleri, hayvan ve bitkilerle simbiotik olarak yaşadıkları, bir kısmının da mantarlarla likenleri oluşturdukları bilinir [48, 42, 49, 50].

Yeşil algler (*Ulva sp.*, *Enteromorpha sp.*, *Monostrama sp.*) yüksek miktarda protein, vitamin ve mineral içerdiklerinden dolayı daha çok gıda sektöründe kullanılırlar. Özellikle



Ulva türleri dünyada toplanman yeşil alglerin %25'ini oluşturur [51]. B vitamini bakımından zengin olmaları nedeni ile başta Japonya olmak üzere birçok uzak doğu ülkesinde kurutulmuş veya taze olarak salatalarda ve çorbalarda tüketilirler. Ayrıca gübre olarak tarımda, yem sanayinde, cilt bakım ürünleri olarak kozmetikte ve jel olarak kağıt yapımında kullanılırlar.

### **1.9.1.2. Rhodophyta (Kırmızı Algler)**

Kırmızı algler, alglerin en gelişmiş bölümüdür. Diğer gruplardan; kırmızı, mor, erguvani kırmızı, kahverengimsi kırmızı, siyahımsı kırmızı, gül kırmızısı, sarımsı kırmızı gibi kırmızı rengin değişik tonları ile kolayca ayrılırlar. Birçoklarının hücrelerinde tek çekirdek bulunmasına rağmen bazı üyelerde çok sayıda çekirdek vardır. Hücreler büyük merkezi bir koful ile çevreli iz şeklinde sitoplazma içerir. Hücre çeperi içte selüloz, dışta müsülajlı pektinden oluşur. Bazı üyelerin çeperinde bol olarak kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bulunur [52].

Çoğunlukla denizlerde, bazıları acı sularda, birkaçı hem acı hem tuzlu sularda, çok az bir kısmı da tatlı sularda yaşar. Oluşumlarında bulunan renk maddeleri ya eşit oranda ya da biri diğerine baskın hale gelerek klorofilin rengini örter. Böylelikle farklı derinliklerdeki kırmızı algler hem yüzeyde hem de derinlerde yayılım gösterebilirler. Özel pigmentleri sayesinde kısa dalgalı ve zayıf ışıklardan yararlanarak fotosentez yapabildiklerinden diğer alglerden farklı olarak denizlerin derin zonlarında (60-200 m) yaşayabilirler [52].

Kırmızı algler yaklaşık 5000 tür ve 600 genusa sahip olup büyük çoğunluğu denizlerde kayalara bağlı olarak yaşar. Bunun yanında nadiren de olsa deniz kabukları ve zoostera türlerin üzerinde yaşayanları da vardır.

Kırmızı alglerin tallusları genellikle iplikli, yapraksız ve dantel görünümünde oldukça sık dallanmalar gösterir. Esmer alglere oranla daha küçük ve narin bir yapıya sahiptirler. Kloroplastları bant veya yıldız şeklindedir. Klorofil a ve karotenoidlerin yanı sıra fikoeritrin ve fikosiyenin içerirler. Kırmızı alglerde fotosentez ürünü nişasta yerine Floride nişastası olarak bilinen glikojendir. Glikojen iyotla kırmızı renk verir. Ayrıca yağlar da oluşur. Kramotoforlarında çok sayıda pirenoit bulunması enderdir [53, 54, 52].

Kırmızı algler ağız maddesi içerdiklerinden dolayı büyük bir ekonomik değere sahiptirler.

### 1.9.1.3. Phaeophyta (Kahverengi Algler)

Esmer su yosunları olarak da adlandırılan bu algler bitkiler aleminin çok eski grubu içerisinde yer alırlar. Renkleri zeytin yeşili ile koyu kahverengi arasında değişir. Bu rengin oluşmasının başlıca nedeni özel bir ksantofil pigmenti olan fukoksantinden kaynaklanır. Esmer deniz yosunlarında bundan başka renk maddeleri de vardır. Bunlar klorofil a, violaksantin, neoksantin ve flavoksantindir [49].

Kahverengi alglerin yaşama alanları sadece kayalar değildir. Aynı zamanda epizoik olarak çeşitli mollusk türleri üzerinde, epifitik olarak da diğer algler üzerinde ya da deniz çayırlarının kök ve yaprakları üzerinde gelişirler.

Çok hücrelidirler, büyüklükleri değişik olup aralarında çok küçük boyutlarda algler olabildiği gibi boyları 100 m'yi bulanları da vardır.

Phaeophyta üyelerinde hücreler tek çekirdeklidir. Sitoplazmalar ya birçok küçük koful ya da bir tane büyük koful içerir. Hücre çeperlerinin iç katmanları selülozdan dış katmanlar alginik asidin kalsiyum tuzları olan alginlerden oluşmuştur. Bazı üyelerde çeperin pektinik katmanlarının büyük bir kısmı fukoidinlerden oluşur. Bu iki bileşik müsilağı oluşturarak esmer alglerin en belirgin özelliklerinden birini verir. Kalsifiye çeper çok az gözlenir [55].

Esmer deniz yosunlarının tallusları basit yapılı, dallanan, iplik veya şerit şeklindedir. Bu bölüm üyelerinin çoğu talluslardan kopan parçalarla ya da özelleşmiş bazı yapılarla vegetatif olarak üreyebildikleri gibi hemen hemen tümü izogami, anizogami ve oogami yoluyla eşeysel olarak ya da çeşitli özelliklerdeki sporlar yardımıyla eşeysiz olarak da üreyebilirler [41].

Kahverengi alglerde fotosentez ürünleri nişasta olmayıp manitol (manik asit alkolü), laminarin (bir polisakkarit), algin (müsilağı bir madde), fukosan ve yağlardır.

Kahverengi algler çeşitli deniz hayvanları için hem bir besin kaynağı hem de sığınak görevi yapar. Algin adı verilen ve hücre çeperindeki pektinli maddelere benzeyen bir çeşit kolloidal karbonhidrat nedeni ile ticari amaçla değerlendirilirler [56].

### 1.9.2. Makroalglerin Beslenmede Kullanımı

Başta Uzakdoğu ülkeleri (Japonya, Çin, Kore, Tayland vs.) olmak üzere günümüzde doğal ortamdan toplanan alglerin büyük bölümü insan gıdası olarak tüketilmektedir [57].

Alglerin insan beslenmesindeki öneminin yüksek olması sağlıklı beslenme açısından gerekli maddeleri istenilen düzeyde buldurmalarından kaynaklanır. Özellikle yapılarındaki yüksek protein, vitamin, aminoasit ve mineraller ile düşük yağ miktarı sağlıklı beslenme açısından balıktan sonra alglerin tüketilmesini cazip gıdalar arasına sokmaktadır. Tüm bu besinsel özelliklerinin yanında düzenli alg tüketimi insan sağlığı açısından bazı hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde önemli bir yere sahiptir. [58].

2005 yılı verilerine göre dünyadaki deniz bitkilerinin yetiştiricilik yoluyla üretimi 14,8 milyon tona, toplam üretim miktarı ise (yaş ağırlık olarak) 16,9 milyon tona ulaşmıştır. 2001 yılında bu miktar 10,6 milyon ton (5,7 milyar dolar) iken 2002 yılında ise 11,6 milyon tona (6,2 milyar dolara) yükselmiştir. Sucul bitkilerin üretiminde diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Çin 8,8 milyon ton ile ilk sırada yer almaktadır ve toplam üretimin %71,1'lik kısmını oluşturmaktadır. [59].

Batı ülkelerinde alglerin insan gıdası olarak doğrudan tüketimi yaygın olmadığından pek çok kişi alglerin lezzetsiz olduğunu düşünmektedir. Oysa Uzak Doğu ülkelerinde özellikle Çin, Japonya ve Kore'de deniz kestanesi ve bambu filizlerinin yanında tüm deniz yosunları nutrient içeriklerinin fazla olması nedeniyle tıpkı bir sebze gibi tüketime sunulmaktadır [60]. Uzakdoğu'nun kıyısız toplumları M.Ö 900'lü yıllardan beri yemeklerinde sürekli olarak deniz yosunlarına yer vermişlerdir. Örneğin Japonya'da yılda kişi başı 1,6 kg'dan fazla alg tüketimi söz konusudur [61].

Dünya çapında yaklaşık 160 tür deniz yosunu insanlar tarafından tüketilmektedir. Bunların 54 türünü esmer algler (Phaeophyta), 81 türünü kırmızı algler (Rhodophyta) ve 5 türünü yeşil algler (Chlorophyta) oluşturmaktadır. Özellikle Japonya, Çin ve Kore gibi Asya ülkelerinde alglerin gıdasal tüketimi yüksek seviyelerde olup, tüketim açısından yeşil algler % 5, esmer algler % 66.5 ve kırmızı algler % 33'lük bir orana sahiptirler [62]. Bu tür deniz bitkilerinin bir kısmı çiğ olarak tüketilirken, diğer bir kısmı tuz ile muamele edildikten sonra kurutulup tüketilmekte ve çorba, salata gibi gıdalarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. En yaygın tüketim şekli ise kurutulmuş yosuna pirincin sarılarak hazır yiyecek haline getirilmesidir [57]. İnsan besini olarak kullanılan makroalglerden bazıları konbu (*Laminaria*), mor laver (*nori*), yeşil laver (*aonori*), hiziki (*hizikia*) ve vakame'dir.

### 1.9.3. Makroalglerin Balık Yemlerinde Kullanımları

Kontrollü koşullar altında yapılan balık yetiştiriciliğinde, balıkların ihtiyacını karşılayacak temel besin maddelerini bulduran çeşitli yem rasyonları hazırlanmaktadır. Balık yemlerinde kullanılan en önemli hammadde balık unu olup, yemlere balık türü ve büyüklüğüne bağlı olarak % 30 ile 60 arasında ilave edilmektedir [63]. Balık unu yerine yeme alternatif olarak belirli oranlarda katılan hammaddelerde aranan başlıca özellikler: yüksek proteine sahip olması, balık büyüme ve yem değerlendirme performansına olumsuz etki yapmaması ve herhangi bir şekilde anti besleyici madde taşınamaması olarak sayılabilir [57].

Balık yemlerinde katkı maddesi olarak kullanılan alglerin büyümede, protein sindiriminde, yağ metabolizmasının düzenlenmesinde, karaciğer fonksiyonları, strese yanıt, hastalıklara dayanıklılık, yetiştirilen balıkların vücut bileşenleri ve et kalitesinin de dahil olduğu fizyolojik koşullar üzerinde geliştirici etkileri olduğu bildirilmektedir. [64].

Bunların dışında balık yemlerinde az miktarda alg unu ilavesi lipid sentezini etkileyerek, yağın aktif hale gelmesini sağladığı ve büyüme performansı üzerinde önemli bir etki meydana getirdiği saptanmıştır [65]. Örneğin *Pagrus major* türünde [65] ve kefal türlerinde *Ulva sp.* [66] kullanımının büyüme performansı ve yem değerlendirme kriterlerini desteklediği sonucuna varılmıştır.

### 1.9.4. Makroalglerin Tarımda Kullanımları

Günümüzde makroalglerin, ekolojik tarımda verim ve niteliği arttırmak, bitki büyümesini düzenlemek, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı arttırmak, toprak yapısını iyileştirmek ve hayvan besiciliği amaçlarıyla dünyanın birçok bölgesinde kullanıldıkları bilinmektedir. Deniz yosunu ekstraktları birçok ülkede; örtü altı sebzeçiliği, meyve (turunçgil, asma, elma, armut vb.) ve süs bitkileri (orkideler vb.) yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır [41].

Deniz yosunu ürünleri toprakta uzun süre kaldıkları zaman doğal şartlarda kolayca parçalanarak bol miktarda azot ve kalsiyum ortaya çıkarmaktadırlar. Ayrıca iz element olan magnezyum (Mg), mangan (Mn), bor (B), demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve kobalt (Co) da içermektedirler. Deniz yosunlarının bu özellikleri içerdikleri makro ve mikro elementler (N, Ca, Mg, Mn, B, Fe, Zn, Cu, Co), bitki büyüme düzenleyicileri

(oksinler, sitokininler, gibberellinler, absisik asit) ve betainler gibi bileşiklerden kaynaklanmaktadır [41].

Deniz yosun özütleri tarımda daha iyi kök gelişimi, daha yüksek oranda tohum çimlenmesi, meyve ve sebzelerde saklama süresinin uzatılması, daha kısa saplı ve daha büyük çiçek, yaprak oluşumu sağlamak için kullanılmaktadır. Hastalık ve zararlılar ile don, kuraklık gibi stres koşulları, olumsuz toprak koşullarına dayanıklılığın artırılması, topraktaki besin elementlerinin alımının artırılması, bitkilerin daha uzun süre genç kalmalarını sağlamak gibi birçok ayrımlı etkileri belirlenmiştir [67].

### **1.9.5. Makroalglerin Endüstride Kullanımları**

Makroalglerden elde edilen ürünlerin çeşitli endüstrilerde önemli bir yeri vardır. Gıda olarak tüketimleri ve yem sanayinde kullanımlarının yanı sıra alglerden farklı endüstrilerde kullanılmak üzere birçok hammadde elde edilmektedir. Elde edilen maddelerin başlıcaları agar, karragen ve alginattır [68]. Bu maddeler boya, kauçuk, tekstil, kağıt, inşaat, kozmetik, diş macunu, traş kremi, deri merhemi, losyon, ilaç, alkol, yiyecek gibi oldukça geniş sanayi kollarında hammadde olarak kullanılmaktadır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışma Alanı

Karadeniz; 40°- 46° N enlemleri ile 27°- 41° E boylamları arasında bulunan yarı kapalı bir iç denizdir. Güneybatıda Türk Boğazlar Sisteminin olanak verdiği miktarda dünya denizleriyle bağlantısı bulunur. Bu kısıtlı su değişimi, yüzeyden sadece 150 m derinliğe kadar (toplam hacmin % 15'i) oksijen içeren, daha derinde ise hidrojen sülfür bulunduran neredeyse tamamı oksijensiz bir ortamın oluşmasına yol açar. Yüzey alanı  $4.2 \times 10^5 \text{ km}^2$  ve hacmi  $5.3 \times 10^5 \text{ km}^3$  olan Karadeniz, dünyanın en büyük anoksik basenidir. Karadeniz'in derin düz tabanı (<2000 m) toplam alanın % 60'ından fazlasını kapsar. En derin yeri yaklaşık 2300 m olup ortalama derinliği 1240 m olarak hesaplanmıştır [69].

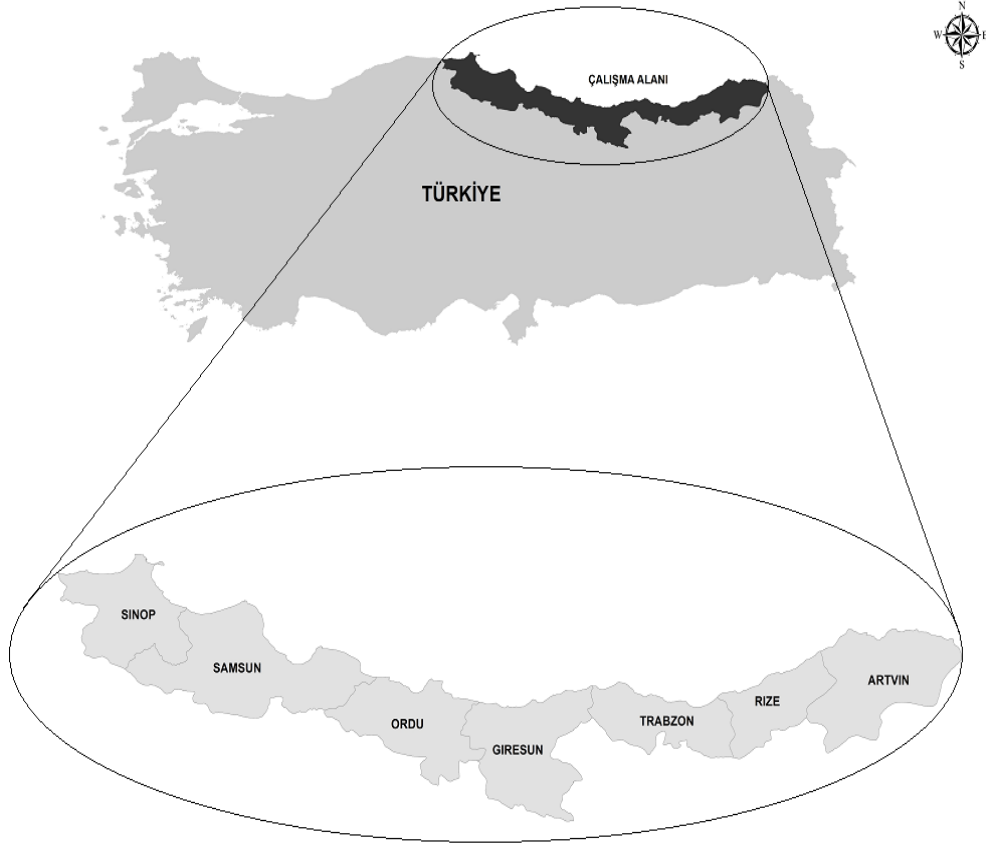
Kıyı topografyası kıyıya paralel, yaklaşık 20 km enine bir kuşak boyunca oldukça belirgin değişimler gösterir. Dinyeper, Dinyester ve Tuna gibi büyük nehirlerin denize döküldüğü Kuzeybatı Karadeniz bölgesinde geniş bir kıta sahanlığı vardır. Geniş kuzeybatı sahanlığı yaklaşık 100 m derinliğe kadar Kırım yarımadası ile Karadeniz'in batı kıyısı arasında yer alır ve batı-güneybatı kıyıları boyunca güneye uzanır. Süreklilik gösteren bu düz kıta sahanlığının eni güneye doğru azalır ve derinliğin 100 m den birden 1500 m ye indiği Sakarya Kanyonu'nda sonlanır. Güney kıyılarında Sakarya, Yeşilirmak ve Kızılırmak nehirlerinin boşaldığı bölgelerde küçük ölçekli yöresel kıta sahanlıkları bulunur [70, 71, 72].

Karalarla çevrili büyük, kapalı bir basen oluşu nedeni ile Karadeniz'deki yüzey sularının karakteristiği, temelde tatlı su girdisi tarafından kontrol edilmektedir ve sığ İstanbul Boğazı boyunca gerçekleşen alış veriş oldukça kısıtlıdır [73].

Geçmişte yapılan ve günümüzde uydu analizleri ile detaylı oşinografik çalışmaların sonucunda desteklenip geliştirilen incelemeler neticesinde, siklonik bir sınır akıntısı (sırt akıntısı) Karadeniz'in genelindeki dolaşımın ana özelliğidir. Bunun yanında İstanbul Boğazının batısında, Sinop'un doğusunda ve Kırım Yarımadası'nın her iki tarafında, sırt akıntısının kıyılarında bulunan çeşitli antisiklonik girdaplar da gözlenmiştir [72].

## 2.2. Numunelerin Toplanması

Bu tez için belirlenen çalışma alanı Karadeniz Bölgesi'ndeki yedi ili (Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun ve Sinop) kapsamaktadır. Bu kapsamda sözü geçen yedi ilden 32 adet deniz suyu, 30 adet sediment ve 144 adet makroalg örneği toplanmıştır. Toplanan makroalg örneklerinin türleri ve istasyonları Tablo 1'de, deniz suyu ve sediment örneklerinin toplandığı istasyonlar ise Tablo 2'de belirtilmiştir.



Şekil 10. Çalışma alanı

Tablo 7. Makroalg numunelerinin toplandığı istasyonlar

İstasyon No	İstasyon	Makroalg Örnekleri
M1	Artvin (Sarp)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1812).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M2	Artvin (Kemalpaşa)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M3	Artvin (Hopa)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M4	Artvin (Arhavi)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M5	Rize (Fındıklı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M6	Rize (Ardeşen)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M7	Rize (Pazar)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M8	Rize (Çayeli)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M9	Rize (Merkez)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M10	Rize (Çiftekavak)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M11	Rize (Derepazarı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)



Tablo 7'nin devamı

M12	Rize (İyidere)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M13	Trabzon (Eskipazar)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M14	Trabzon (Kıyıcık)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
M15	Trabzon (Of)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M16	Trabzon (Yeniay)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
M17	Trabzon (Sürmene)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M18	Trabzon (Araklı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M19	Trabzon (Yeşilyalı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M20	Trabzon (Arsin)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M21	Trabzon (Yomra)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M22	Trabzon (Yalıncağ)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
M23	Trabzon (Merkez)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M24	Trabzon (Beşirli)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M25	Trabzon (Akyazı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M26	Trabzon (Akçaabat)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)

Tablo 7'nin devamı

M27	Trabzon (Salacık)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M28	Trabzon (Akçakale)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M29	Trabzon (Mersin)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M30	Trabzon (Gülbahçe)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M31	Trabzon (Çarşıbaşı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M32	Trabzon (Vakfikebir)	<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M33	Trabzon (Beşikdüzü)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
M34	Giresun (Eynesil)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M35	Giresun (Çavuşlu)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M36	Giresun (Görece)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M37	Giresun (Yalıköy)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M38	Giresun (Tirebolu)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
M39	Giresun (Espiyeye)	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)

Tablo 7'nin devamı

M40	Giresun (Keşap)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M41	Giresun (Merkez)	<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M42	Giresun (Bulancak)	<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M43	Giresun (Pirazis)	<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M44	Ordu (Gülyalı)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M45	Ordu (Merkez)	<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M46	Ordu (Perşembe)	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M47	Ordu (Fatsa)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
		<i>Ceramium rubrum</i> (C.Agardh 1811)
M48	Ordu (Ünye)	<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M49	Samsun (Merkez)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M50	Samsun (Atakent)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Nees, 1820)
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M51	Samsun (Yakakent)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M52	Sinop (Gerze)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
M53	Sinop (Merkez)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M54	Sinop (Ayancık)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Enteromorpha linza</i> (Agardh, 1883)
M55	Sinop (Türkeli)	<i>Cystoseira barbata</i> (Agardh, 1821).
		<i>Ulva lactuca</i> (Linnaeus, 1753)

Tablo 8. Deniz suyu ve sediment örneklerinin toplandığı istasyonlar

İstasyon No		İstasyon
Deniz Suyu	Sediment	
D1	-	Sarp
D2	S1	Kemalpaşa
D3	S2	Hopa
D4	S3	Arhavi
D5	S4	Ardeşen
D6	S5	Pazar
D7	S6	Çayeli
D8	S7	Rize
D9	-	İyidere
D10	S8	Of
D11	S9	Sürmene
D12	S10	Araklı
D13	S11	Arsin
D14	S12	Yomra
D15	S13	Trabzon
D16	S14	Akçaabat
D17	S15	Çarşıbaşı
D18	S16	Vakfikebir
D19	S17	Beşikdüzü
D20	S18	Eynesil
D21	S19	Görece
D22	S20	Tirebolu
D23	S21	Espiye
D24	S22	Keşap
D25	S23	Giresun
D26	S24	Pirazis
D27	S25	Gülyalı
D28	S26	Ordu
D29	S27	Fatsa
D30	S28	Ünye
D31	S29	Samsun
D32	S30	Sinop

### 2.3. Çalışmada Kullanılan Makroalg Türleri ve Genel Özellikleri

#### 2.3.1. *Cystoseira barbata*

Phylum : *Phaeophyta*

Class : *Phaeophyceae*

Order : *Fucales*

Family : *Cystoseiraceae*  
Genus : *Cystoseira*  
Species : *Cystoseira barbata* (Agardh, 1821) [74].

*Cystoseira* daha çok sıcak, temiz ve oksijeni bol olan denizlerde yaygındır. 60'dan fazla türü vardır. Alginik asitçe zengin olduğundan ekonomik bir algdir [75]. Tallusları yaklaşık 80-100 cm uzunluğa kadar erişebilir. Kuvvetli bir tutunma noktasından yükselen eksen, oldukça sağlamdır ve çevresine doğru çok miktarda dallanma gösterir. Bu dalsı yapı yine çok sayıda dalcıklara ayrılır ve son segmentler dikotomik olarak çatallanır. Gerek yan dallar, gerekse küçük segmentler oval ve şişkin hava keseleri taşırlar. Yaklaşık 2-3 m'den 40-50 m'ye kadar derinlere inerler. Sert zeminlere tutunarak yaşarlar [49].



Şekil 11. *Cystoseira barbata*

### 2.3.2. *Ulva lactuca*

Phylum : *Chlorophyta*  
Class : *Ulvophyceae*  
Order : *Ulvales*  
Family : *Ulvaceae*  
Genus : *Ulva*  
Species : *Ulva lactuca* (Linnaeus, 1753) [76]

Deniz marulu adı verilen *Ulva lactuca* özellikle sığ ve kayalık bölgelerde azot ve fosfor gibi besleyici elementlerin bol olduğu kısımlarda yayılım gösteren kozmopolit bir türdür [77]. Sap şeklinde kısa bir yapıyla zemine tutunur. Algin üst kısmı oldukça geniştir ve kalınlığı iki hücre tabakasından oluşmaktadır. Geniş kenarlı, kırılmaz, yarı şeffaf ve zarımsı marul yaprağına benzer bir yapı göstermektedir. Tallusun uzunluğu 30 cm'den fazladır. Her bir hücre bir çekirdek ve pirenoidli tek kloroplast içermektedir [78]. Tuzluluğa dayanıklı olduklarından hem tuzlu hem acı sularda bulunabilmektedirler. Alg grupları içerisinde yüksek miktarda protein, vitamin ve mineral içerirler. Bu nedenle ulva türlerinin dünyadaki toplamı yeşil alglerin %25'ini oluşturduğu bilinmektedir [79]. Kirliliğe dirençli olmaları nedeniyle metalleri biriktirici ve atık maddeler için biyolojik filtre olarak kullanılırlar.



Şekil 12. *Ulva lactuca*

### 2.3.3. *Enteromorpha intestinalis*

- Phylum : *Chlorophyta*  
 Class : *Ulvophyceae*  
 Order : *Ulvales*  
 Family : *Ulvaceae*  
 Genus : *Enteromorpha*  
 Species : *Enteromorpha intestinalis* (Nees, 1820) [80]

*Enteromorpha intestinalis* yeşil renkte, içi boş barsak benzeri bir yapı gösterir. Dalgalara korunaklı su birikintilerinde genellikle epilitik olarak gelişirler. Dalgalara açık, kumsal kıyılarda serbest yüzen formları görülür. Tallus dallanma özelliği göstermez ancak bazı örneklerde alt kısımlarda iplik şeklinde dallanmalar görülür. Bitkinin boyu 5-25 cm arasında değişebilir [81]. Hücreleri tek sıralı olup bir veya birkaç pirenoid içerir. *Enteromorpha* türleri ortam şartlarına ve kirleticilere duyarlılıkları nedeniyle kıyısız alanlarda biyoindikatör tür olarak kullanılırlar. Ayrıca günümüzde ticari amaçlarla yetiştirilmekte, gıda, kozmetik ve tarım alanında kullanılmaktadırlar.



Şekil 13. *Enteromorpha intestinalis*

#### 2.3.4. *Enteromorpha linza*

- Phylum : *Chlorophyta*  
Class : *Ulvophyceae*  
Order : *Ulvales*  
Family : *Ulvaceae*  
Genus : *Enteromorpha*  
Species : *Enteromorpha linza* (Agardh, 1883) [82]

*Enteromorpha linza* Kuzey Avrupa, Akdeniz ve Karadeniz kıyıları dahil olmak üzere tüm kıyılarda yaygınlık gösterebilen kozmopolit bir deniz yosunudur. Rengi parlak yeşilden koyu yeşile doğru değişiklik gösterir. Tallusu dalsız, sık sık fırfırlı görünümündedir. Tallus uzunluğu 175 cm'e kadar uzayabilir. Tallus genişliği temel olarak ortada daha büyük ve 45 cm'e kadar ulaşabilir. Tallus aşağıya doğru konikleşir ve sıkışık bir hal alır. Sığ denizlerde ve kaya havuzlarında uygun ortama tutunarak hızlıca kolonileşirler. Kloroplastları fincan şeklinde olup 1 veya daha fazla pirenoid içerirler. Tuzluluğa dayanıklı bir tür oldukları için hem tatlı sularda hem de acı sularda yaşayabilirler [83]. *Enteromorpha linza* genellikle ağır metaller gibi kirletici kaynaklara dayanıklı olmaları sebebiyle kentsel ve endüstriyel alanlarda kirlilik göstergesi olarak kullanılırlar [84].



Şekil 14. *Enteromorpha linza*

### 2.3.5. *Ceramium rubrum*

Phylum : *Rhodophyta*  
 Class : *Floridephyceae*  
 Order : *Ceramiales*  
 Family : *Ceramiaceae*  
 Genus : *Ceramium* (C.Agardh 1811) [85]



Bu taksondaki bitkiler tallusları dallı ve ipliksi olan alglerdir. Kahverengimsi kırmızımsı olabilirler. Taşlar, kayalar ve diğer algler üzerinde epifitik olarak yaşayabilirler. Pasifik, Atlantik, Akdeniz ve Karadeniz olmak üzere dünya denizlerinde yaygın olarak bulunurlar. Tallus boyları türlere göre 2 ve 25 cm arasında değişir [86, 87]. *Ceramium* türleri kirlilik çalışmalarında ve agar üretiminde yaygın olarak kullanılan makroalglerdir.



Şekil 15. *Ceramium rubrum*

## 2.4. Gama Spektroskopisi Analizleri

### 2.4.1. Deniz Suyu Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması

Belirlenen bölgelerden 20'şer litre deniz suyu alınarak daha önceden steril hale getirilmiş plastik şişelere konuldu. Su numuneleri 10 litrelik temiz cam beherlere aktararak, 50–60 °C'lik bir ısıtıcı üzerinde buharlaşmaya bırakıldı. 1-2 hafta süreyle su miktarları 100 ml kalana kadar buharlaştırmaya devam edildi. Buharlaşma esnasında beher cidarlarına yapışan maddeleri önlemek için beher içerisine birkaç damla HCl katıldı. Kalan miktarlar boş sayımları alınmış marinelli kaplarına konularak, iç dengeye gelmeleri için yaklaşık bir ay süreyle bekletildi. Analize hazır hale gelen deniz suyu örnekleri sırasıyla HPGe dedektörde 50000 s sayıma bırakıldı.

#### **2.4.2. Sediment Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması**

Belirlenen istasyonlardan alınan sediment örnekleri 1 mm'lik elekten geçirilerek 80 °C sıcaklıktaki etüvde 12 saat kurutuldu. Kurutulan sediment örnekleri 100 ml'lik plastik kutulara konularak radyoaktif dengeye gelmeleri için bir ay süre ile bekletildi. Analize hazır hale gelen sediment örnekleri gama spektrometrik analiz için HPGe dedektörde 30.000 sn sayıma bırakıldı.

#### **2.4.3. Makroalg Örneklerinin Gama Spektroskopisi Analizine Hazırlanması**

Belirlenen istasyonlardan elle toplanan makroalg örnekleri alındığı istasyonda deniz suyunda iyice yıkanarak kum, çakıl ve diğer yabancı maddelerden arındırıldı. Numunelerin tür tayinleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi ve Çanakkale Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı Öğretim üyeleri tarafından yapıldı. Her makroalg numunesinden 100-300 gr alınarak etüvde 80 °C'de 12 saat kurutuldu. Kurutulan numuneler küçük parçalar haline getirilerek 100 ml'lik plastik kutulara konularak radyoaktif açıdan dengeye gelmeleri için bir ay süre ile bekletildi. Analize hazır hale gelen makroalg örnekleri gama spektrometrik analiz için HPGe dedektörde 50.000 sn sayıma bırakıldı.

#### **2.4.4. Gama Spektroskopi Sistemi**

Gama spektrometrik analizler Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda bulunan Gem55P4-95 model yüksek saflıkta ORTEC marka HPGe dedektör kullanılarak yapıldı.

HPGe dedektörü özden yarı iletkenlik prensibine göre çalışan yarıiletken kristalden oluşmaktadır. Özden yarıiletken, içerisine yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarıiletkendir. HPGe dedektörde  $\text{cm}^3$  te yaklaşık olarak  $10^{10}$  safsızlık atomu vardır. Özden yarıiletkenler için elektron ve delik oranı yaklaşık 1'dir.

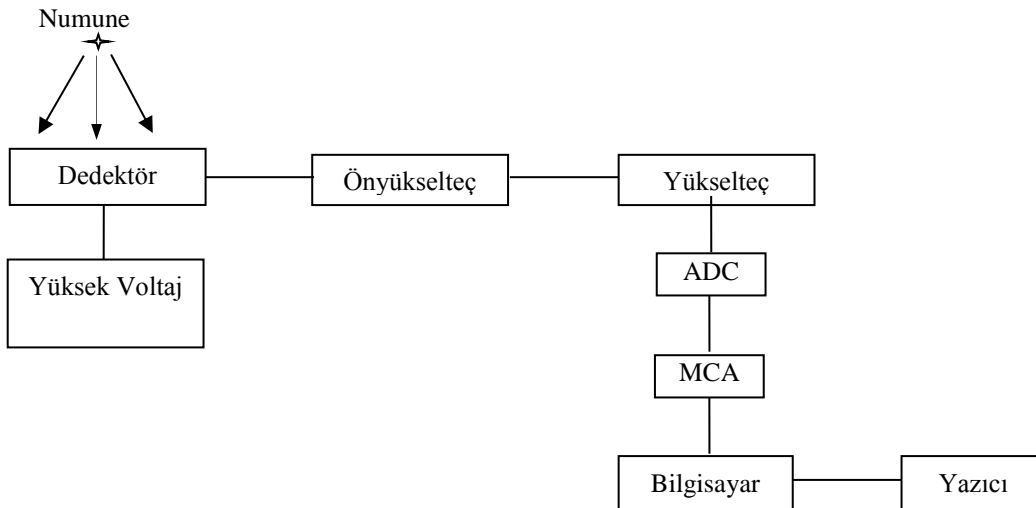
HPGe dedektörü çalıştırılırken, karakteristik özelliği gereğince yarıiletken kristal düşük sıcaklıklarda tutulmaktadır. Çünkü düşük sıcaklıklarda tutulursa termal gürültü azalmakta bu da piklerin düzgün oluşmasına neden olmaktadır. HPGe dedektörü %55

relatif verime sahip olup 4800 voltta çalışmaktadır. Enerji rezolüsyonu (FWHM)  $^{60}\text{C}$  kaynağı için 1332 keV'de 1,9 keV'dir.

Şekil 16'da gama spektrometre sisteminin genel görünüşü, Şekil 17'de ise gama spektrometre sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 16. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü



Şekil 17. Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı

#### 2.4.4.1. Enerji Kalibrasyonu

Çok kanallı analizörde (MCA) elde edilen spektrumda gama enerjilerinin analiz edilebilmesi için, her kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, gama enerjileri bilinen standart bir gama kaynağına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kullanılan, birçok gama enerji geçişine sahip  $^{152}\text{Eu}$  kalibrasyon kaynağına ait bilgiler Tablo 9’da verilmiştir.

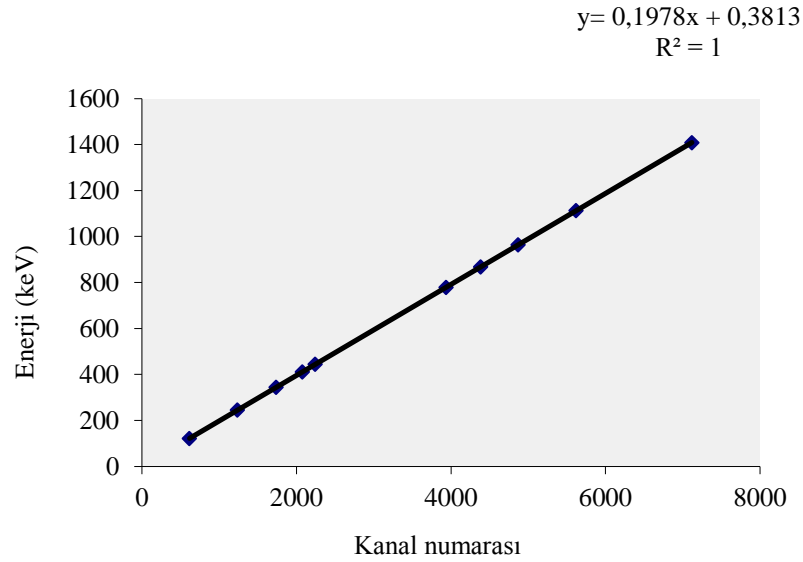
Tablo 9.  $^{152}\text{Eu}$  kalibrasyon kaynağının özellikleri  $^{152}\text{Eu}$  ( $T_{1/2} = 13.516$  y )

$E_{\gamma}$ (keV)	$I_{\gamma}$ %	Gama/s
121.8	28.4	30719.65
244.7	7.51	8123.40
344.3	26.6	28772.63
411.1	2.23	2412.14
444.0	2.82	3050.33
121.8	28.4	30719.65
778.9	13	14061.81
964.1	14.6	15792.50
1085.8	10.21	11043.93
1112.1	13.6	14710.82
1408.0	20.8	22498.90

Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edilir (Tablo 10). Şekil 18’de enerjinin kanallara göre değişim grafiği gösterilmiştir.

Tablo 10. Enerjinin kanallara göre değişimi

E (keV)	Kanal Numarası
121,7	614
244,7	1236
344,2	1738
411,1	2076
443,9	2243
778,8	3936
867,6	4384
964,2	4871
1112,3	5621
1408	7119



şekil 18. Enerjinin kanala göre değişimi

#### 2.4.4.2. Verim Kalibrasyonu

Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gereklidir. İlgilenilen enerjilerdeki dedektör verimleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

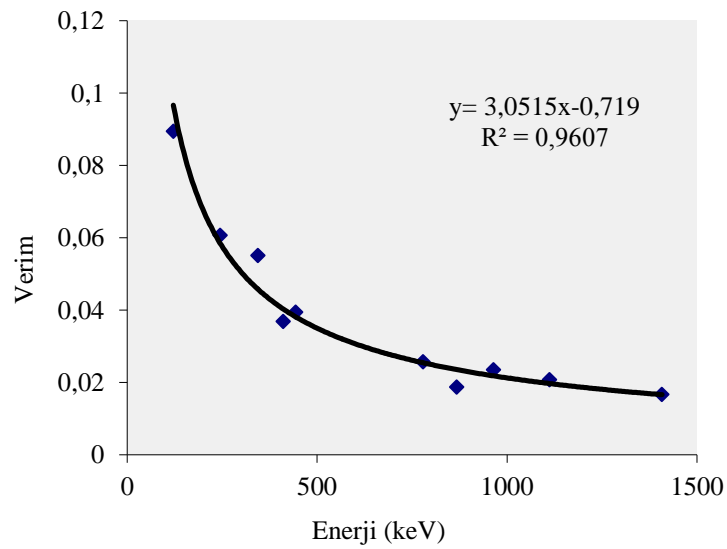
$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot I_{\gamma} \%} \quad (29)$$

$\varepsilon$ ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, N; ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman), A; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın o anki aktivitesi (boz/s),  $I_\gamma$  % ; gama ışınının bolluğu'dur.

Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanmış olan verim değerlerinin (Tablo 11) ilgili gama enerjilerine karşı Excell 2010 yazılımında grafiği (Şekil 19) çizdirilerek eğri denklemini elde edilmiştir.

Tablo 11. Standart kaynağın gama enerjilerindeki dedektörün verim değerleri

E (keV)	Verim
121,7	0,0285
244,7	0,0193
344,2	0,0175
411,1	0,0117
443,9	0,0125
778,8	0,0082
867,6	0,0059
964,2	0,0074
1112,3	0,0066
1408	0,0053



Şekil 19. Verim değerlerinin enerjilere göre değişimi

### 2.4.4.3. Minimum Dedeksiyon Limiti

Dedeksiyon limiti, belli koşullar altında ölçüm sisteminin dedeksiyon kapasitesini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Minimum Dedeksiyon Limiti (MDL) için kullanılan ifade [88].

$$MDL = 4.66\sqrt{Background} / t.Y..m.\eta \quad (30)$$

Burada t; sayım zamanı, Y; bolluk, m; kütle ve  $\eta$ ; fotopiktteki verimdir. Tablo 12’de deniz suyu, sediment ve makroalg örnekleri için minimum dedeksiyon limitleri gösterilmiştir.

Tablo 12. Dedekte edilen radyonüklitlerin minimum dedeksiyon limitleri

Ana Çekirdek	Ürün Çekirdek	Enerji (keV)	Deniz Suyu MDL (Bq/L)	Sediment MDL (Bq/kg)	Makroalg MDL (Bq/kg)
	<sup>226</sup> Ra	186,0	0,057	3,74	11,4
<sup>238</sup> U	<sup>214</sup> Pb	242,0	0,013	0,84	2,5
	<sup>214</sup> Pb	295,2	0,027	1,81	5,5
	<sup>214</sup> Pb	351,9	0,008	0,50	1,5
	<sup>214</sup> Bi	609,3	0,009	0,60	1,8
	<sup>214</sup> Bi	1120,2	0,018	1,17	3,6
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	338,3	0,008	0,55	1,7
	<sup>228</sup> Ac	911,2	0,009	0,60	1,8
	<sup>228</sup> Ac	968,9	0,011	0,73	2,2
	<sup>212</sup> Pb	238,6	0,006	0,36	1,1
	<sup>208</sup> Tl	583,1	0,003	0,22	0,7
	Cs-137	661,6	0,000	0,00	0,0
	K-40	1460,8	0,042	2,76	8,4

### 2.4.4.4. Aktivite Konsantrasyonu

<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için gama-ışını analizi yapılır. Şekil 20, 21 ve 22’ deki spektrumlarında görüldüğü gibi <sup>40</sup>K

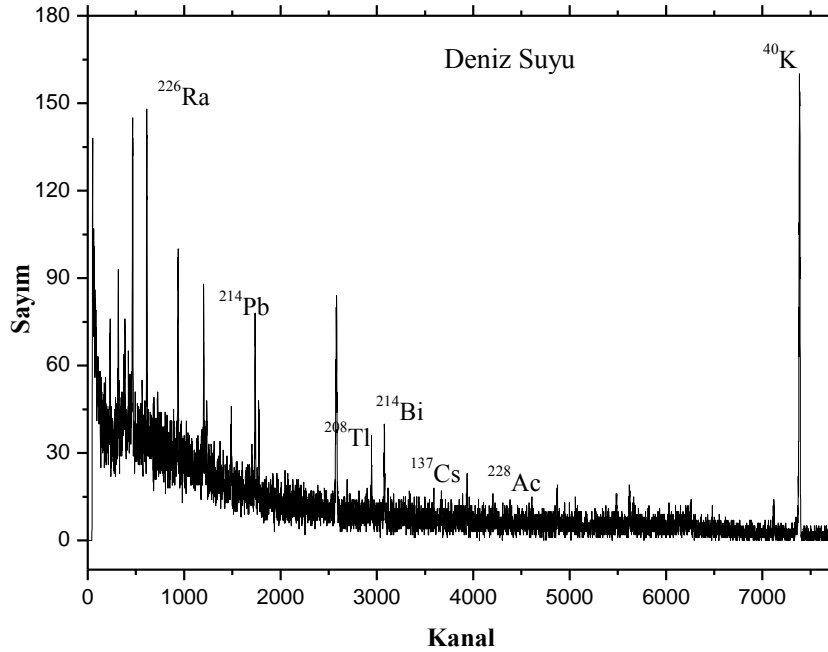
aktivite konsantrasyonu doğrudan kendisinin gama ışını spektrumundaki pikinden Denk. (31) kullanılarak tayin edilir.

$$A(\text{Bq} / \text{kg}) = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayma Süresi} \times \text{Verim} \times \text{Dallanma Oranı} \times \text{Kütle}} \quad (31)$$

Ancak  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$ 'in yarı ömürleri çok uzun ve doğadaki konsantrasyonu da çok düşük olduğundan dolayı bunların radyometrik olarak doğrudan tayini çok zordur.  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  serilerindeki bozunma ürünlerinin gama spektrumlarından faydalanılarak yapılan aktivite ölçümlerinden,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  ürünlerine ait olan aktiviteler elde edilir.

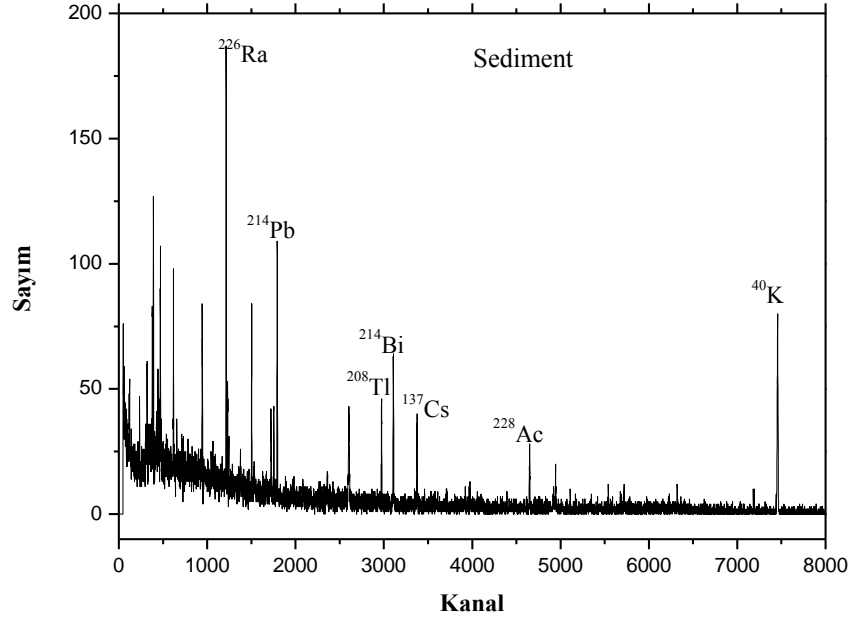
Spektrumdaki her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçilerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanı işaretlenir. Daha sonra kalibrasyon katsayıları bilgisayar programına verilerek piklerin merkez kanalına karşılık gelecek enerji değerleri bulunur.

$^{226}\text{Ra}$  için 186 keV enerjisindeki,  $^{238}\text{U}$  serisi için  $^{214}\text{Pb}$  (295,2 keV),  $^{214}\text{Pb}$  (352,0 keV) ve  $^{214}\text{Bi}$  (609,4 keV) enerjilerindeki,  $^{232}\text{Th}$  serisi için  $^{212}\text{Pb}$  (238,6 keV),  $^{208}\text{Tl}$  (583,1 keV),  $^{228}\text{Ac}$  (911,1 keV) enerjilerindeki piklerinin alanları ve  $^{137}\text{Cs}$  için 661,0 keV,  $^{40}\text{K}$  için (1460,8 keV) enerjisindeki piklerin alanı alınmıştır.

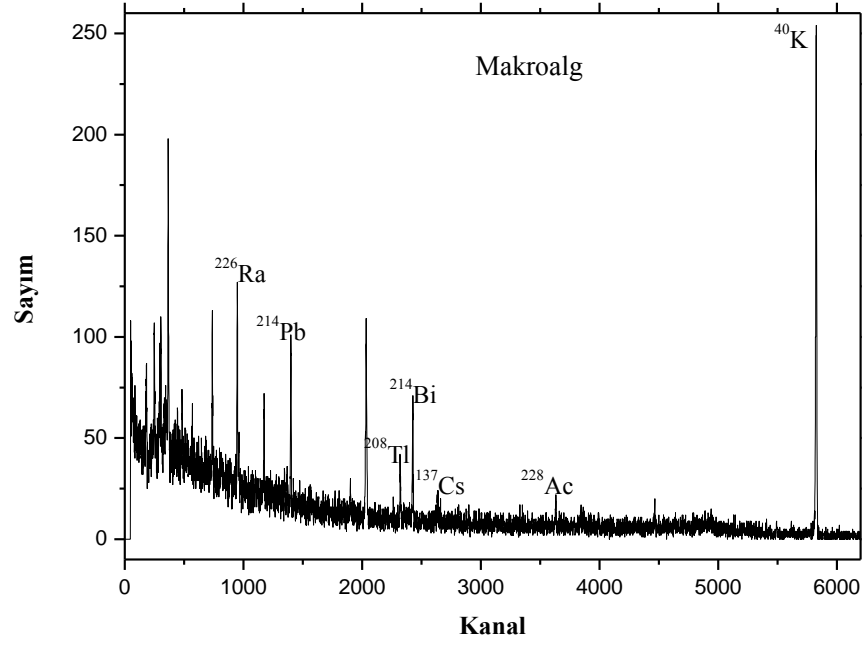


Şekil 20. Deniz suyu numunesine ait gama spektrum örneği





Şekil 21. Sediment numunesine ait gama spektrum örneği



Şekil 22. Makroalg numunesine ait gama spektrum örneği

#### 2.4.4.5. Hesaplanan Radyasyon Parametreleri

##### 2.4.4.5.1. Radium Eşdeğer Aktivitesi

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'ın çevrede dağılımı birbirlerinden farklıdır. Farklı miktarlardaki bu spesifik aktivitelerinden radyasyona maruz kalmayı standartlaştırmak için radium eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ) aşağıdaki ifade ile tanımlanmaktadır [89].

$$R_{\text{eq}} = C_{\text{U}} + 1.43 C_{\text{Th}} + 0.07 C_{\text{K}} \quad (32)$$

Burada  $C_{\text{U}}$ ,  $C_{\text{Th}}$  ve  $C_{\text{K}}$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir.

##### 2.4.4.5.2. Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Yüzeyden 1 m yükseklikteki havada soğurulan gama doz hızını hesaplamak için spesifik aktivite konsantrasyonları belli dönüşüm faktörleri ile çarpılır [90].

$$D = [0.621 C_{\text{Th}} + 0.462 C_{\text{U}} + 0.0417 C_{\text{K}}] \text{ nGy/h} \quad (33)$$

Burada  $C_{\text{U}}$ ,  $C_{\text{Th}}$  ve  $C_{\text{K}}$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'ın Bq/kg birimindeki spesifik aktiviteleridir.

##### 2.4.4.5.3. Yıllık Etkin Doz

Soğurulan doz için dönüşüm (0.7 Sv/Gy) ve dış ortamda maruz kalma faktörü (0.2) [90] dikkate alınarak etkin doz aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\text{Etkin Doz Hızı (mSv/y)} = \text{Doz Hızı (nGy/h)} \times 8760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (34)$$

##### 2.4.4.5.4. Dış Tehlike İndeksi ( $H_{\text{ex}}$ )

Beretka ve Mathew [89], tarafından tanımlanan dış tehlike indeksi;

$$H_{ex} = C_U/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \quad (35)$$

ifadesiyle verilmektedir.

Burada  $C_U$ ,  $C_{Th}$  ve  $C_K$  sırasıyla  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$ 'ın Bq/kg biriminde spesifik aktiviteleridir. Radyasyon zararının önemsiz olabilmesi için  $H_{ex}$ 'in değeri 1 den küçük olmalıdır.

#### 2.4.4.5.5. Gıda Yoluyla Tüketimden Kaynaklanan Yıllık Etkin Doz Değeri

Gıda yoluyla tüketimden kaynaklanan yıllık etkin doz değeri,

$$H_{T,r} = \sum (U^i \cdot C_r) \cdot g_{T,r}$$

ifadesiyle verilmektedir

Burada  $U^i$ ,  $C_r$  ve  $g_{T,r}$  sırasıyla kişi başı yıllık tüketim miktarını, ilgilenilen radyonüklidin aktivitesini, sindirim yoluyla tüketim için doz dönüşüm katsayısını ifade etmektedir [91]- [92].

## 2.5. Kimyasal Analizler

Örnek toplama ve analize hazırlık aşamasında kullanılan bütün alet ve ekipmanlar sterilize edilmiş, çalışma süresince temiz ve dikkatli çalışılmaya özen gösterilmiştir. Kullanılan tüm cam malzemeler laboratuarda önce deterjanla yıkanmış ve çeşme suyu ile iyice durulandıktan sonra 0,1 N HCl ile asit banyosundan geçirilmiştir. Daha sonra ise saf su ile yıkanıp kurutulmuştur.

### 2.5.1. Deniz Suyu Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması

Polietilen kutularda muhafaza edilen deniz suyu örnekleri filtre kağıdından süzülerek kum, kil vb. gibi yabancı maddelerden arındırılmış ve 25 ml'lik polietilen tüplerde +5 °C'de saklanarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Deniz suyu örneklerindeki ağır metal

analizleri Inductive Couple Plasma Optik Emission Spektrometresi ile yapılarak, derişimler  $\mu\text{g/ml}$  olarak hesaplanmıştır.

### **2.5.2. Sediment Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması**

Polietilen torbalarda laboratuvara getirilen sediment örnekleri analize kadar derin dondurucuda  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 'de saklanmıştır. Analizden önce dondurucudan çıkarılan sediment örnekleri  $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de etüvde 12 saat kurutulmuş farklı göz açıklığına sahip elek serisinden geçirilerek  $63\text{ }\mu\text{m}$ ' den küçük olan sediment örnekleri ağır metal analizleri için kullanılmıştır.

Sediment örneklerinde metal kirliliği çalışmalarında kirlenmiş yüzeylerin belirleyicisi olarak sedimentlerin küçük partikül tanelerinde çalışılması tavsiye edilmektedir. Tane boyutu  $63\text{ }\mu\text{m}$  ve daha küçük silt ve kil özelliğinde olan partiküllerin, doğal ve antropojenik kirlilikten kaynaklanan ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesinde etkili olduğu ve bu boyuttaki partiküllerin üzerine yapışmış olan ağır metallerin uzun mesafeler boyunca taşınabileceği belirtilmektedir [93].

$63\text{ }\mu\text{m}$ 'den daha küçük olan sediment örneklerinden 5-10 gr alınarak cam petri kaplarına konulmuş,  $102\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat bekletilmiştir. Kuruyan örneklerden 1 gr tartılarak üzerine HCl: HNO<sub>3</sub> (3:1) karışımından eklenerek 24 saat asitte bekletilmiştir. Daha sonra hot plate üzerinde  $120\text{ }^\circ\text{C}$ 'de beyaz duman çıkana kadar buharlaştırılmıştır. Berraklaşan numuneler soğutulurak filtre kağıdından süzölmüş ve bidistile suyla 25 ml'ye tamamlanmıştır [94]. Hazırlanan numuneler polietilen şişelerde  $+5\text{ }^\circ\text{C}$ 'de saklanarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Sediment örneklerindeki ağır metal analizleri ICP-OES'de yapılarak derişimleri  $\mu\text{g/g}$  kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır.

### **2.5.3. Makroalg Örneklerinin Kimyasal Analize Hazırlanması**

Ağır metal analizleri için toplanan makroalg örnekleri polietilen torbalarda laboratuvara getirilmiş ve  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dondurucuda muhafaza edilmiştir. Analizden bir gece önce dondurucudan çıkarılan numuneler çözüldükten sonra kurutma kağıdına alınmış ve fazla suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Herbir makroalg örneğinden 50-200 gr alınarak sabit ağırlığa ulaşana kadar  $80\text{ }^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numunelerden 1 gr

tartılarak 5 ml HNO<sub>3</sub> ile 70 °C'de hot plate üzerinde çözünmeye bırakılmıştır. Daha sonra HClO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> (1:2) eklenerek 120 °C'de çözünme işlemine devam edilmiştir. Organik parçalanması tamamlanan numuneler filtre kağıdından süzülerek %2 HNO<sub>3</sub> ile seyreltilmiş bidistile su ile 25 ml'ye tamamlanmıştır [95]. Makroalg örneklerindeki ağır metal analizleri ICP-OES'de yapılarak derişimleri µg/g kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır.

#### **2.5.4. Kimyasal Analiz Sistemi**

ICP-OES, 70 civarında kimyasal elementin eser, minör ve majör konsantrasyon düzeylerinin analizine olanak tanıyan hızlı bir tekniktir. Ppm'den % mertebesine kadar geniş bir ölçüm aralığına sahiptir. Her element kendine özgü enerji düzeylerine bağlı olarak emisyon yapabilecekleri dalga boylarına sahiptir. Dalga boyu ve emisyon şiddeti ölçülerek bir örnekte bulunan elementler ve miktarları saptanabilmektedir. İndüktif eşleşmiş plazma spektroskopisinin temel prensibi (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy-ICP) yüksek derişimde katyon ve buna eşdeğer derişimde elektron içeren, elektriksel olarak iletken bir gaz ortamı olan plazmada, atomlar ve iyonların uyarılması ile yaydıkları emisyonun ölçülmesidir. Plazma görüntüsü alev gibi olmakla beraber bir yanma olayı yoktur. ICP kaynağı iyonlaşmış bir argon gazı akışı ile genellikle 27 veya 40 MHz'lik güçlü bir radyofrekans alanının eşleştirilmesi ile elde edilir. Örnek genellikle sıvı fazda, aerosol şeklinde yüksek sıcaklıktaki plazmaya gönderilir. Şekil 3.5'de şematik olarak gösterilen ICP-OES cihazında, aerosol tanecikleri plazmada sırasıyla kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve oluşan atom ve iyonlar uyarılır. Analit elementin atomik ve iyonik çizgileri bir spektrometre ve uygun bir bilgisayarla değerlendirilerek analizlenir [96]. ICP-OES ile analizi yapılan elementlerin kalibrasyon verileri Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. ICP-OES ile analizi yapılan elementlerin kalibrasyon verileri

Element	Dalgaboyu (nm)
Cr	267.716
Mn	257.610
Fe	238.204
Cu	327.393
Zn	206.200
Cd	228.802
Pb	220.353
Co	228.616
Ni	231.604



Şekil 23. ICP- OES cihazı

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Deniz Suyu Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model HPGe dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre deniz suyu örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

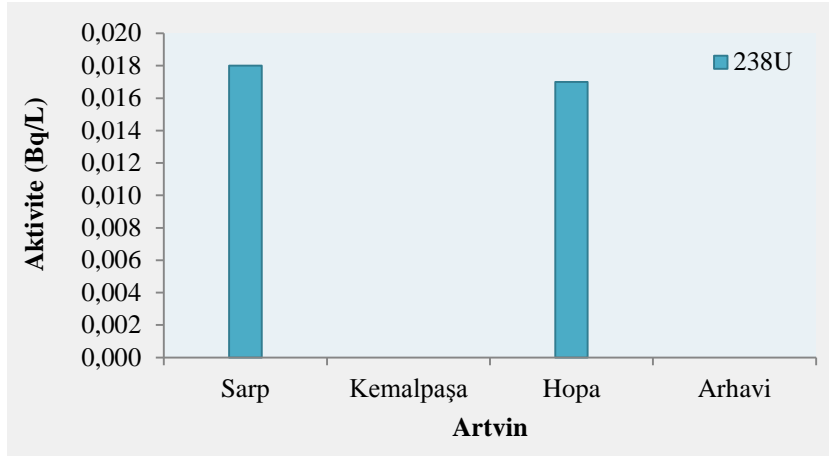
Tablo 14. İllere göre deniz suyu örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/L)	$^{238}\text{U}$ (Bq/L)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/L)	$^{137}\text{Cs}$ (mBq/L)	$^{40}\text{K}$ (Bq/L)
Artvin	4	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	1,86
		Maksimum	<DL	0,018	<DL	10,57	2,75
		Ortalama	<DL	0,008	<DL	4,12	2,25
Rize	5	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	1,79
		Maksimum	<DL	0,023	0,009	11,91	2,89
		Ortalama	<DL	0,008	0,002	3,52	2,42
Trabzon	10	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	1,75
		Maksimum	<DL	0,023	0,015	12,28	2,79
		Ortalama	<DL	0,011	0,002	3,57	2,30
Giresun	7	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	1,92
		Maksimum	<DL	0,020	0,021	10,47	2,41
		Ortalama	<DL	0,008	0,006	4,07	2,13
Ordu	4	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	2,01
		Maksimum	<DL	0,024	0,027	12,53	2,50
		Ortalama	<DL	0,013	0,015	6,50	2,29
Samsun	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	<DL	<DL	<DL	5,19	2,21
Sinop	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	<DL	<DL	<DL	6,89	1,61
Tüm İller	32	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	1,61
		Maksimum	<DL	0,025	0,027	12,53	2,89
		Ortalama	<DL	0,009	0,004	4,26	2,21

DL: Dedeksiyon limiti

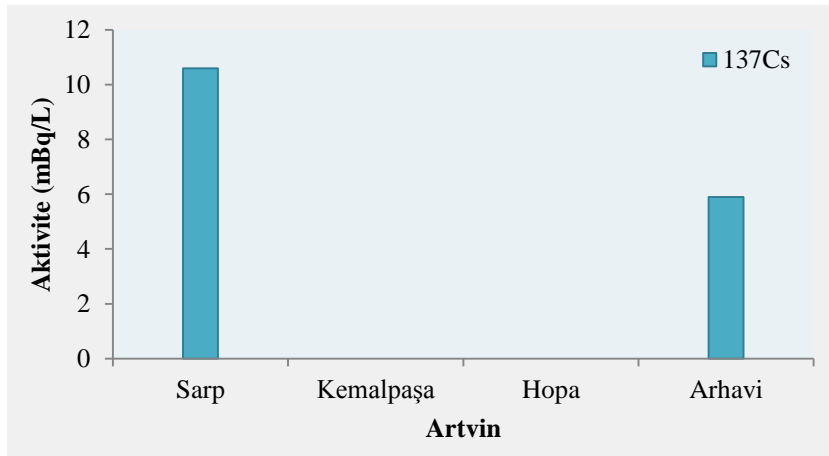
Deniz suyu örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi Şekil 24-38’de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

Artvin ili deniz suyu örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Şekil 24’de  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en düşük Hopa’da en yüksek Sarp’ta olduğu görülmektedir. Kemalpaşa ve Arhavi’de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır.



Şekil 24. Artvin ili deniz suyu örneklerin için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

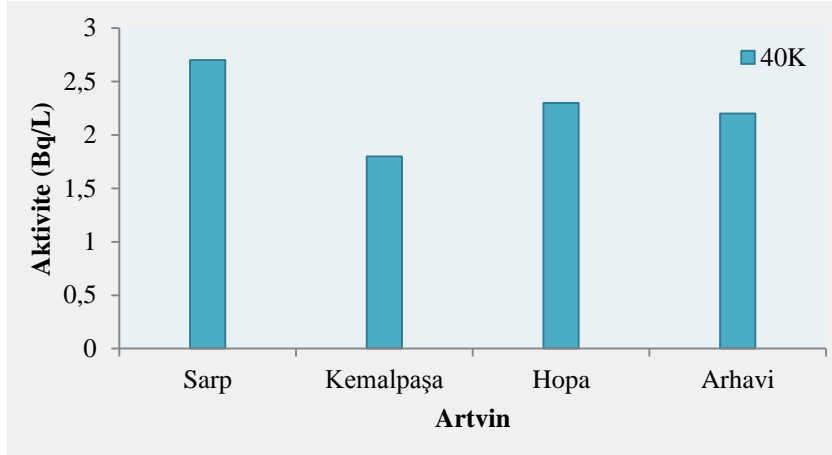
Şekil 25’de Artvin ili için deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en düşük, Arhavi’de, en yüksek Sarp’ta olduğu görülmektedir. Kemalpaşa ve Hopa’da ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır.



Şekil 25. Artvin ili deniz suyu örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

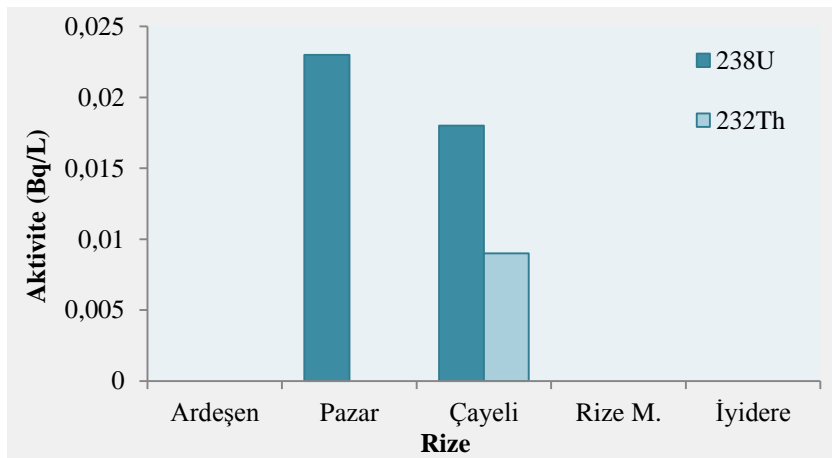


Şekil 26’da Artvin ili deniz suyu örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Sarp’ta en düşük Kemalpaşa’da olduğu görülmektedir. Ayrıca Hopadaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Artvin ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arhavi’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



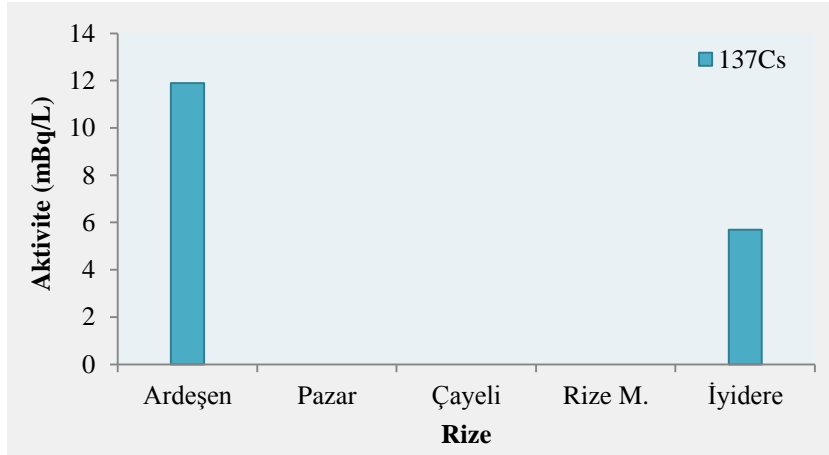
Şekil 26. Artvin ili deniz suyu örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Rize ili deniz suyu örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Şekil 27’de  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en düşük Çayeli’de, en yüksek Pazar’da olduğu görülmektedir. Ardeşen, Rize Merkez ve İyidere’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise dedeksiyon limitlerinin altında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Çayeli’de olduğu, Ardeşen, Pazar, Rize Merkez ve İyidere’de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin dedeksiyon limitlerinin altında olduğu görülmektedir.



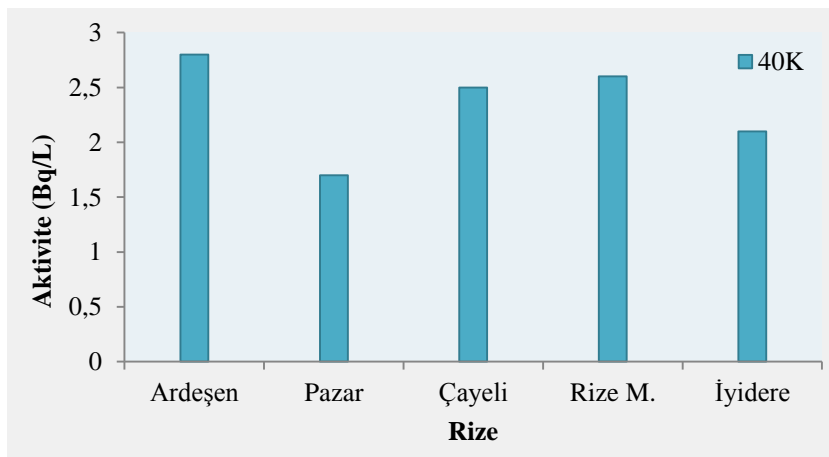
Şekil 27. Rize ili deniz suyu örnekleri için  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 28’de Rize ili deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en düşük İyidere’de, en yüksek Ardeşen’de olduğu görülmektedir. Pazar, Çayeli ve Rize Merkez’de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır.



Şekil 28. Rize ili deniz suyu örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 29’da Rize ili deniz suyu örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Ardeşen’de en düşük Pazar’da olduğu görülmektedir. Ayrıca Çayeli ve Rize Merkez’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Rize ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, İyidere’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Rize ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.

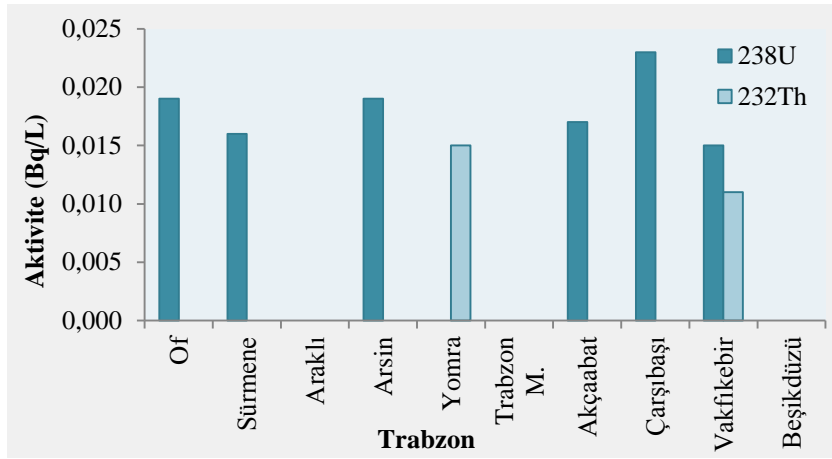


Şekil 29. Rize ili deniz suyu örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Trabzon ili deniz suyu örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Şekil 30’da  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Çarşıbaşı’da, en düşük Vakfikebir’de olduğu

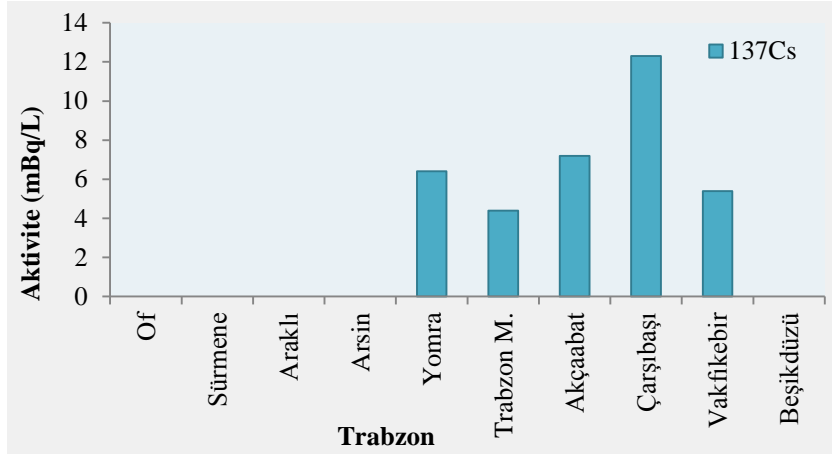
görülmektedir. Araklı, Yomra, Trabzon Merkez ve Beşikdüzü’de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Of, Sürmene, Arsin ve Akçaabat’daki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en düşük Vakfıkebir’de, en yüksek Yomra’da olduğu görülmektedir. Of, Sürmene, Araklı, Arsin, Trabzon Merkez, Akçaabat, Çarşıbaşı ve Beşikdüzü’de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır.



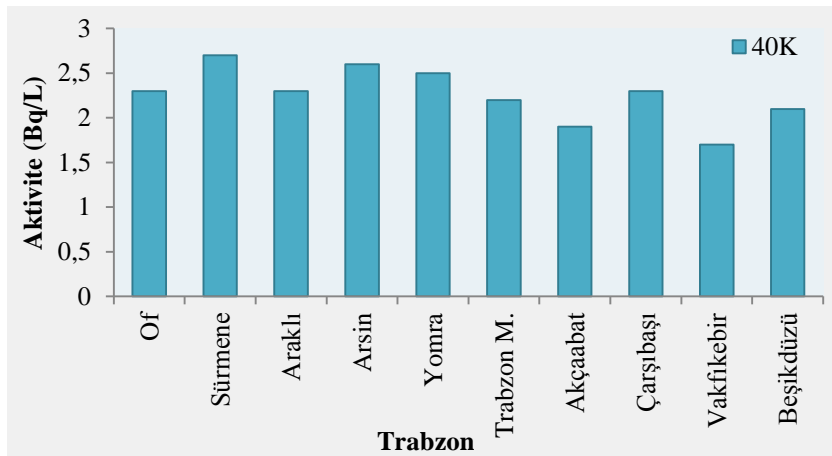
Şekil 30. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 31’de Trabzon ili deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en düşük Trabzon Merkez’de, en yüksek Çarşıbaşı’da olduğu görülmektedir. Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Beşikdüzü’de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Yomra, Akçaabat ve Vakfıkebir’deki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 31. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

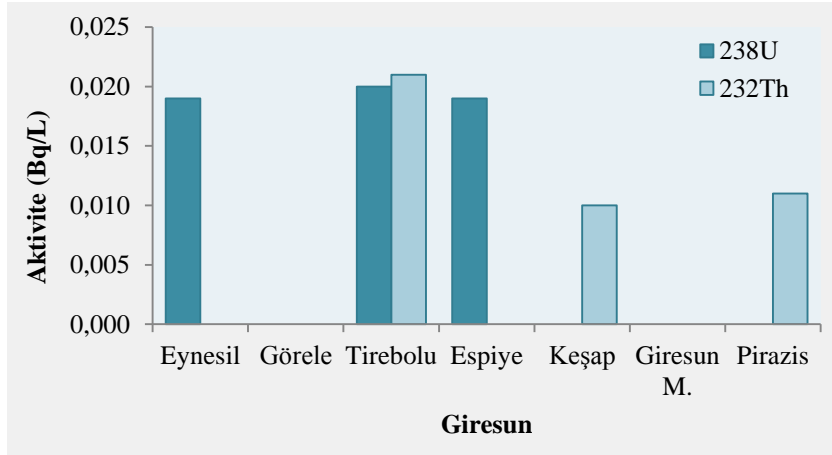
Şekil 32’de Trabzon ili deniz suyu örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en düşük Vakfikebir’de, en yüksek Sürmene’de olduğu görülmektedir. Ayrıca Of, Araklı, Arsin, Yomra ve Çarşıbaşı’daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Trabzon Merkez, Akçaabat ve Beşikdüzü’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 32. Trabzon ili deniz suyu örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

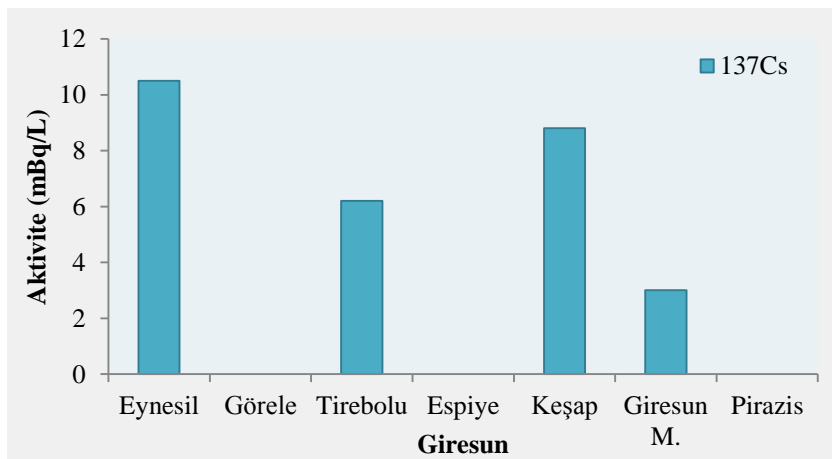
Giresun ili deniz suyu örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Şekil 33’de  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en düşük Eynesil ve Espiye’de, en yüksek Tirebolu’da olduğu görülmektedir. Görele, Keşap, Giresun Merkez ve Pirazis’de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Aynı şekilde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en düşük Keşap’ta, en yüksek

Tirebolu'da olduğu görülmektedir. Eynesil, Görele, Espiye ve Giresun Merkez'de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Pirazis'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



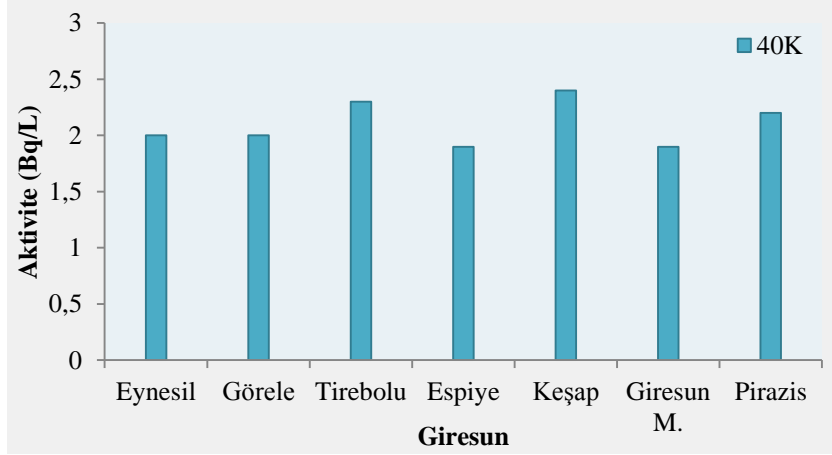
Şekil 33. Giresun ili deniz suyu örnekleri için  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 34'de Giresun ili deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en düşük Giresun Merkez'de, en yüksek Eynesil'de olduğu görülmektedir. Görele, Espiye ve Pirazis'de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Tirebolu ve Keşap'daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



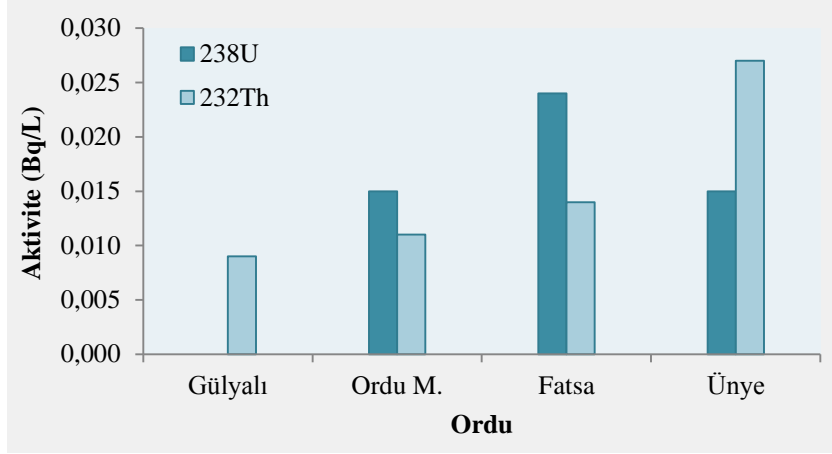
Şekil 34. Giresun ili deniz suyu örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 35'te Giresun ili deniz suyu örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Keşap'ta en düşük Giresun Merkez'de olduğu görülmektedir. Ayrıca Tirebolu ve Pirazis'teki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Eynesil, Görele ve Espiye'deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



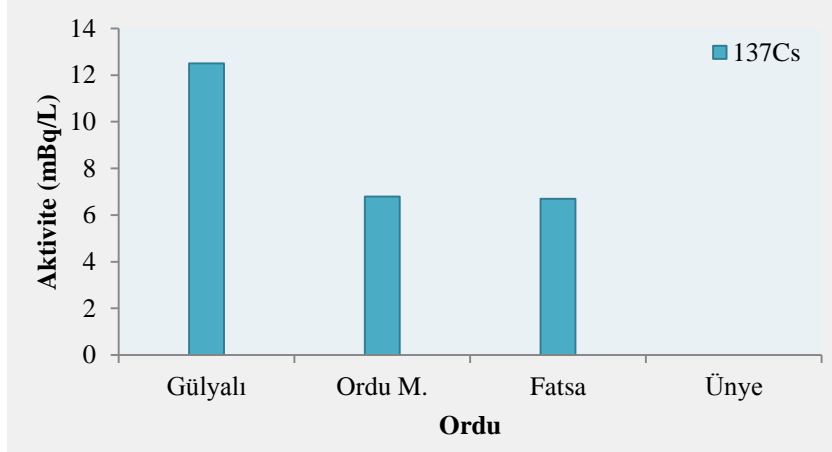
Şekil 35. Giresun ili deniz suyu örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Şekil 36'da Ordu ili deniz suyu örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır.  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Fatsa'da, en düşük Ordu Merkez ve Ünye'de olduğu görülmektedir. Gülyalı'daki ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Aynı şekilde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Ünye'de, en düşük Gülyalı'da olduğu görülmektedir. Fatsa'daki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Ordu ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ordu Merkez'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



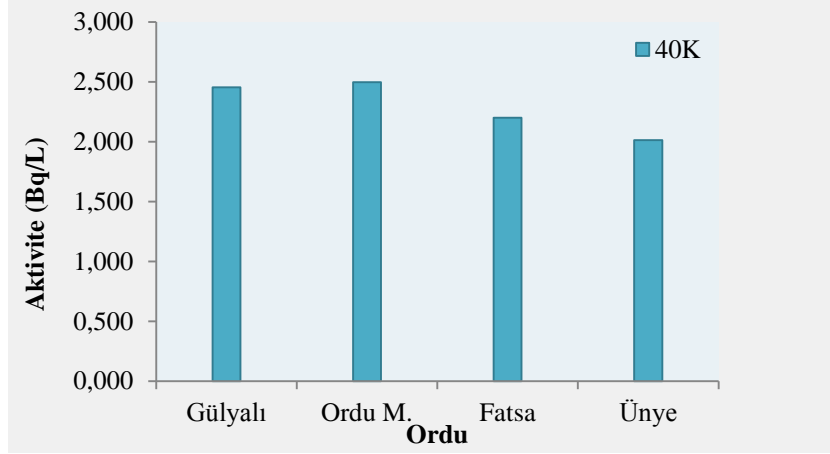
Şekil 36. Ordu ili deniz suyu örnekleri için <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite değerleri

Şekil 37’de Ordu ili deniz suyu örneklerinde <sup>137</sup>Cs aktivitesinin en düşük Fatsa’da, en yüksek Gülyalı’da olduğu görülmektedir. Ünye’de ise <sup>137</sup>Cs aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Ordu Merkez’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 37. Ordu ili deniz suyu örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite değerleri

Şekil 38’de Ordu ili deniz suyu örneklerinde <sup>40</sup>K aktivitesinin en yüksek Ordu Merkez’de, en düşük Ünye’de olduğu görülmektedir. Gülyalı’daki <sup>40</sup>K aktivitesinin Ordu ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin üzerinde olduğu, Fatsa’daki <sup>40</sup>K aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 38. Ordu ili için deniz suyu örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.2. Sediment Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre sediment örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 15’de verilmiştir.



Tablo 15. İllere göre sediment örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

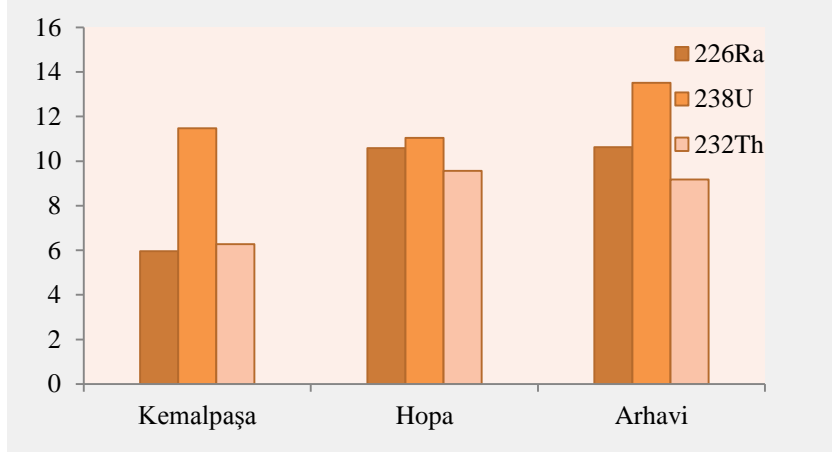
İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Artvin	3	Minimum	5,96	11,05	6,27	4,02	316,8
		Maksimum	10,63	13,51	9,56	16,90	390,0
		Ortalama	9,05	12,01	8,33	12,04	343,6
Rize	4	Minimum	4,11	7,18	4,83	9,02	199,1
		Maksimum	22,19	21,35	32,35	29,09	946,3
		Ortalama	12,17	13,02	13,48	16,27	490,9
Trabzon	10	Minimum	<DL	5,32	3,29	2,09	131,0
		Maksimum	23,91	26,29	27,15	11,43	570,1
		Ortalama	11,94	13,76	12,32	6,14	367,6
Giresun	7	Minimum	3,84	11,99	8,10	2,57	270,0
		Maksimum	35,61	44,10	28,14	18,15	864,0
		Ortalama	16,57	24,50	16,81	8,70	545,7
Ordu	4	Minimum	7,16	16,59	13,14	9,03	487,9
		Maksimum	27,21	30,26	23,75	17,11	727,0
		Ortalama	19,40	22,28	18,04	12,63	627,7
Samsun	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	9,28	9,77	6,55	2,77	131,0
Sinop	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	<DL	4,71	3,25	4,09	59,2
Tüm İller	30	Minimum	<DL	<DL	3,25	2,09	59,2
		Maksimum	35,61	44,10	32,35	29,09	946,0
		Ortalama	13,27	16,69	13,39	9,36	439,6

DL: Dedeksiyon limiti

$^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi Şekil 39-53'de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

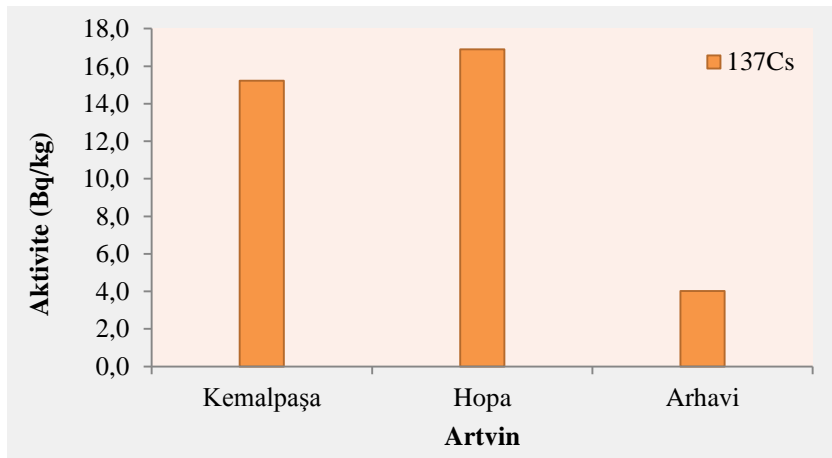
Şekil 39'da Artvin ili sediment örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Arhavi'de, en düşük Kemalpaşa'da olduğu görülmektedir. Hopa'daki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.  $^{238}\text{U}$

aktivite değerinin en yüksek Arhavi'de, en düşük Hopa'da olduğu görülmektedir. Kemalpaşa'daki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir. Aynı Şekilde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Hopa'da en düşük Kemalpaşa'da olduğu görülmektedir. Arhavi'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



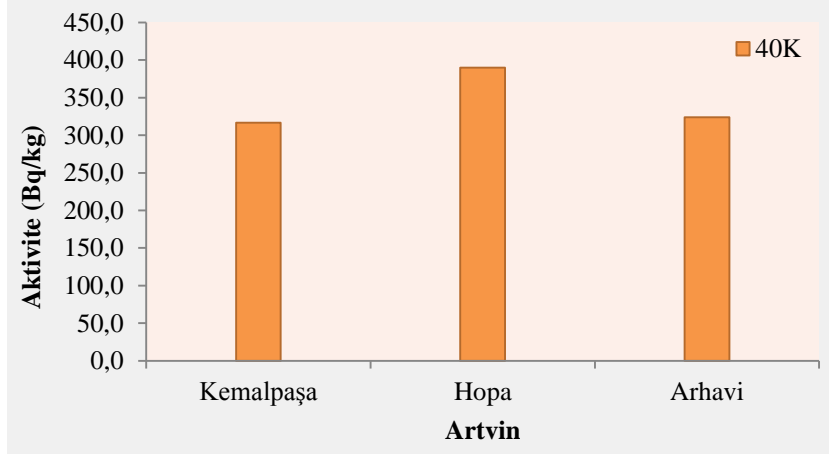
Şekil 39. Artvin ili sediment örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 40'da Artvin ili sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en düşük Arhavi'de, en yüksek Hopa'da olduğu görülmektedir. Kemalpaşa'daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



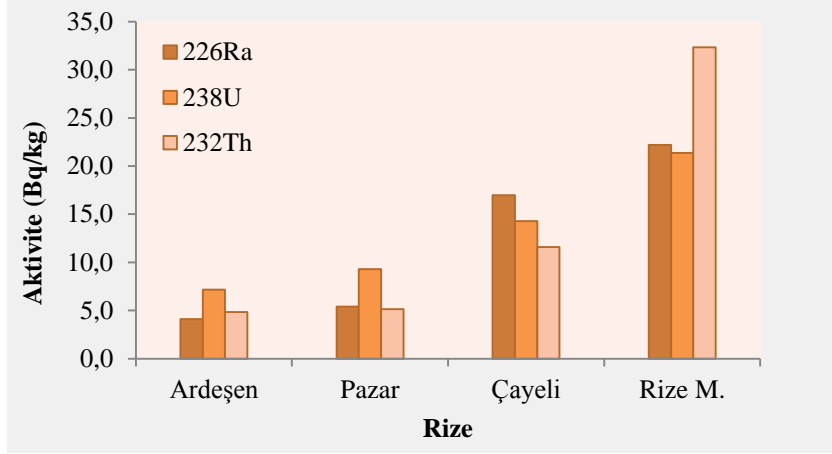
Şekil 40. Artvin ili sediment örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 41’de Artvin ili sediment örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin en düşük Kemalpaşa’da, en yüksek Hopa’da olduğu görülmektedir. Arhavi’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Artvin ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



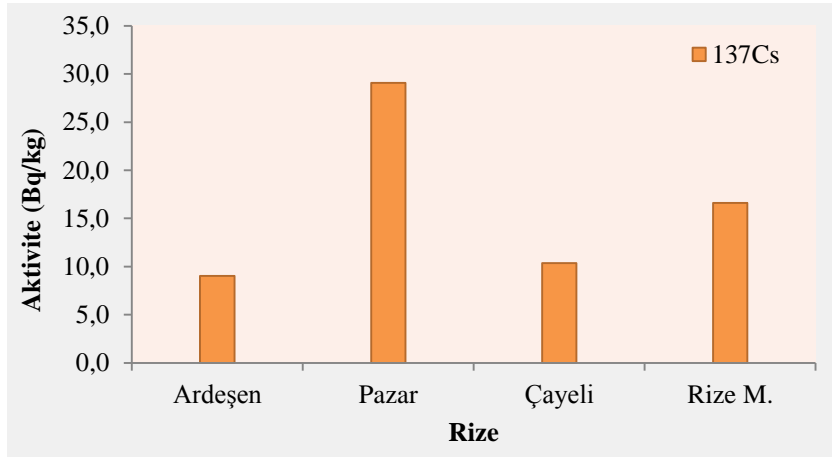
Şekil 41. Artvin ili sediment örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Şekil 42’de Rize ili sediment örneklerinde Rize M.’de  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en düşük Ardeşen’de, en yüksek Rize Merkez’de olduğu görülmektedir. Çayeli’deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Rize ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Pazar’daki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise Rize ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise en yüksek Rize Merkez’de, en düşük Ardeşen’de olduğu görülmektedir. Çayeli’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Rize ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Pazar’daki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Rize ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Rize Merkez’de, en düşük Ardeşen’de olduğu görülmektedir. Pazar ve Çayeli’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise Rize ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



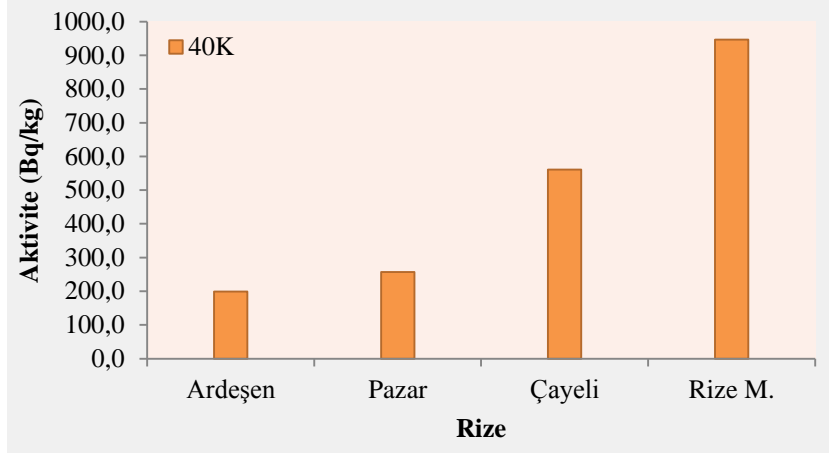
Şekil 42. Rize ili sediment örnekleri için <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite değerleri

Şekil 43’de Rize ili sediment örneklerinde <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin en yüksek Pazar’da, en düşük Ardeşen’de olduğu görülmektedir. Rize Merkez’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin ise Rize ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin üzerinde olduğu, Çayeli’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin Rize ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



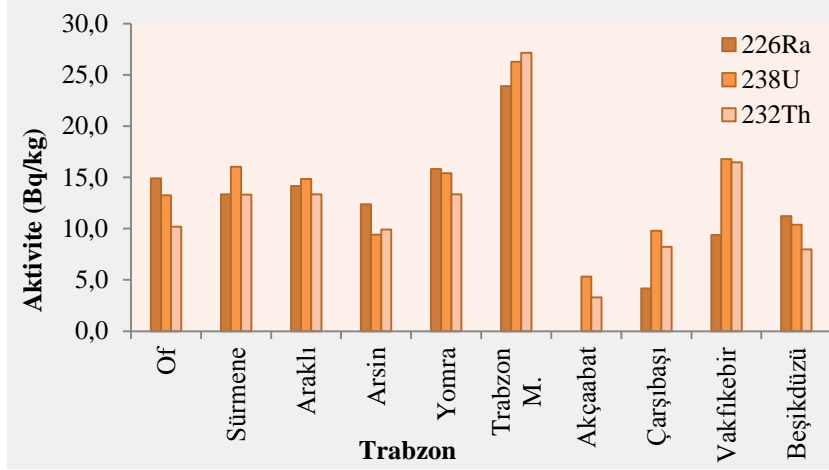
Şekil 43. Rize ili sediment örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite değerleri

Şekil 44’de Rize ili sediment örneklerinde <sup>40</sup>K aktivite değerinin en yüksek Rize Merkez’de, en düşük Ardeşen’de olduğu görülmektedir. Çayeli’deki <sup>40</sup>K aktivitesinin Rize ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin üzerinde olduğu, Pazar’daki <sup>40</sup>K aktivitesinin ise Rize ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



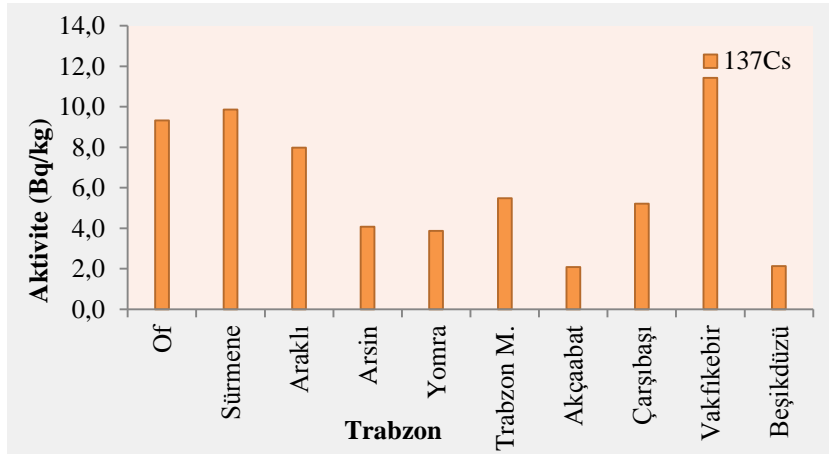
Şekil 44. Rize ili sediment örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Şekil 45’de Trabzon ili sediment örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Trabzon Merkez’de, en düşük Çarşıbaşı’da olduğu görülmektedir. Akçaabat’ta ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra’daki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Vakfıkebir ve Beşikdüzü’deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin ise en yüksek Trabzon Merkez’de, en düşük Akçaabat’ta olduğu görülmektedir. Sürmene, Araklı, Yomra ve Vakfıkebir’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Of, Arsin, Çarşıbaşı ve Beşikdüzü’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Trabzon Merkez’de, en düşük Akçaabat’ta olduğu görülmektedir. Sürmene, Araklı, Yomra ve Vakfıkebir’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Trabzon ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Of, Arsin, Çarşıbaşı ve Beşikdüzü’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 45. Trabzon ili sediment örnekleri için <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite değerleri

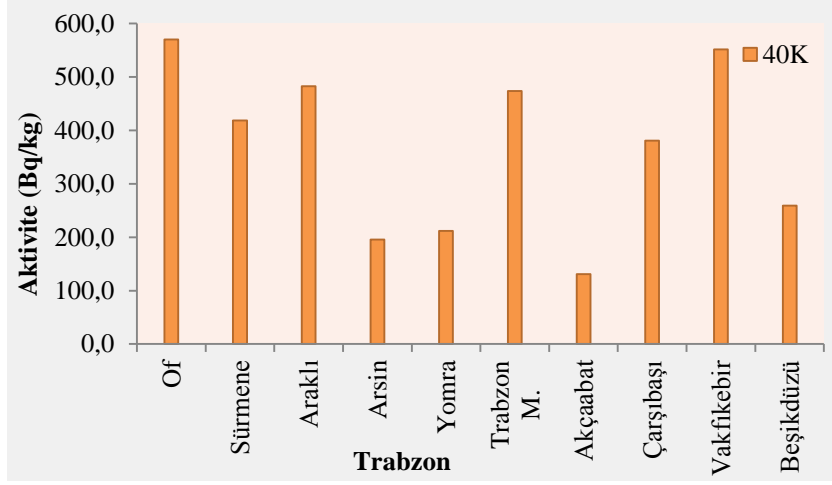
Şekil 46'da Trabzon ili sediment örneklerinde <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin en yüksek Vakfikebir'de, en düşük Akçaabat'ta olduğu görülmektedir. Of, Sürmene ve Araklı'daki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin Trabzon ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arsin, Yomra, Trabzon Merkez, Çarşıbaşı ve Beşikdüzü'deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 46. Trabzon ili sediment örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite değerleri

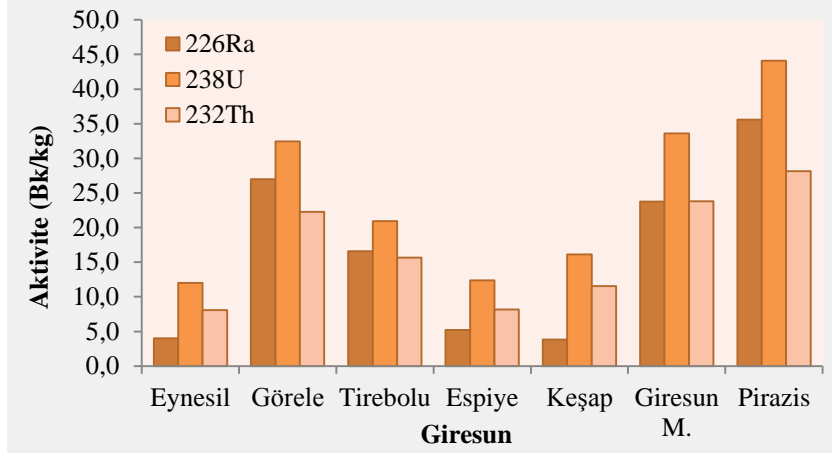
Şekil 47'de Trabzon ili sediment örneklerinde <sup>40</sup>K aktivite değerinin en yüksek Of'da, en düşük Akçaabat'da olduğu görülmektedir. Sürmene, Araklı, Trabzon Merkez, Çarşıbaşı ve Vakfikebir'deki <sup>40</sup>K aktivitesinin Trabzon ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite

değerinin üzerinde olduğu, Arsin, Yomra ve Beşikdüzü'deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Trabzon ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



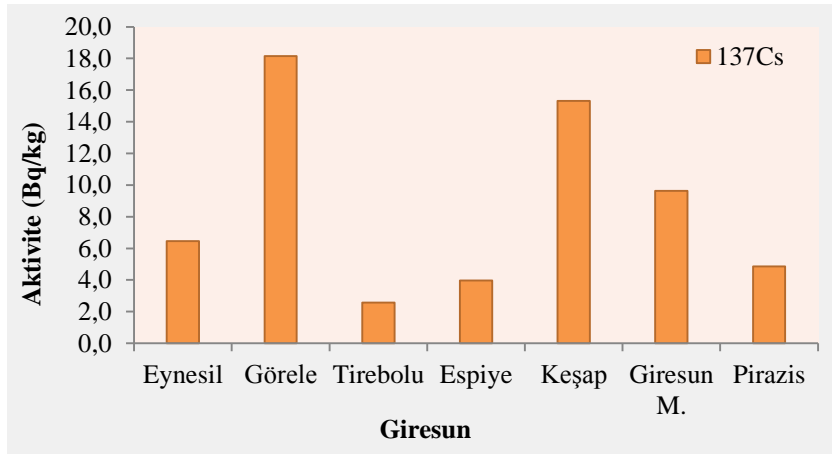
Şekil 47. Trabzon ili sediment örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Şekil 48'de Giresun ili sediment örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin en yüksek Pirazis'te, en düşük Keşap'ta olduğu görülmektedir. Görele, Tirebolu ve Giresun Merkez'deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Eynesil ve Espiye'deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Pirazis'de, en düşük Eynesil'de olduğu görülmektedir. Görele ve Giresun Merkez'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Tirebolu, Espiye ve Keşap'taki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Pirazis'te, en düşük Eynesil'de olduğu görülmektedir. Görele ve Giresun Merkez'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Giresun ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Tirebolu, Espiye ve Keşap'taki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin altında olduğu, görülmektedir.



Şekil 48. Giresun ili sediment örnekleri için <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite değerleri

Şekil 49’da Giresun ili sediment örneklerinde <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin en yüksek Görele’de, en düşük Tirebolu’da olduğu görülmektedir. Keşap ve Giresun Merkez’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin Giresun ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin üzerinde olduğu, Eynesil, Espiye ve Pirazis’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin altında olduğu, görülmektedir.

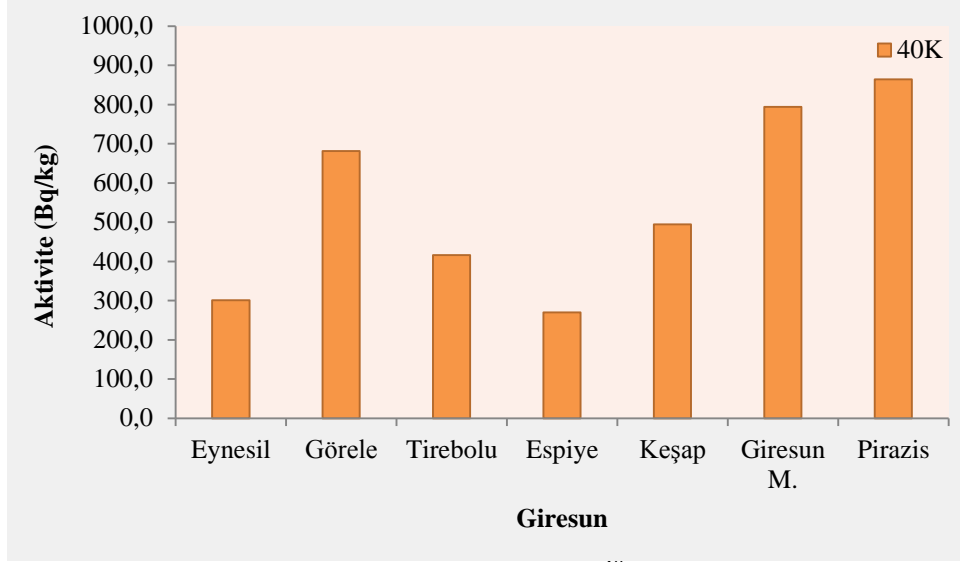


Şekil 49. Giresun ili sediment örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite değerleri

Şekil 50’de Giresun ili sediment örneklerinde <sup>40</sup>K aktivite değerinin en yüksek Pirazis’te, en düşük Espiye’de olduğu görülmektedir. Görele ve Giresun Merkez’deki <sup>40</sup>K aktivitesinin Giresun ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin üzerinde olduğu, Eynesil,

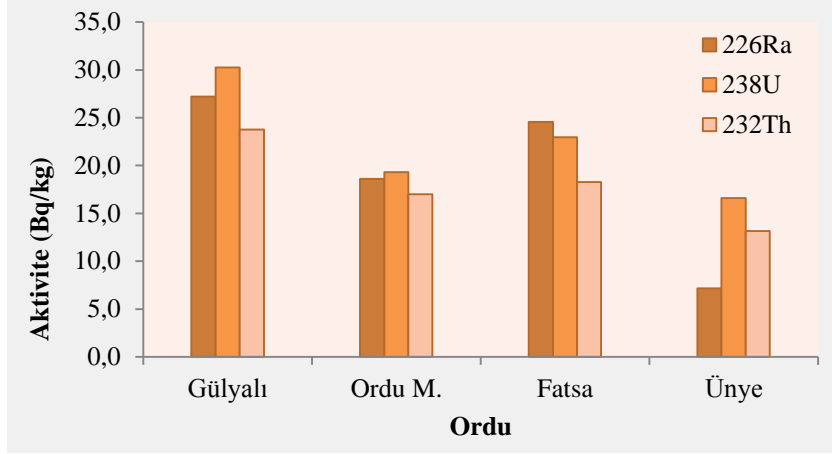


Tirebolu ve Keşap'taki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise Giresun ili için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



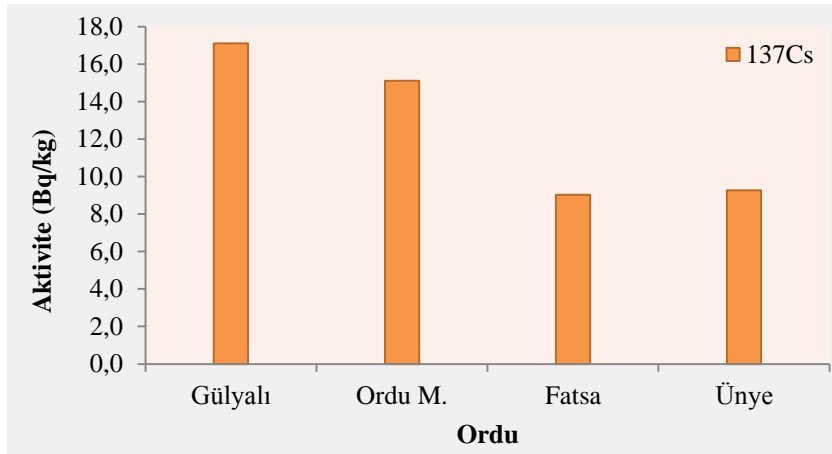
Şekil 50. Giresun ili sediment örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

Şekil 51'de Ordu ili sediment örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Gülyalı'da, en düşük Ünye'de olduğu görülmektedir. Fatsada'ki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Ordu ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ordu Merkez'deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Gülyalı'da, en düşük Ünye'de olduğu görülmektedir. Fatsa'daki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ordu Merkez'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Gülyalı'da, en düşük Ünye'de olduğu görülmektedir. Fatsa'daki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Ordu ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ordu Merkez'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



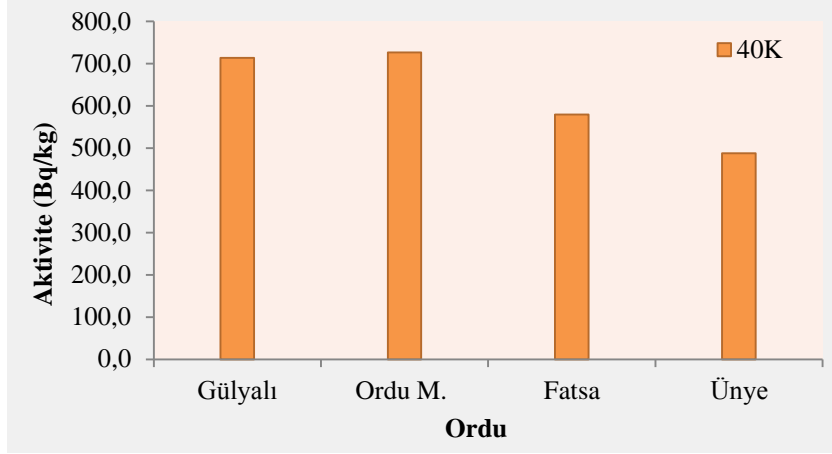
Şekil 51. Ordu ili sediment örnekleri için <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite değerleri

Şekil 52’de Ordu ili sediment örneklerinde <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin en yüksek Gülyalı’da, en düşük Fatsa’da olduğu görülmektedir. Ordu Merkez’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin Ordu ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ünye’deki <sup>137</sup>Cs aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 52. Ordu ili sediment örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite değerleri

Şekil 53’de Ordu ili sediment örneklerinde <sup>40</sup>K aktivite değerinin en yüksek Ordu Merkez’de, en düşük Ünye’de olduğu görülmektedir. Gülyalı’daki <sup>40</sup>K aktivitesinin Ordu ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin üzerinde olduğu, Fatsa’daki <sup>40</sup>K aktivitesinin ise Ordu ili için ortalama <sup>40</sup>K aktivite değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 53. Ordu ili sediment örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3. Makroalg Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

#### 3.3.1. *Cystoseira barbata* Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre *Cystoseira barbata* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 16'da verilmiştir

Tablo 16. İllere göre *Cystoseira barbata* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

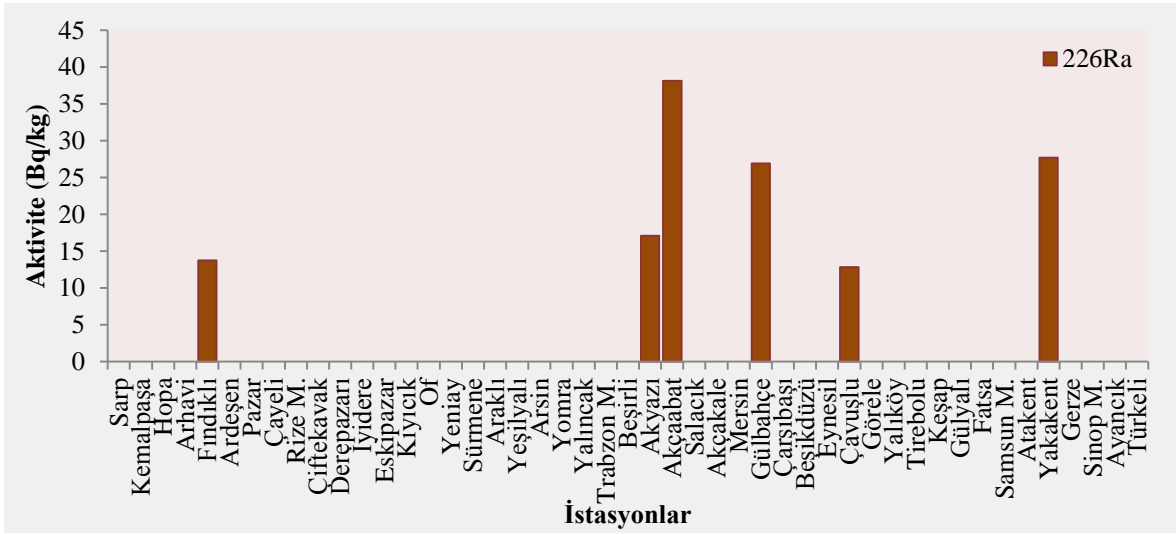
İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Artvin	4	Minimum	<DL	<DL	<DL	2,28	555,66
		Maksimum	<DL	16,89	14,72	3,63	1602,67
		Ortalama	<DL	4,22	8,72	2,81	1164,43
Rize	8	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	221,25
		Maksimum	13,75	23,2	13,73	4,31	1748,45
		Ortalama	1,71	4,58	4,45	3,07	1119,85
Trabzon	20	Minimum	<DL	<DL	1,7	<DL	49,40
		Maksimum	38,13	33,42	24,05	3,91	2003,00
		Ortalama	4,10	8,15	8,07	2,02	546,37
Giresun	6	Minimum	<DL	<DL	3,04	<DL	48,55
		Maksimum	12,82	12,27	19,01	3,66	856,18
		Ortalama	2,13	4,26	6,92	1,80	254,61
Ordu	2	Minimum	<DL	<DL	2,36	1,6	648,62
		Maksimum	<DL	3,32	5,88	2,01	790,00
		Ortalama	<DL	1,66	4,12	1,80	719,31
Samsun	3	Minimum	<DL	<DL	2,9	<DL	606,75
		Maksimum	27,71	29,56	8,56	3,63	796,30
		Ortalama	9,23	11,92	5,03	1,64	729,40
Sinop	4	Minimum	<DL	<DL	2,36	1,12	455,74
		Maksimum	<DL	15,00	8	4,97	748,05
		Ortalama	<DL	5,90	4,19	2,78	557,74
Tüm İller	47	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	48,55
		Maksimum	38,13	33,42	24,05	4,97	2003,00
		Ortalama	2,90	6,48	6,67	2,27	679,34

DL: Dedeksiyon limiti

*Cystoseira barbata* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi Şekil 54-58'de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

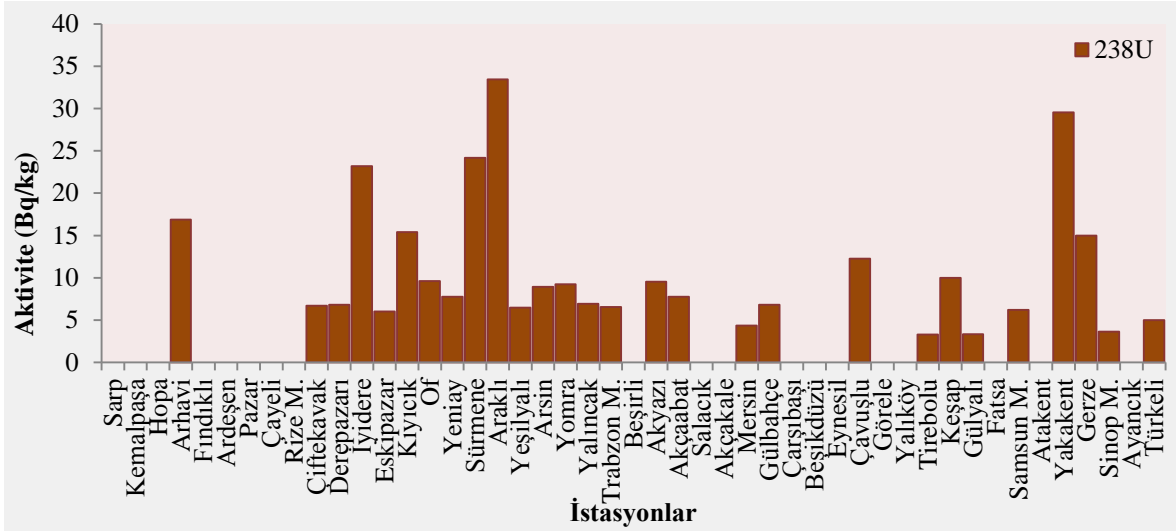
Şekil 54'de *Cystoseira barbata* örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Akçaabat'da, en düşük Çavuşlu'da olduğu görülmektedir. Sarp, Kemalpaşa, Hopa, Arhavi, Ardeşen, Pazar, Çayeli, Rize Merkez, Çiftekavak, Derepazarı, İyidere, Eskipazar, Kıyıcık,

Of, Yeniay, Sürmene, Araklı, Yeşilyalı, Arsin, Yomra, Yalınca, Trabzon Merkez, Beşirli, Salacık, Akçakale, Mersin, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Eynesil, Görele, Yalıköy, Tirebolu, Keşap, Gülyalı, Fatsa, Samsun Merkez, Atakent, Gerze, Sinop Merkez, Ayancık ve Türkeli’de ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Fındıklı, Akyazı, Gülbahçe ve Yakakent’teki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin *Cystoseira barbata* örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



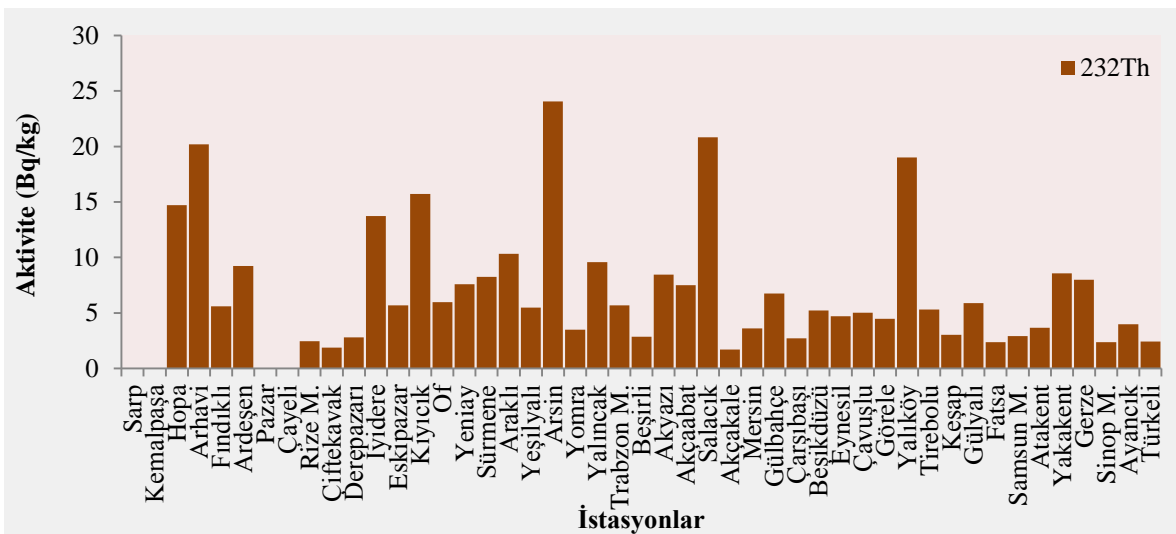
Şekil 54. *Cystoseira barbata* örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri

Şekil 55’de  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin en yüksek Araklı’da, en düşük Tirebolu ve Gülyalı’da olduğu görülmektedir. Sarp, Kemalpaşa, Hopa, Fındıklı, Ardeşen, Pazar, Çayeli, Rize Merkez, Beşirli, Salacık, Akçakale, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Eynesil, Görele, Yalıköy, Fatsa, Atakent ve Ayancık’da ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Arhavi, Çiftekavak, Derepazarı, İyidere, Kıyıcık, Of, Yeniay, Sürmene, Yeşilyalı, Arsin, Yomra, Yalınca, Trabzon Merkez, Akyazı, Akçaabat, Gülbahçe, Çavuşlu, Keşap, Yakakent ve Gerze’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin *Cystoseira barbata* örnekleri için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Eskipazar, Mersin, Samsun Merkez, Sinop Merkez ve Türkeli’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



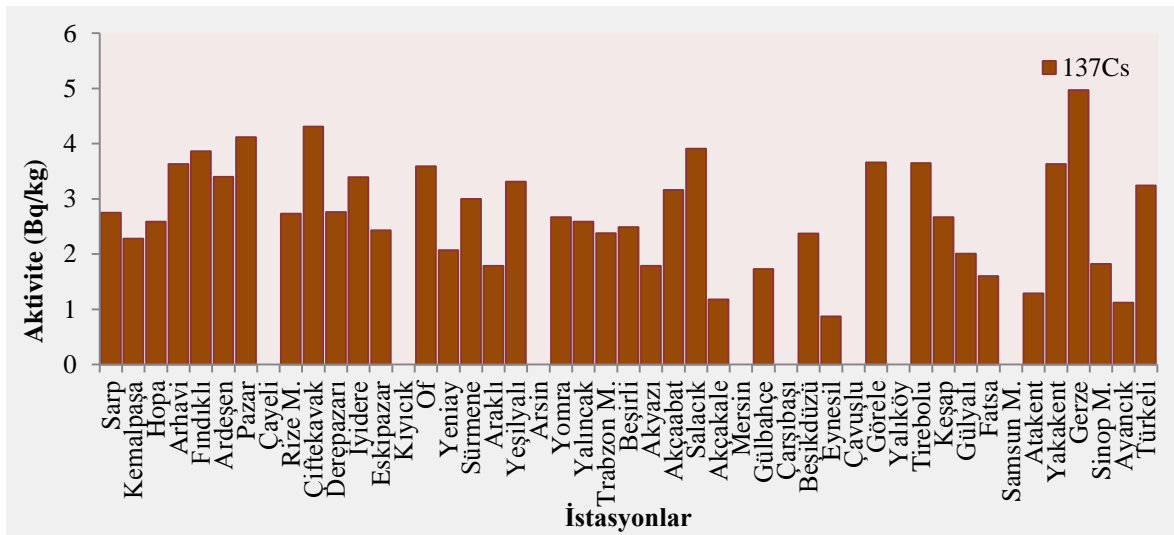
Şekil 55. *Cystoseira barbata* örnekleri için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

Şekil 56'da  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin en yüksek Arsin'de, en düşük Akçakale'de olduğu görülmektedir. Sarp, Kemalpaşa, Pazar ve Çayeli'de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Hopa, Arhavi, Ardeşen, İyidere, Kıyıcık, Yeniay, Sürmene, Araklı, Yalincak, Akyazı, Akçaabat, Salacık, Gülbahçe, Yalıköy, Yakakent ve Gerze'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin *Cystoseira barbata* örnekleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Fındıklı, Rize Merkez, Çiftekavak, Derepazarı, Eskipazar, Of, Yeşilyalı, Yomra, Trabzon Merkez, Beşirli, Akçakale, Mersin, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Eynesil, Çavuşlu, Görele, Tirebolu, Keşap, Gülyalı, Fatsa, Samsun Merkez, Atakent, Sinop Merkez, Ayancık ve Türkeli'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama değer altında olduğu görülmektedir.



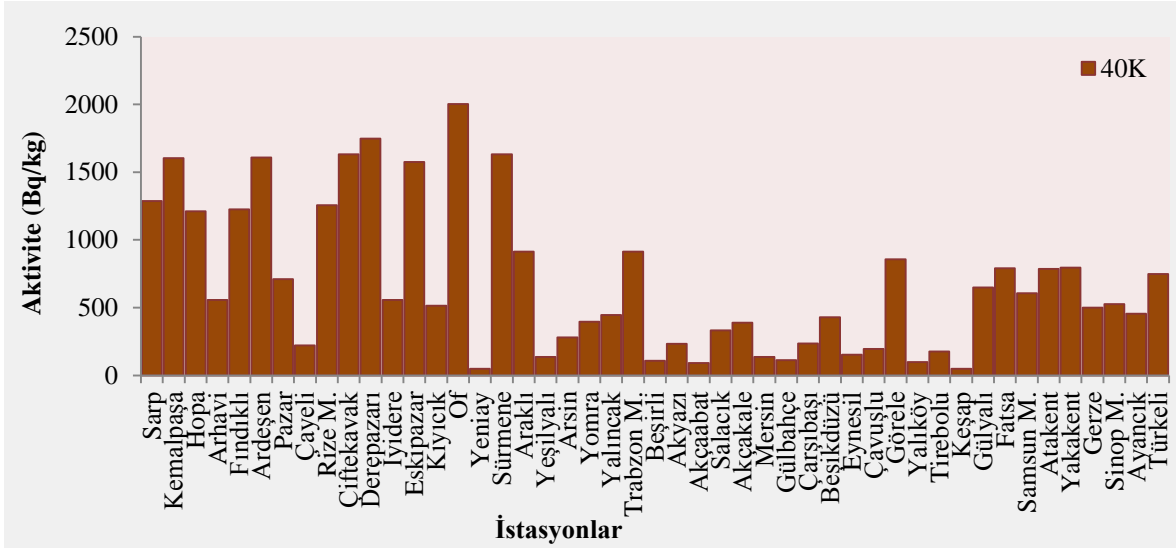
Şekil 56. *Cystoseira barbata* örnekleri için  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 57’de  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en yüksek Gerze’de, en düşük Eynesil’de olduğu görülmektedir. Çayeli, Kıyıcık, Arsin, Mersin, Çarşıbaşı, Çavuşlu, Yalıköy ve Samsun Merkez’de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Sarp, Kemalpaşa, Hopa, Arhavi, Fındıklı, Ardeşen, Pazar, Rize Merkez, Çiftekavak, Derepazarı, İyidere, Eskipazar, Of, Sürmene, Yeşilyalı, Yomra, Yalınca, Trabzon Merkez, Beşirli, Akçaabat, Salacık, Beşikdüzü, Görele, Tirebolu, Keşap, Yakakent, Gerze ve Türkeli’deki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin *Cystoseira barbata* örnekleri için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Yeniay, Araklı, Akyazı, Akçakale, Gülbahçe, Eynesil, Gülyalı, Fatsa, Atakent, Sinop Merkez ve Ayancık’daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin ise bu ortalama değer in altında olduğu görülmektedir.



Şekil 57. *Cystoseira barbata* örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 58’de  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise en yüksek Of’da en düşük Keşap’da olduğu görülmektedir. Sarp, Kemalpaşa, Hopa, Fındıklı, Ardeşen, Pazar, Rize Merkez, Çiftekavak, Derepazarı, Eskipazar, Sürmene, Araklı, Trabzon Merkez, Görele, Fatsa, Atakent, Yakakent ve Türkeli’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin *Cystoseira barbata* örnekleri için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arhavi, Çayeli, İyidere, Kıyıcık, Yeniay, Yeşilyalı, Arsin, Yomra, Yalınca, Beşirli, Akyazı, Akçaabat, Salacık, Akçakale, Mersin, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Eynesil, Çavuşlu, Yalıköy, Tirebolu, Keşap, Gülyalı, Samsun Merkez, Gerze, Sinop Merkez ve Ayancık’daki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise bu ortalama değer in altında olduğu görülmektedir.



Şekil 58. *Cystoseira barbata* örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3.2. *Ulva lactuca* Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre *Ulva lactuca* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 17’de verilmiştir



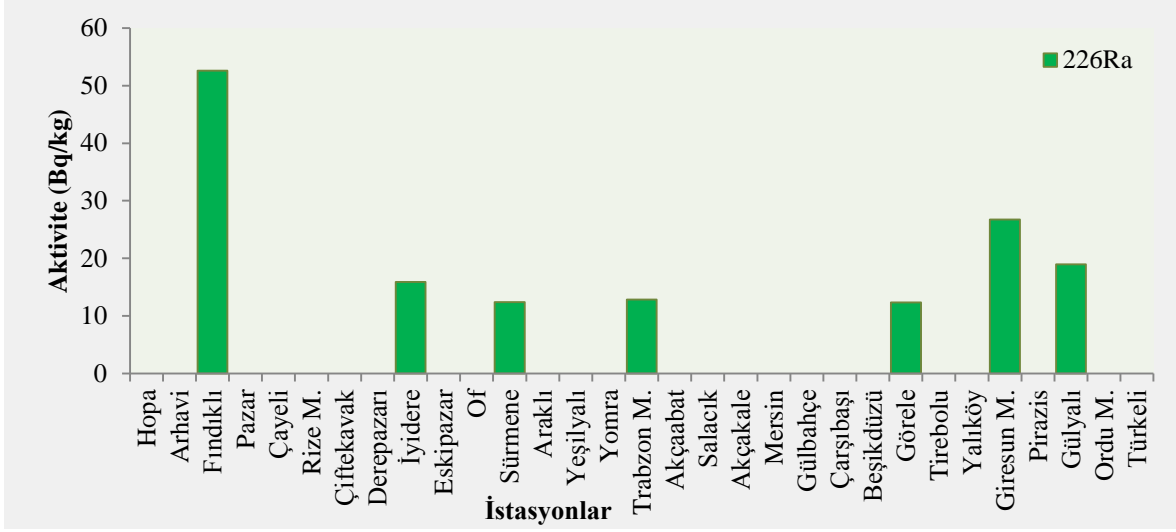
Tablo 17. İllere göre *Ulva lactuca* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Artvin	2	Minimum	<DL	6,83	<DL	1,52	59,42
		Maksimum	<DL	9,71	7,36	1,73	170,91
		Ortalama	<DL	8,27	3,68	1,62	115,16
Rize	7	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	28,24
		Maksimum	52,61	27,59	23,2	3,17	279,13
		Ortalama	9,78	8,22	8,03	0,71	146,67
Trabzon	14	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	38,61
		Maksimum	12,82	18,01	39,27	2,45	290,37
		Ortalama	1,80	6,32	9,07	0,71	127,38
Giresun	5	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	87,62
		Maksimum	26,75	22,26	20,46	2,84	633,59
		Ortalama	7,82	10,76	8,73	2,14	303,82
Ordu	2	Minimum	<DL	8,24	3,85	2,51	320,18
		Maksimum	18,93	11,70	3,90	2,92	340,04
		Ortalama	9,46	9,97	3,87	2,71	333,61
Sinop	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	<DL	8,17	3,32	2,52	460,82
Tüm İller	31	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	28,24
		Maksimum	52,61	27,59	39,27	3,17	633,59
		Ortalama	4,89	7,88	7,91	1,19	183,47

DL: Dedeksiyon limiti

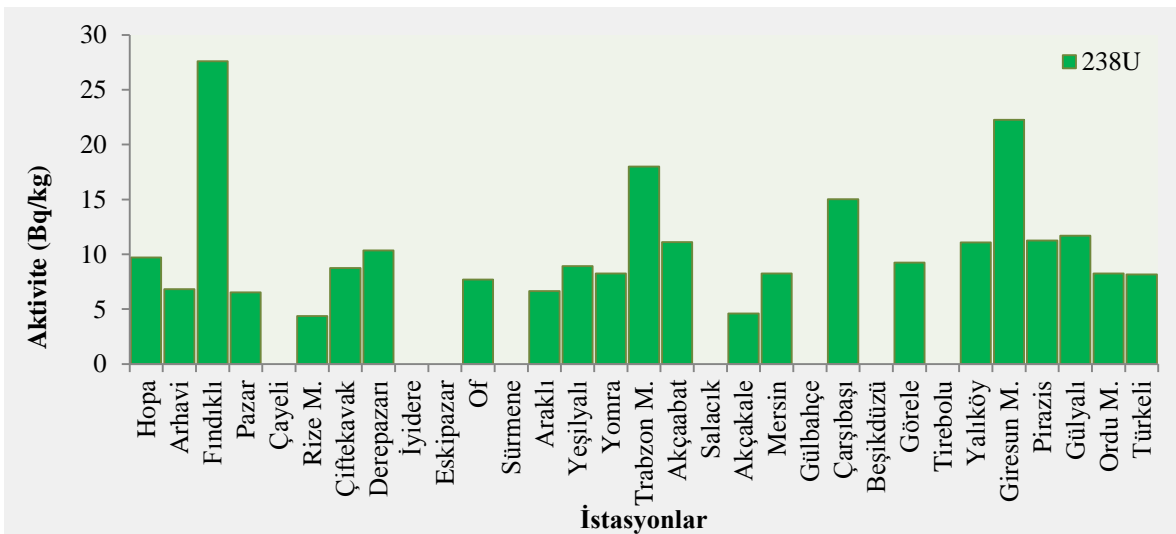
*Ulva lactuca* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi şekiller 59-63'de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

Şekil 59'da *Ulva lactuca* örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı'da en düşük Görele'de olduğu görülmektedir. Hopa, Arhavi, Pazar, Çayeli, Rize Merkez, Çiftekavak, Der pazarı, Eskipazar, Of, Araklı, Yeşilyalı, Yomra, Akçaabat, Salacık, Akçakale, Mersin, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Tirebolu, Yalıköy, Pirazis, Ordu Merkez ve Türkeli'de ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca İyidere, Sürmene, Trabzon Merkez, Giresun Merkez ve Gülyalı'daki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin ise *Ulva lactuca* örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



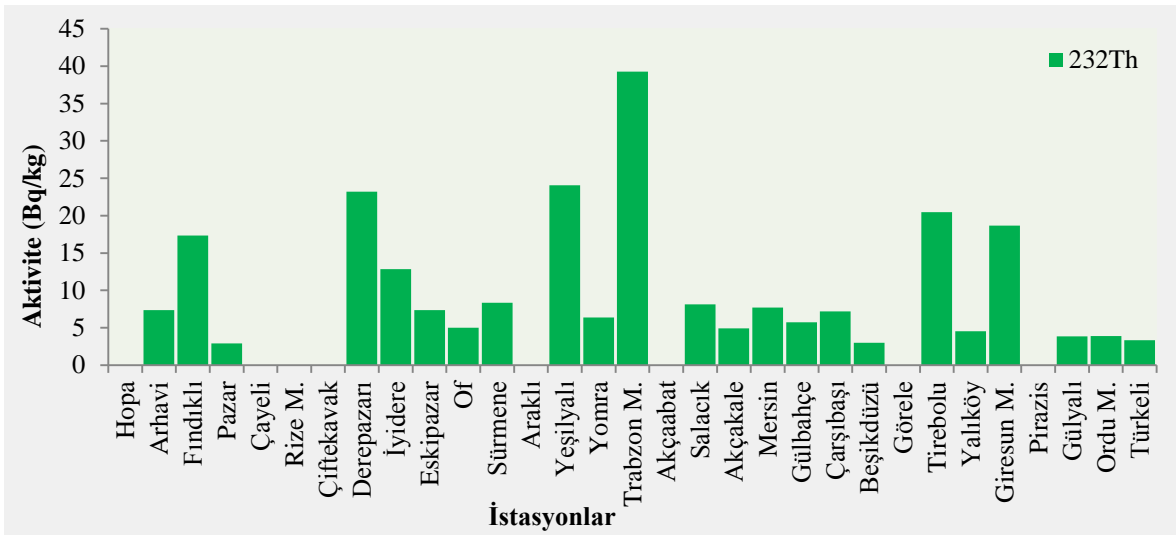
Şekil 59. *Ulva lactuca* örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri

Şekil 60'da *Ulva lactuca* örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı'da, en düşük Rize Merkez'de olduğu görülmektedir. Çayeli, İyidere, Eskipazar, Sürmene, Salacık, Gülbahçe, Beşikdüzü ve Yalıköy'de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Hopa, Çiftekavak, Derepazarı, Yeşilyalı, Yomra, Trabzon Merkez, Akçaabat, Mersin, Çarşıbaşı, Görece, Tirebolu, Giresun Merkez, Pirazis, Gülyalı, Ordu Merkez ve Türkeli'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin *Ulva lactuca* örnekleri için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arhavi, Pazar, Of, Araklı ve Akçakale'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



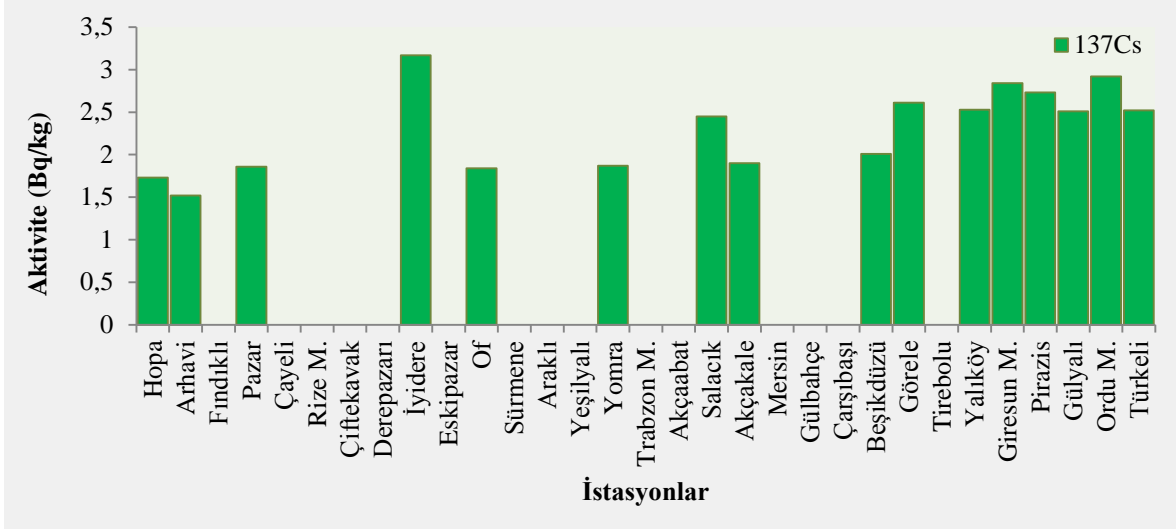
Şekil 60. *Ulva lactuca* örnekleri için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

Şekil 61’de *Ulva lactuca* örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Trabzon Merkez’de, en düşük Pazar’da olduğu görülmektedir. Hopa, Çayeli, Rize Merkez, Çiftekavak, Araklı, Akçaabat, Görele ve Pirazis’de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Fındıklı, Derepazarı, İyidere, Sürmene, Yeşilyalı, Trabzon Merkez, Salacık, Yalıköy ve Giresun Merkez’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin *Ulva lactuca* örnekleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arhavi, Pazar, Eskipazar, Of, Yomra, Akçakale, Mersin, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Tirebolu, Gülyalı, Ordu Merkez ve Türkeli’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerin altında olduğu görülmektedir.



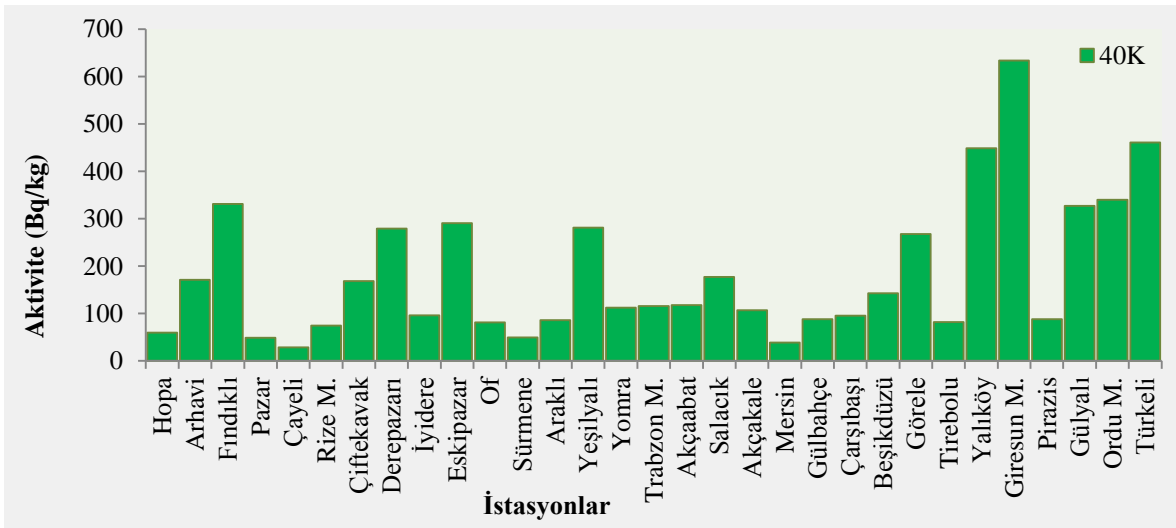
Şekil 61. *Ulva lactuca* örnekleri için  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 62’de *Ulva lactuca* örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en yüksek İyidere’de, en düşük Arhavi’de olduğu görülmektedir. Fındıklı, Çayeli, Rize Merkez, Çiftekavak, Derepazarı, Eskipazar, Sürmene, Araklı, Yeşilyalı, Trabzon Merkez, Akçaabat, Mersin Gülbahçe, Çarşıbaşı ve Tirebolu’da ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Hopa, Pazar, Of, Yomra, Salacık, Akçakale, Beşikdüzü, Görele, Yalıköy, Giresun Merkez, Pirazis, Gülyalı, Ordu Merkez ve Türkeli’deki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin *Ulva lactuca* örnekleri için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 62. *Ulva lactuca* örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 63'de *Ulva lactuca* örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin en yüksek Giresun Merkez'de, en düşük Çayeli'de olduğu görülmektedir. Ayrıca Fındıklı, Derepazarı, Eskipazar, Yeşilyalı, Görece, Yalıköy, Gülyalı, Ordu Merkez ve Türkeli'deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin *Ulva lactuca* örnekleri için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin üzerinde olduğu, Hopa, Arhavi, Pazar, Rize Merkez, Çiftekavak, İyidere, Of, Sürmene, Araklı, Yomra, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık, Akçakale, Mersin, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Beşikdüzü, Tirebolu ve Pirazis'deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 63. *Ulva lactuca* örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3.3. *Enteromorpha intestinalis* Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre *Enteromorpha intestinalis* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 18’de verilmiştir

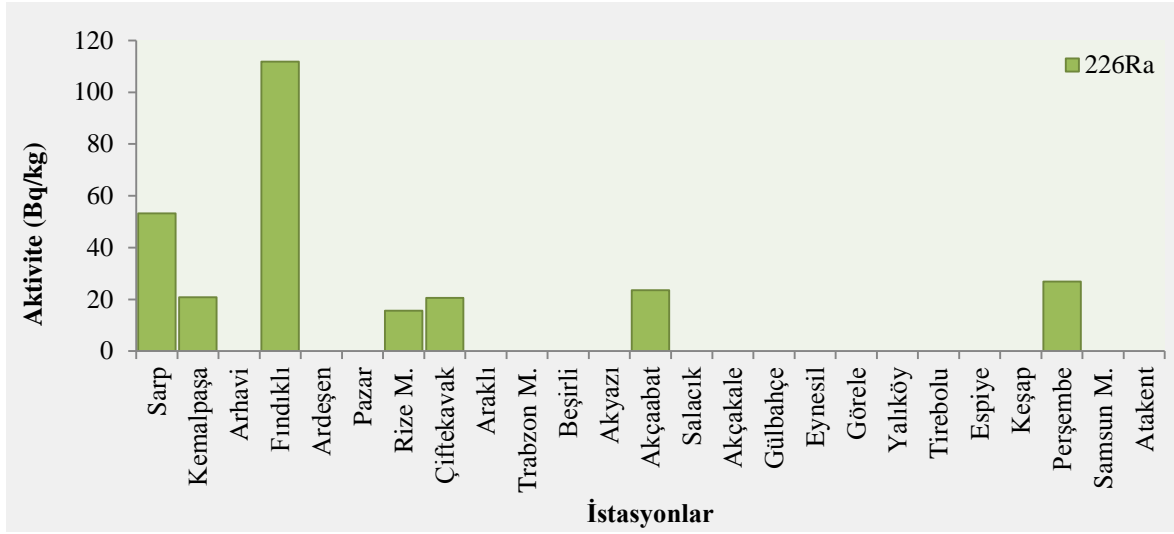
Tablo 18. İllere göre *Enteromorpha intestinalis* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Artvin	3	Minimum	<DL	3,58	10,48	<DL	233,78
		Maksimum	53,24	12,64	18,69	3,78	349,35
		Ortalama	24,69	7,73	14,52	2,41	294,08
Rize	5	Minimum	<DL	<DL	3,93	<DL	55,77
		Maksimum	111,79	43,32	37,11	3,02	669,45
		Ortalama	29,59	23,17	20,58	1,36	343,76
Trabzon	8	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	82,48
		Maksimum	23,53	35	32,3	4,35	447,9
		Ortalama	2,94	10,83	11,72	2,10	203,85
Giresun	6	Minimum	<DL	<DL	<DL	2,35	70,65
		Maksimum	<DL	10,78	9,06	4,44	361,34
		Ortalama	<DL	3,86	3,78	3,06	152,57
Ordu	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	26,89	14,97	14,37	<DL	172,11
Samsun	2	Minimum	<DL	13,27	5,48	<DL	257,78
		Maksimum	<DL	23,55	10,8	2,24	538,41
		Ortalama	<DL	18,41	8,14	1,12	398,09
Tüm İller	25	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	55,77
		Maksimum	111,79	43,32	37,11	4,44	669,45
		Ortalama	10,89	11,10	11,74	2,06	244,62

DL: Dedeksiyon limiti

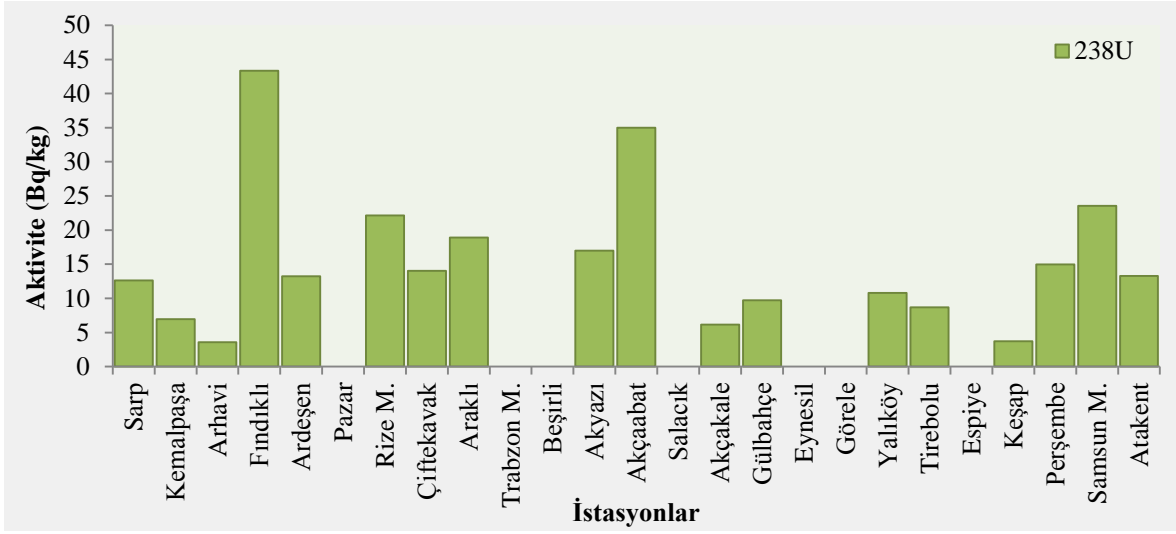
*Enteromorpha intestinalis* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi Şekil 64-68’de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

Şekil 64’de *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı’da en düşük Rize Merkez’de olduğu görülmektedir. Arhavi, Ardeşen, Pazar, Araklı, Trabzon Merkez, Beşirli, Akyazı, Salacık, Akçakale, Gülbahçe, Eynesil, Görele, Yalıköy, Tirebolu, Espiye, Keşap, Samsun Merkez ve Atakent’de ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Sarp, Kemalpaşa, Çiftekavak, Akçaabat ve Perşembe’deki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



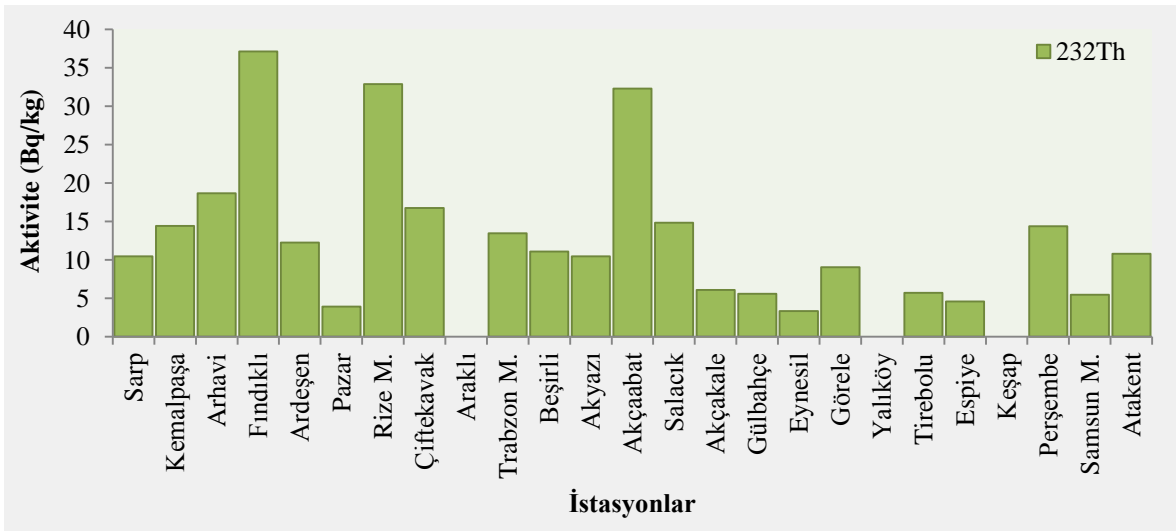
Şekil 64. *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri

Şekil 65’de *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı’da, en düşük Arhavi’de olduğu görülmektedir. Pazar, Trabzon Merkez, Beşirli, Salacık, Eynesil, Görele ve Espiye’de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Sarp, Ardeşen, Çiftekavak, Araklı, Akyazı, Akçaabat, Perşembe, Samsun Merkez ve Atakent’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Kemalpaşa, Akçakale, Gülbahçe, Yalıköy, Tirebolu ve Keşap’taki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise bu ortalama değer altında olduğu görülmektedir.



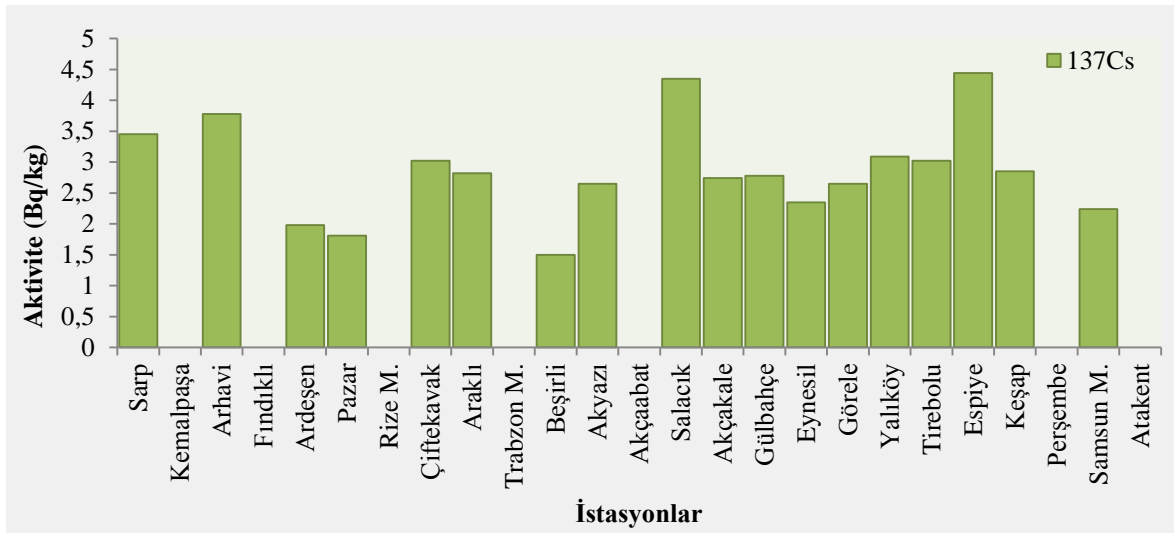
Şekil 65. *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

Şekil 66'da *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı'da, en düşük Eynesil'de olduğu görülmektedir. Araklı, Yalılıköy ve Keşap'da ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Kemalpaşa, Arhavi, Ardeşen, Rize Merkez, Çiftekavak, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık ve Perşembe'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Sarp, Pazar, Beşirli, Akyazı, Akçakale, Gülbağçe, Eynesil, Görele, Tirebolu, Espiye, Samsun Merkez ve Atakent'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 66. *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

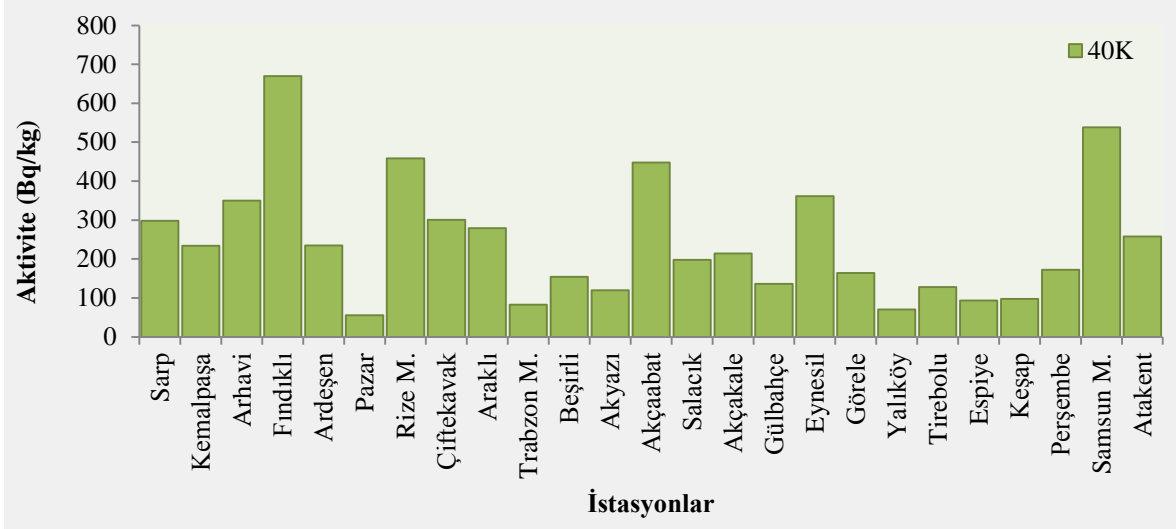
Şekil 67’de *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en yüksek Salacık ve Espiye’de, en düşük Beşirli’de olduğu görülmektedir. Kemalpaşa, Fındıklı, Rize Merkez, Trabzon Merkez, Akçaabat, Perşembe ve Atakent’de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Sarp, Arhavi, Çiftekavak, Araklı, Akyazı, Akçakale, Gülbahçe, Eynesil, Görele, Yalıköy, Tirebolu, Keşap ve Samsun Merkez’deki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Ardeşen ve Pazar’daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 67. *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 68’de *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin en yüksek Fındıklı’da en düşük Pazar’da olduğu görülmektedir. Ayrıca Sarp, Arhavi, Rize Merkez, Çiftekavak, Araklı, Akçaabat, Eynesil, Samsun Merkez ve Atakent’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Kemalpaşa, Ardeşen, Trabzon Merkez, Beşirli, Akyazı, Salacık, Akçakale, Gülbahçe, Görele, Yalıköy, Tirebolu, Espiye, Keşap ve Perşembe’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.





Şekil 68. *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3.4. *Enteromorpha linza* Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre *Enteromorpha linza* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 19’da verilmiştir

Tablo 19. İllere göre *Enteromorpha linza* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

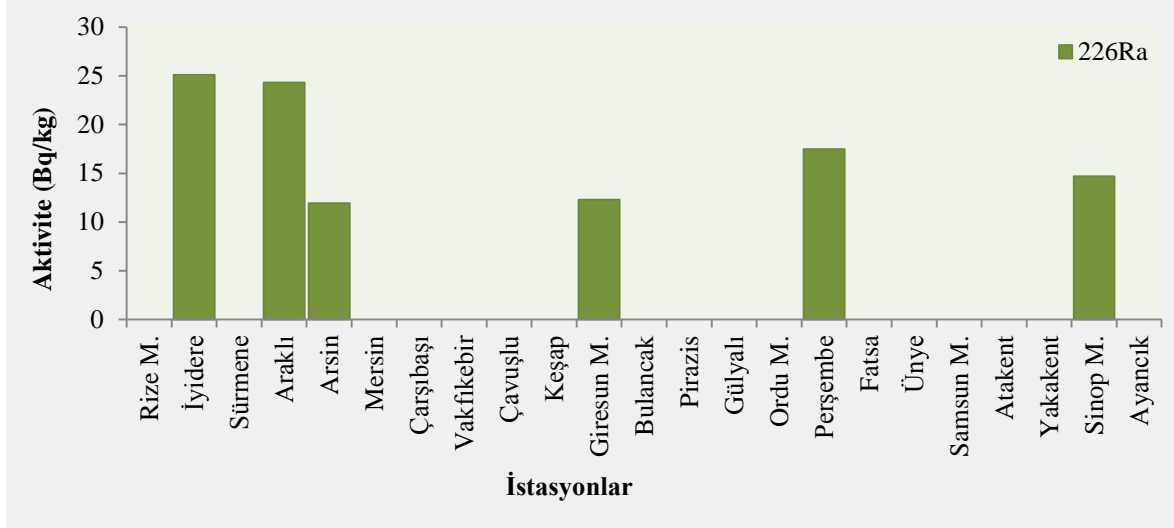
İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Rize	2	Minimum	<DL	<DL	23,36	<DL	105,61
		Maksimum	25,1	10,79	36,25	2,75	611,63
		Ortalama	12,55	5,395	29,805	1,375	358,62
Trabzon	6	Minimum	<DL	<DL	2,17	<DL	17,96
		Maksimum	24,33	18,94	9,78	2,85	106,29
		Ortalama	6,04	8,59	6,90	1,64	80,82
Giresun	5	Minimum	<DL	<DL	1,98	<DL	108,66
		Maksimum	12,29	12,76	15,84	2,78	367,25
		Ortalama	2,45	6,78	5,6	1,52	222,16
Ordu	5	Minimum	<DL	3,53	<DL	<DL	104,72
		Maksimum	17,48	8,24	13,48	2,31	247,3
		Ortalama	3,496	5,954	5,05	1,05	176,33
Samsun	3	Minimum	<DL	4,34	<DL	<DL	191,57
		Maksimum	<DL	7,75	9,63	3,41	336,54
		Ortalama	0	6,31	4,21	1,96	281,23
Sinop	2	Minimum	<DL	3	10,15	<DL	260,08
		Maksimum	14,68	25,32	10,42	4,28	315,04
		Ortalama	7,34	14,16	10,28	2,14	287,56
Tüm İller	23	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	17,96
		Maksimum	25,1	25,32	36,25	4,28	611,63
		Ortalama	4,60	7,53	8,15	1,54	200,58

DL: Dedeksiyon limiti

*Enteromorpha linza* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi Şekil 69-73'da gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

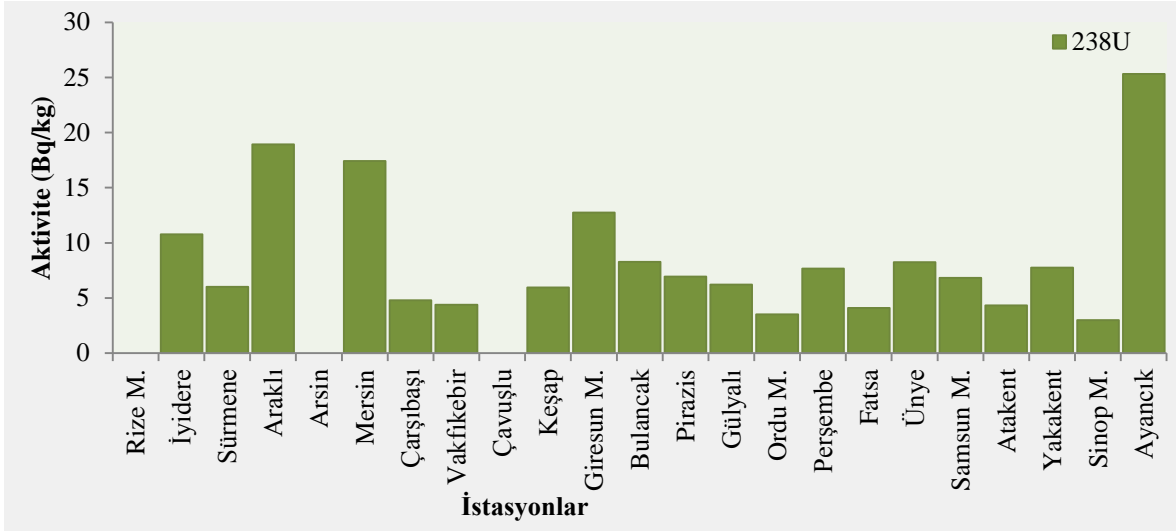
Şekil 69'da *Enteromorpha linza* örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek İyidere'de, en düşük Arsin'de olduğu görülmektedir. Rize Merkez, Sürmene, Mersin, Çarşıbaşı, Vakfikebir, Çavuşlu, Keşap, Bulancak, Pirazis, Gülyalı, Ordu Merkez, Fatsa, Ünye, Samsun Merkez, Atakent, Yakakent ve Ayancık'da ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Araklı, Giresun Merkez, Perşembe ve Sinop Merkez'deki  $^{226}\text{Ra}$

aktivitesinin *Enteromorpha linza* örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



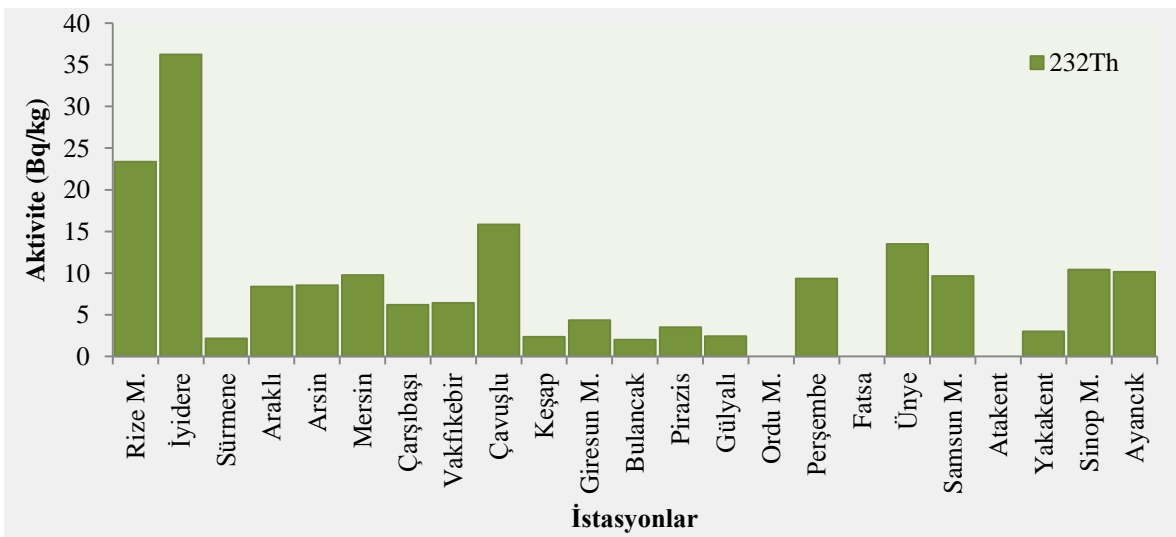
Şekil 69. *Enteromorpha linza* örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri

Şekil 70'de *Enteromorpha linza* örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Ayancık'da, en düşük Sinop Merkez'de olduğu görülmektedir. Rize Merkez, Arsin ve Çavuşlu'da ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca İyidere, Araklı, Mersin, Giresun Merkez, Bulancak, Perşembe, Ünye ve Yakakent'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin *Enteromorpha linza* örnekleri için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Sürmene, Çarşbaşı, Vakfikebir, Keşap, Pirazis, Gülyalı, Ordu Merkez, Fatsa, Samsun Merkez, Atakent ve Sinop Merkez'deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



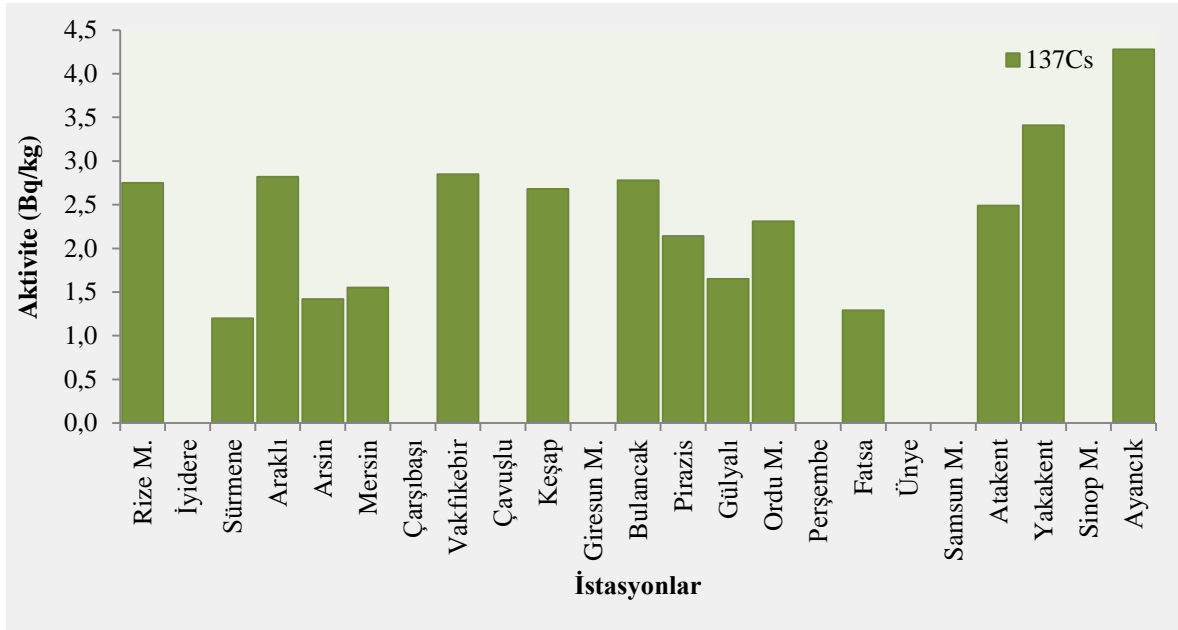
Şekil 70. *Enteromorpha linza* örnekleri için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

Şekil 71’de *Enteromorpha linza* örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek İyidere’de, en düşük Sürmene’de olduğu görülmektedir. Ordu Merkez, Fatsa ve Atakent’de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Rize Merkez, Araklı, Arsin, Mersin, Çavuşlu, Perşembe, Ünye, Samsun Merkez, Sinop Merkez ve Ayancık’daki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin *Enteromorpha linza* örnekleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Çarşıbaşı, Vakfikebir, Keşap, Giresun Merkez, Bulancak, Pirazis, Gülyalı ve Yakakent’deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



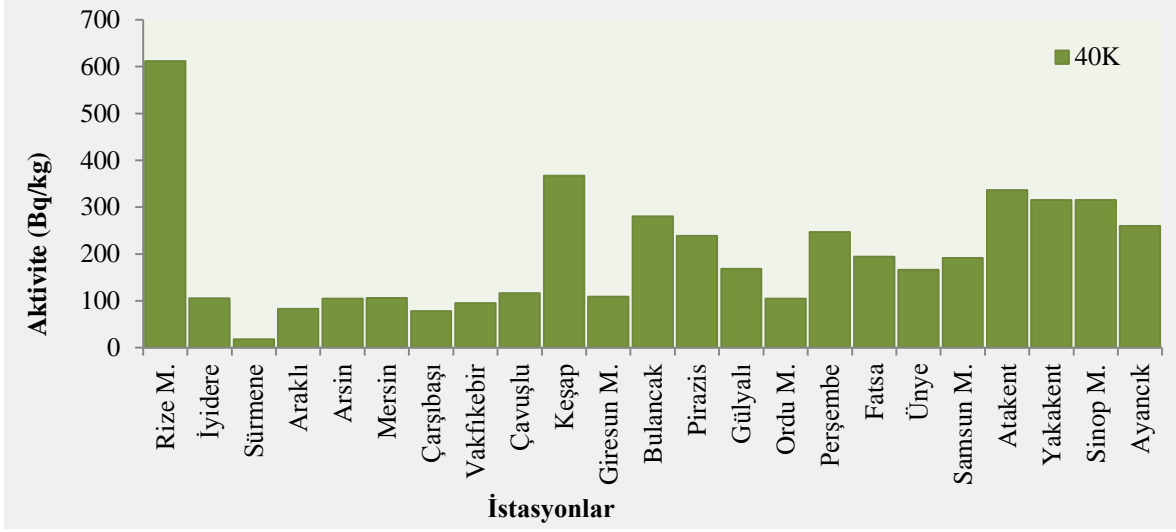
Şekil 71. *Enteromorpha linza* örnekleri için  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 72’de *Enteromorpha linza* örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en yüksek Ayancık’da, en düşük Sürmene’de olduğu görülmektedir. İyidere, Çarşibaşı, Çavuşlu, Giresun Merkez, Perşembe, Ünye, Samsun Merkez ve Sinop Merkez’de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Rize Merkez, Araklı, Mersin, Vakfikebir, Keşap, Bulancak, Pirazis, Gülyalı, Ordu Merkez, Atakent ve Yakakent’teki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin *Enteromorpha linza* örnekleri için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Arsin ve Fatsa’daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 72. *Enteromorpha linza* örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 73’de *Enteromorpha linza* örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin en yüksek Rize Merkez’de en düşük Sürmene’de olduğu görülmektedir. Ayrıca Keşap, Bulancak, Pirazis, Perşembe, Atakent, Yakakent, Sinop Merkez ve Ayancık’daki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin *Enteromorpha linza* örnekleri için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, İyidere, Araklı, Arsin, Mersin, Çarşibaşı, Vakfikebir, Çavuşlu, Giresun Merkez, Gülyalı, Ordu Merkez, Fatsa, Ünye ve Samsun Merkez’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 73. *Enteromorpha linza* örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.3.5. *Ceramium rubrum* Örneklerinde Gama Spektroskopisi Analizi Sonuçları

Ortec marka GEM55-P4 model dedektör ile yapılan ölçümler sonucunda illere göre *Ceramium rubrum* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 20’de verilmiştir

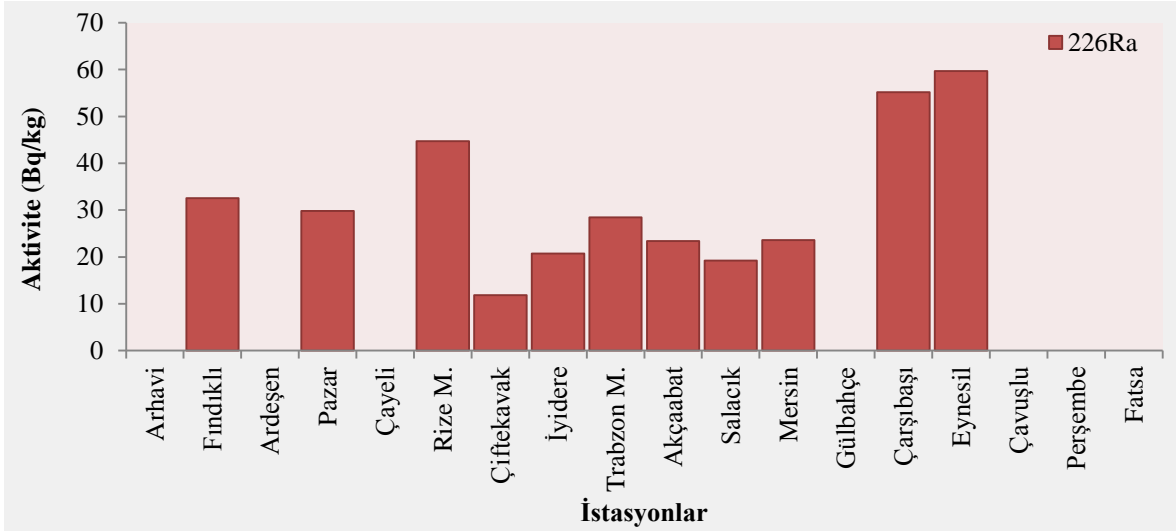
Tablo 20. İllere göre *Ceranium rubrum* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

İller	Numune Sayısı		$^{226}\text{Ra}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{40}\text{K}$ (Bq/kg)
Artvin	1	Minimum	-	-	-	-	-
		Maksimum	-	-	-	-	-
		Ortalama	<DL	12,54	36,14	3,55	320,15
Rize	7	Minimum	<DL	<DL	3,3	<DL	110,09
		Maksimum	44,7	23,89	23,85	4,09	882,67
		Ortalama	19,96	13,74	14,55	2,96	434,63
Trabzon	6	Minimum	<DL	3,37	9,62	2,64	148
		Maksimum	55,19	19,78	26,09	4,12	356,49
		Ortalama	24,97	10,84	16,31	3,51	216,83
Giresun	2	Minimum	<DL	11,1	12,48	<DL	229,86
		Maksimum	59,69	22,57	23,16	4,81	235,71
		Ortalama	29,845	16,835	17,82	2,405	232,785
Ordu	2	Minimum	<DL	5,71	<DL	<DL	30,3
		Maksimum	<DL	7,85	5,05	3,07	252,72
		Ortalama	0	6,78	2,525	1,535	141,51
Tüm İller	18	Minimum	<DL	<DL	<DL	<DL	30,3
		Maksimum	59,69	23,89	36,14	4,81	882,67
		Ortalama	19,40	12,28	15,36	2,96	300,68

DL: Dedeksiyon limiti

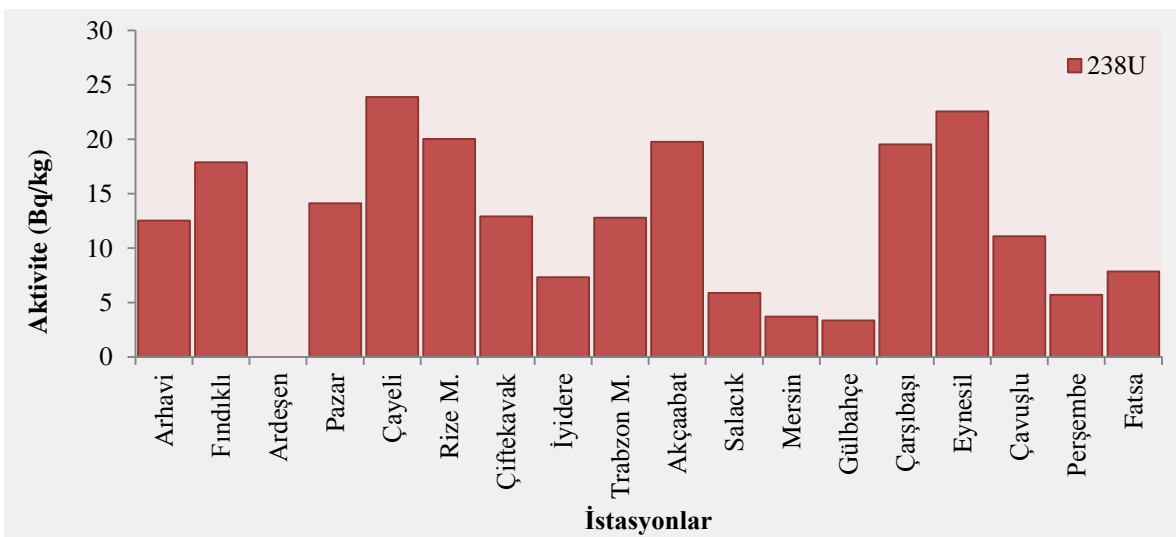
*Ceranium rubrum* örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerlerinin illere göre değişimi şekiller 74-78'de gösterilmektedir. Bu şekiller yakından incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar elde edilebilir.

Şekil 74'de *Ceranium rubrum* örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin en yüksek Eynesil'de, en düşük Çiftkavak'da olduğu görülmektedir. Arhavi, Ardeşen, Çayeli, Gülbahçe, Çavuşlu, Perşembe ve Fatsa'da ise  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Fındıklı, Pazar, Rize Merkez, İyidere, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık, Mersin ve Çarşıbaşı'daki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin *Ceranium rubrum* örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 74. *Ceramium rubrum* örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri

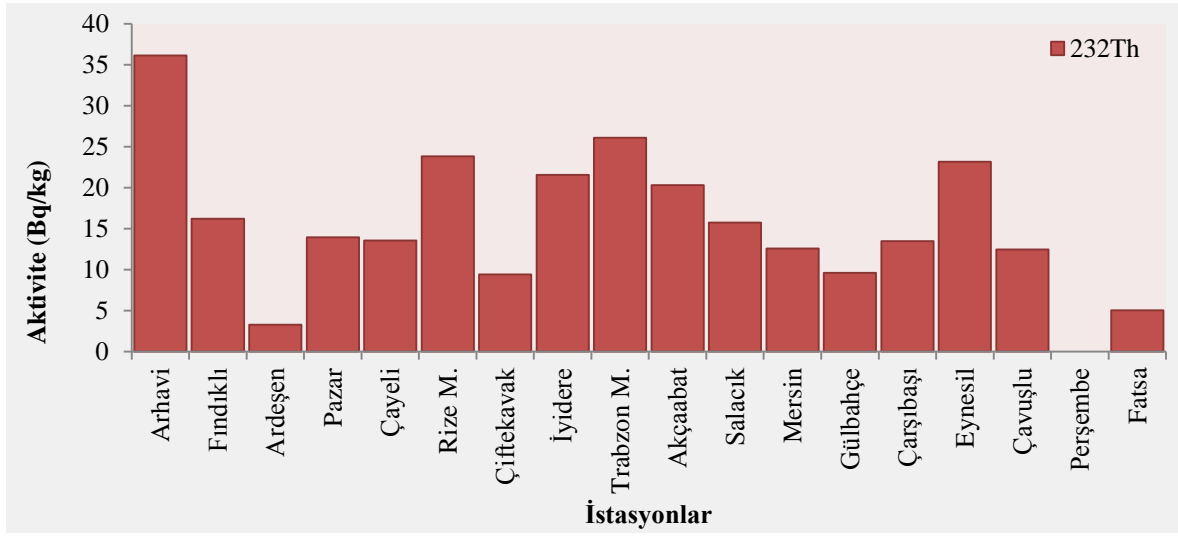
Şekil 75’de *Ceramium rubrum* örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin en yüksek Çayeli’de en düşük Gülbahçe’de olduğu görülmektedir. Ardeşen’de ise  $^{238}\text{U}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Fındıklı, Pazar, Rize Merkez, Çiftekavak, Trabzon Merkez, Akçaabat, Çarşıbaşı ve Eynesil’deki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin *Ceramium rubrum* örnekleri için ortalama  $^{238}\text{U}$  aktivite değerinin üzerinde İyidere, Salacık, Mersin, Gülbahçe, Çavuşlu, Perşembe ve Fatsa’daki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 75. *Ceramium rubrum* örnekleri için  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri

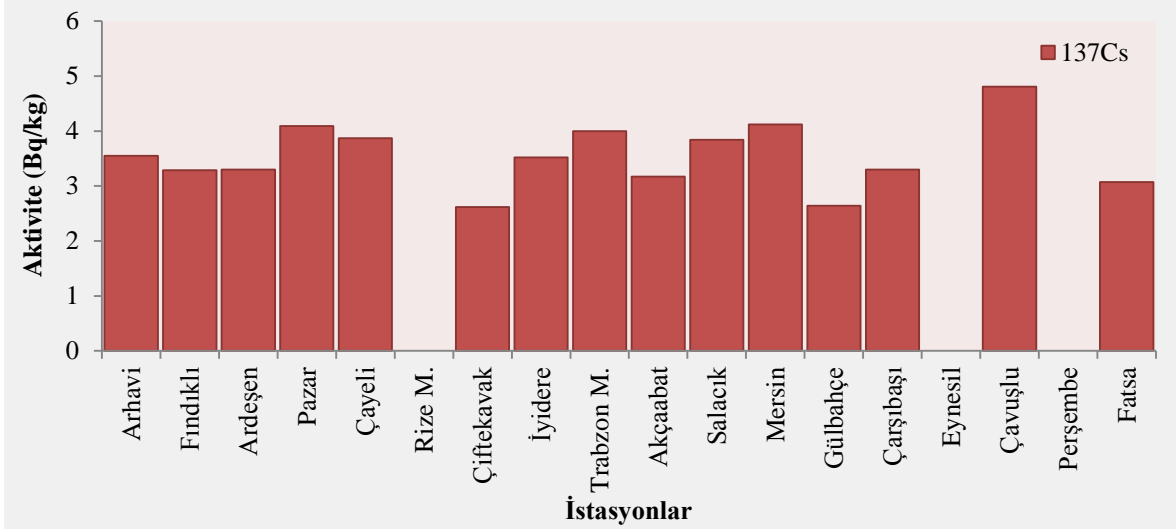


Şekil 76'da *Ceranium rubrum* örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin en yüksek Arhavi'de, en düşük Ardeşen'de olduğu görülmektedir. Perşembe'de ise  $^{232}\text{Th}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Fındıklı, Rize Merkez, İyidere, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık ve Eynesil'deki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin *Ceranium rubrum* örnekleri için ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Pazar, Çayeli, Çiftekavak, Mersin, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Çavuşlu ve Fatsa'daki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerin altında olduğu görülmektedir.



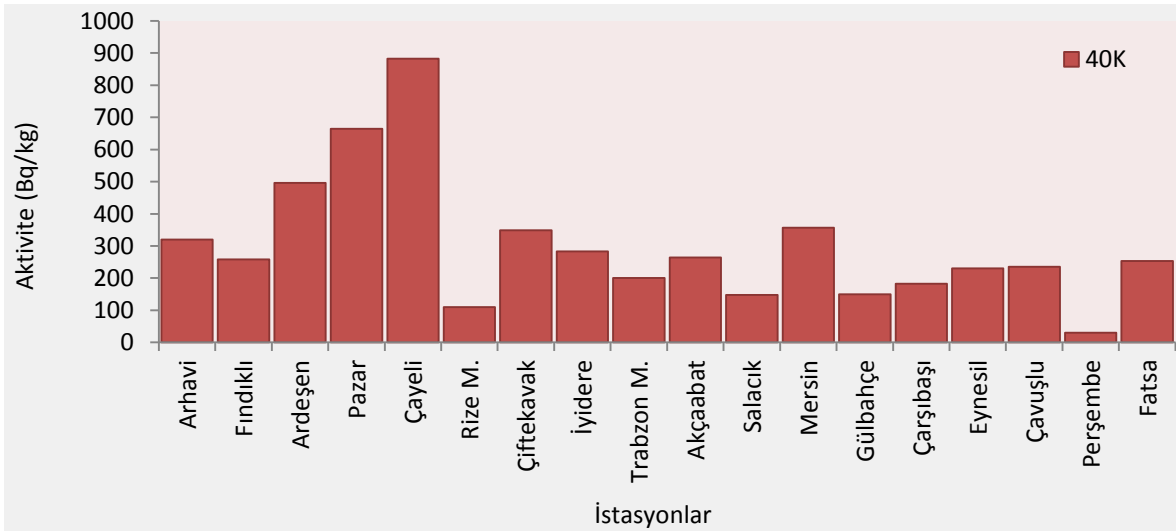
Şekil 76. *Ceranium rubrum* örnekleri için  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri

Şekil 77'de *Ceranium rubrum* örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin en yüksek Çavuşlu'da, en düşük Çiftekavak ve Gülbahçe'de olduğu görülmektedir. Rize Merkez, Eynesil ve Perşembe'de ise  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesine rastlanmamıştır. Ayrıca Arhavi, Fındıklı, Ardeşen, Pazar, Çayeli, İyidere, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık, Mersin, Çarşıbaşı ve Fatsa'daki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin *Ceranium rubrum* örnekleri için ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 77. *Ceramium rubrum* örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri

Şekil 78’de *Ceramium rubrum* örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin en yüksek Çayeli’de en düşük Perşembe’de olduğu görülmektedir. Ayrıca Arhavi, Ardeşen Pazar, Çiftekavak ve Mersin’deki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin *Ceramium rubrum* örnekleri için ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite değerinin üzerinde olduğu, Fındıklı, Rize Merkez, İyidere, Trabzon Merkez, Akçaabat, Salacık, Gülbahçe, Çarşıbaşı, Eynesil, Çavuşlu ve Fatsa’daki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin ise bu ortalama değerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 78. *Ceramium rubrum* örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri

### 3.4. Kimyasal Analiz Sonuçları

#### 3.4.1. Deniz Suyu Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile deniz suyu örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 21’de görülmektedir. Tablo 21’deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 21. İllere göre deniz suyu örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g.ml}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	4	Min.	-	<DL	0,04	0,014	0,014	-	<DL	<DL	0,008
		Maks.	-	<DL	0,12	0,015	0,018	-	<DL	<DL	0,009
		Ort.	0,008	<DL	0,07	0,014	0,016	0,010	<DL	<DL	0,008
Rize	5	Min.	-	<DL	0,03	0,011	0,015	-	<DL	<DL	0,008
		Maks.	-	<DL	0,41	0,028	0,052	-	0,043	<DL	0,014
		Ort.	0,008	<DL	0,14	0,017	0,026	0,010	0,011	<DL	0,010
Trabzon	10	Min.	-	<DL	0,029	0,011	0,014	-	<DL	<DL	0,009
		Maks.	-	<DL	0,218	0,016	0,032	-	<DL	0,007	0,012
		Ort.	0,008	<DL	0,081	0,013	0,018	0,010	<DL	0,0007	0,009
Giresun	7	Min.	-	<DL	<DL	0,009	0,010	-	<DL	<DL	0,008
		Maks.	-	<DL	0,133	0,017	0,065	-	0,017	0,007	0,012
		Ort.	0,008	<DL	0,061	0,013	0,022	0,010	0,002	0,001	0,009
Ordu	4	Min.	-	<DL	0,025	0,012	0,015	-	<DL	<DL	0,008
		Maks.	-	<DL	0,282	0,014	0,018	-	<DL	<DL	0,009
		Ort.	0,008	<DL	0,120	0,013	0,016	0,010	<DL	<DL	0,008
Samsun	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	0,008	<DL	0,037	0,016	0,027	0,014	<DL	<DL	0,031
Sinop	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	0,008	<DL	0,033	0,013	0,018	0,011	<DL	<DL	0,017
Tüm iller	32	Min.	-	<DL	<DL	0,009	0,010	0,010	<DL	<DL	0,008
		Maks.	-	<DL	0,41	0,028	0,065	0,014	0,043	0,007	0,031
		Ort.	0,008	<DL	0,08	0,014	0,020	0,010	0,002	0,0004	0,010

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 21’de tüm deniz suyu örneklerinde Cr’a rastlandığı, Mn değerlerinin ise ölçüm limitlerinin altında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca en düşük değerlerin Fe, Cu ve Zn için Giresun’da, Cd için Artvin, Rize, Trabzon, Giresun ve Ordu’da, Pb için Artvin, Rize,

Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun ve Sinop'ta, Co için Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun ve Sinop'ta, Ni için Artvin, Rize ve Giresun'da olduğu; en yüksek değerlerin Fe, Cu ve Pb için Rize'de, Zn için Giresun'da, Cd için Samsun'da Co için Trabzon ve Giresun'da, Ni için Samsun'da olduğu gözlenmiştir.

### 3.4.2. Sediment Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile sediment örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 22'de görülmektedir. Tablo 22'deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 22. İllere göre sediment örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	3	Min.	<DL	359,0	9720,0	17,5	71,1	0,1	5,8	6,8	6,8
		Maks.	16,7	567,1	16362	141,2	221,1	0,6	31,0	16,9	16,9
		Ort.	7,7	491,3	14107,2	92,0	125,3	0,4	20,1	10,6	10,6
Rize	4	Min.	3,8	194,0	5734,4	15,3	68,0	0,5	1,3	2,4	2,4
		Maks.	40,0	936,4	22433,6	59,3	165,6	3,4	16,3	28,2	39,1
		Ort.	20,5	552,6	12776,1	40,5	105,8	1,4	7,3	14,7	20,0
Trabzon	10	Min.	<DL	359,7	10821,2	27,9	47,1	0,1	12,0	7,8	10,0
		Maks.	115,7	638,8	25512,0	175,6	397,6	1,1	37,2	28,3	183,7
		Ort.	19,9	528,3	19046,8	81,3	117,2	0,8	22,5	16,0	68,4
Giresun	7	Min.	0,3	2,0	256,1	0,8	22,6	0,2	5,9	0,3	4,4
		Maks.	25,2	605,6	14286,0	73,6	82,9	0,8	31,8	19,9	84,0
		Ort.	9,4	318,9	10144,2	33,6	46,6	0,3	17,1	8,4	29,9
Ordu	4	Min.	1,4	119,3	4774,1	11,8	35,5	0,1	3,0	3,6	5,2
		Maks.	14,5	1253,2	20277,7	167,4	215,7	0,6	61,0	30,1	58,4
		Ort.	8,1	647,6	11146,6	66,7	116,4	0,3	28,8	14,6	31,9
Samsun	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	15,1	307,2	7336	9,3	154,4	0,4	5,9	3,1	8,5
Sinop	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	6,7	280,8	10897,2	44,1	38,2	0,7	15,0	6,3	27
Tüm iller	30	Min.	<DL	2,0	256,1	0,8	22,6	0,1	1,3	0,3	2,4
		Maks.	115,7	1253,2	25512,0	175,6	397,6	3,47	61,0	30,1	183,7
		Ort.	14,14	479,28	13924,10	60,21	98,51	0,65	18,98	12,59	38,93

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 22’de sediment örnekleri için en düşük değerlerin Cr için Artvin (Arhavi) ve Trabzon (Sürmene, Beşikdüzü)’da, Mn, Fe, Cu, Zn ve Co için Giresun (Pirazis)’da, Cd için Trabzon (Akçaabat, Çarşıbaşı, Vakfikebir)’da, Pb için Rize (Ardeşen)’de ve Ni için Rize Merkez’de olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr için Trabzon (Araklı)’da, Mn için Ordu Merkez’de, Fe için Trabzon (Beşikdüzü)’da, Cu için Trabzon (Akçaabat)’da, Zn için Trabzon (Araklı)’da, Cd için Rize (Ardeşen)’de, Pb ve Co için Ordu Merkez’de, Ni için Trabzon (Beşikdüzü)’da olduğu gözlenmiştir.

### **3.5. Makroalg Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları**

#### **3.5.1. *Cystoseira barbata* Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları**

ICP-OES cihazı ile *Cystoseira barbata* örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 23’de görülmektedir. Tablo 23’deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 23. İllere göre *Cystoseira barbata* örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	4	Min.	0,4	17,4	109,6	3,4	47,8	0,6	1,0	0,8	2,2
		Maks.	0,9	173,2	276,6	16,6	66,3	4,0	6,0	1,0	5,0
		Ort.	0,76	58,08	187,73	10,19	57,67	2,67	2,74	0,88	3,61
Rize	8	Min.	<DL	11,3	92,7	3,8	34,6	0,4	0,8	0,6	2,7
		Maks.	2,3	175,4	1069,7	31,1	123,1	8,4	17,5	1,9	8,6
		Ort.	1,03	70,48	450,33	13,72	58,28	3,99	4,85	1,02	4,71
Trabzon	20	Min.	<DL	14,0	193,1	3,2	31,2	<DL	1,0	0,4	2,2
		Maks.	9,4	224,2	3561,6	76,4	84,5	3,9	9,7	4,1	14,3
		Ort.	1,64	78,97	750,72	16,08	57,21	1,83	3,43	1,27	4,59
Giresun	6	Min.	<DL	6,7	66,2	2,5	26,1	<DL	2,1	0,4	1,6
		Maks.	2,7	358,0	2657,6	36,2	69,3	3,3	21,4	1,9	8,4
		Ort.	0,91	127,90	883,83	11,21	54,91	1,16	8,44	1,06	3,82
Ordu	2	Min.	<DL	11,7	127,4	-	31,2	0,2	3,0	0,8	2,3
		Maks.	<DL	35,0	140,3	-	42,7	1,1	5,7	0,9	2,5
		Ort.	0,00	23,38	133,90	3,83	36,95	0,68	4,35	0,85	2,43
Samsun	3	Min.	0,4	24,8	413,2	3,2	10,8	0,5	0,1	0,4	1,1
		Maks.	2,0	69,3	477,1	9,2	48,1	3,6	1,4	0,8	4,5
		Ort.	1,33	41,83	441,65	6,89	23,58	2,56	0,87	0,67	3,37
Sinop	4	Min.	0,5	16,8	158,8	3,0	45,7	0,7	1,4	0,4	3,7
		Maks.	2,6	117,1	1406,5	6,7	52,2	1,1	2,7	1,4	5,0
		Ort.	1,23	48,39	493,36	4,73	48,74	0,95	2,09	0,81	4,25
Tüm iller	47	Min.	<DL	6,7	66,2	2,5	10,8	<DL	0,1	0,4	1,1
		Maks.	9,4	358,0	3561,6	76,4	123,1	8,4	21,4	4,1	14,3
		Ort.	1,24	74,65	600,79	12,48	53,41	2,10	4,01	1,07	4,23

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 23’de *Cystoseira barbata* örnekleri için en düşük değerlerin Cr için Rize (Ardeşen), Trabzon (Yeniay, Arsin, Akyazı), Giresun (Eynesil) ve Ordu (Gülyalı, Fatsa)’da, Mn ve Fe için Giresun (Eynesil)’de ve Cu için Giresun (Görelle)’de, Zn için Samsun Merkez’de Cd için Trabzon (Akyazı) ve Giresun (Eynesil)’de, Pb, Co ve Ni için Samsun (Yakakent)’da olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr, Fe, Co ve Ni için Trabzon (Beşirli)’da, Mn ve Pb için Giresun (Tirebolu)’da, Cu için Trabzon (Sürmene)’da, Zn ve Cd için Rize (Çiftkavak)’de olduğu gözlenmiştir.

### 3.5.2. *Ulva lactuca* Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile *Ulva lactuca* örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 24’de görülmektedir. Tablo 24’deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 24. İllere göre *Ulva lactuca* örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	2	Min.	0,7	55,5	373,8	4,4	40,6	-	0,8	0,5	2,9
		Maks.	0,8	73,1	938,5	5,2	58,5	-	1,4	0,9	3,2
		Ort.	0,80	64,15	556,15	4,80	49,60	0,40	1,13	0,70	3,08
Rize	7	Min.	<DL	28,4	170,2	4,3	43,8	0,3	0,3	0,4	2,1
		Maks.	3,2	155,8	2635,5	13,4	60,8	0,6	2,8	1,1	4,8
		Ort.	0,89	77,32	743,17	7,05	52,55	0,43	1,42	0,64	2,99
Trabzon	14	Min.	<DL	10,6	114,2	1,8	30,7	<DL	0,6	0,2	1,0
		Maks.	2,5	259,0	1451,5	12,4	80,9	0,6	5,5	1,6	5,6
		Ort.	0,90	50,56	505,33	6,47	56,36	0,34	2,12	0,74	2,45
Giresun	5	Min.	<DL	8,1	100,8	4,3	48,0	0,2	1,1	0,2	1,7
		Maks.	0,9	64,8	1191,1	9,9	56,8	0,5	5,1	1,0	2,5
		Ort.	0,54	32,32	600,83	8,28	52,27	0,39	3,52	0,60	2,16
Ordu	2	Min.	<DL	17,8	202,6	6,9	34,3	<DL	2,2	0,8	2,3
		Maks.	0,5	49,3	328,2	15,8	45,0	0,3	5,2	1,0	2,2
		Ort.	0,28	33,55	265,43	11,35	39,68	0,18	3,73	0,93	2,28
Sinop	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	1,9	29,4	511	7,7	52,0	0,7	2,1	0,6	4,9
Tüm iller	31	Min.	<DL	8,1	100,8	1,8	30,7	<DL	0,3	0,2	1,0
		Maks.	3,2	259,0	2635,5	15,8	80,9	0,6	5,5	1,6	5,6
		Ort.	0,83	52,76	562,42	7,14	53,19	0,37	2,23	0,70	2,63

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 24’de *Ulva lactuca* örnekleri için en düşük değerlerin Cr için Rize (Çiftekavak), Trabzon (Araklı), Giresun Merkez ve Ordu (Gülyalı)’da, Mn ve Fe için Giresun (Görelle)’de ve Cu için Trabzon (Salacık)’da, Zn için Trabzon (Sürmene)’da, Cd için Trabzon (Sürmene, Araklı, Yomra) ve Ordu (Gülyalı)’da, Pb için Rize (Çiftekavak)’ta, Co ve Ni için Trabzon Merkez’de olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr ve Fe için Rize

(İyidere)'de, Mn ve Zn için Trabzon (Of)'da, Cu için Ordu Merkez'de, Cd için Sinop (Türkeli)'da, Pb, Co ve Ni için Trabzon (Gülbahçe)'da olduğu gözlenmiştir.

### 3.5.3. *Enteromorpha intestinalis* Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile *Enteromorpha intestinalis* örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 25'de görülmektedir. Tablo 25'deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 25. İllere göre *Enteromorpha intestinalis* örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	3	Min.	0,6	35,3	329,8	6,3	45,7	0,4	0,5	0,5	2,5
		Maks.	2,0	176,2	1877,0	14,2	76,6	0,8	3,2	1,3	3,4
		Ort.	1,2	115,6	1094,1	11,1	56,8	0,5	2,2	0,9	2,9
Rize	5	Min.	<DL	11,3	150,5	2,7	49,9	0,2	0,5	0,3	1,5
		Maks.	1,1	98,1	1380,0	8,7	66,3	0,7	1,7	0,9	3,0
		Ort.	0,6	50,9	646,4	6,1	60,3	0,5	1,0	0,6	2,3
Trabzon	8	Min.	0,3	7,15	299,2	3,0	48,5	0,1	0,8	0,3	1,4
		Maks.	2,7	77,15	1749,0	13,4	58,9	1,1	2,9	1,9	6,7
		Ort.	1,2	27,1	675,8	6,7	53,9	0,4	1,7	0,8	3,2
Giresun	6	Min.	0,6	18,7	515,0	4,3	46,8	0,3	1,1	0,2	1,1
		Maks.	1,2	88,6	1678,0	23,4	70,1	0,5	11,5	1,2	3,5
		Ort.	1,1	56,8	1068,8	12,8	56,5	0,4	4,4	0,7	2,6
Ordu	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	0,4	60,5	480,5	5,2	44,7	0,4	0,8	0,4	1,4
Samsun	2	Min.	0,7	29,1	366,5	6,3	37,2	-	2,6	1,0	1,6
		Maks.	0,8	34,4	513,5	15,4	66,4	-	9,5	1,1	2,3
		Ort.	0,8	31,8	440,0	10,9	51,9	0,1	6,1	1,1	2,0
Tüm iller	25	Min.	<DL	7,1	150,5	2,7	37,2	0,1	0,5	0,2	1,1
		Maks.	2,7	176,2	1877,0	23,4	76,6	1,1	11,5	1,9	6,7
		Ort.	0,98	51,31	787,78	8,84	55,63	0,42	2,59	0,74	2,66

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 25'de *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en düşük değerlerin Cr ve Fe için Rize (Çiftkavak)'de, Mn için Trabzon (Araklı)'da, Cu için Rize (Fındıklı)'de, Zn için Samsun (Atakent)'da, Cd için Trabzon (Gülbahçe)'da, Pb için Artvin (Kemalpaşa)'da, Co



ve Ni için Giresun (Yalıköy)'de olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr, Co ve Ni için Trabzon (Salacık)'da, Mn için Artvin (Sarp)'de, Fe ve Zn için Artvin (Arhavi)'de, Cu için Giresun (Espiyeye)'da, Cd için Trabzon (Akyazı)'da ve Pb için Giresun (Tirebolu)'de olduğu gözlenmiştir.

### 3.5.4. *Enteromorpha linza* Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile *Enteromorpha linza* örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 26'da görülmektedir. Tablo 26'daki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 26. İllere göre *Enteromorpha linza* örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Rize	2	Min.	0,6	10,0	479,0	4,2	48,0	0,5	1,0	0,3	1,2
		Maks.	0,7	26,2	8655	7,2	50,5	0,7	2,7	0,4	2,0
		Ort.	0,7	18,1	672,3	5,7	49,3	0,7	1,9	0,4	1,6
Trabzon	6	Min.	<DL	12,1	132,0	2,9	23,7	<DL	0,7	0,4	1,7
		Maks.	1,7	48,6	685,5	7,7	48,2	0,6	2,4	1,0	3,6
		Ort.	0,8	25,9	432,1	5,6	39,0	0,3	1,8	0,8	2,4
Giresun	5	Min.	<DL	39,8	235,9	5,2	40,6	<DL	2,5	0,5	1,7
		Maks.	2,8	96,4	764,5	11,5	65,4	0,9	6,8	1,0	4,2
		Ort.	1,0	59,9	536,1	8,7	49,4	0,4	4,5	0,9	2,6
Ordu	5	Min.	<DL	28,9	223,9	6,5	39,8	<DL	1,9	0,9	2,3
		Maks.	1,3	152,9	1649,5	9,6	57,4	0,5	5,6	1,4	2,9
		Ort.	0,4	74,8	594,8	7,9	45,6	0,3	3,7	1,1	2,6
Samsun	3	Min.	<DL	32,0	151,1	0,7	27,1	0,3	3,0	0,2	1,8
		Maks.	3,6	96,6	1301,0	13,7	48,3	0,6	6,4	1,9	7,8
		Ort.	1,2	57,2	590,0	7,8	37,1	0,5	4,2	1,1	4,1
Sinop	2	Min.	0,7	12,4	177,3	2,9	-	-	1,6	0,4	2,5
		Maks.	3,8	63,1	1358,0	3,2	-	-	2,2	0,9	4,9
		Ort.	2,3	37,8	767,7	3,1	47,8	0,5	1,9	0,7	3,7
Tüm iller	23	Min.	<DL	10,0	132,0	0,7	23,7	<DL	0,7	0,2	1,2
		Maks.	3,8	152,9	1649,5	13,7	65,4	0,9	6,8	1,9	7,8
		Ort.	0,9	48,4	560,7	6,8	44,1	0,4	3,1	0,9	2,7

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 26’da *Enteromorpha linza* örnekleri için en düşük değerlerin Cr için Trabzon (Sürmene, Araklı ve Arsin), Giresun (Bulancak), Ordu (Gülyalı, Merkez, Ünye), Samsun (Merkez, Yakakent)’da, Mn için Rize Merkez’de, Fe için Trabzon (Arsin)’da, Cu için Samsun Merkez’de, Zn için Trabzon (Sürmene)’da, Cd için Trabzon (Sürmene, Araklı, Arsin), Giresun (Bulancak) ve Ordu Merkez’de, Pb için Trabzon (Mersin)’da, Co için Samsun (Merkez)’da Ni için Samsun (İyidere’de olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr için Sinop (Ayancık)’da, Mn ve Fe için Ordu (Perşembe)’da, Cu, Co ve Ni için Samsun (Atakent)’da, Zn ve Pb için Giresun (Keşap)’da, Cd için Giresun (Merkez)’da olduğu gözlenmiştir.

### 3.5.5. *Ceranium rubrum* Örneklerinde Kimyasal Analiz Sonuçları

ICP-OES cihazı ile *Ceranium rubrum* örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 27’de görülmektedir. Tablo 27’deki değerler göz önüne alındığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Tablo 27. İllere göre *Ceranium rubrum* örneklerindeki kimyasal analiz sonuçlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )

İller	Numune Sayısı		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	1	Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Maks.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ort.	1,3	726,5	1228,5	10,8	55,9	0,7	1,9	2,3	5,7
Rize	7	Min.	<DL	49,5	33,1	0,1	3,5	0,2	0,7	0,6	0,8
		Maks.	8,1	767,0	8620,0	34,3	81,1	1,2	0,3	9,2	7,1
		Ort.	2,0	308,9	1826,6	11,7	60,4	0,5	2,9	2,6	4,1
Trabzon	6	Min.	1,5	50,2	611,5	4,9	46,3	0,1	2,0	0,6	2,5
		Maks.	2,8	170,9	1665,0	13,4	76,9	0,7	5,5	1,7	5,2
		Ort.	2,2	88,3	1208,0	9,3	57,1	0,5	3,1	1,1	3,7
Giresun	2	Min.	2,8	208,8	2106,5	16,1	67,1	-	7,1	1,5	4,8
		Maks.	5,9	226,0	3171,0	19,4	68,9	-	8,8	2,9	10,7
		Ort.	4,4	217,4	2638,8	17,8	68,0	0,7	8,0	2,2	7,8
Ordu	2	Min.	0,7	86,9	762,5	8,8	31,2	1,0	1,9	0,8	2,1
		Maks.	0,8	147,8	972,0	8,9	53,7	1,2	3,2	1,9	3,0
		Ort.	0,8	117,4	867,3	8,9	42,5	1,2	2,6	1,4	2,6
Tüm iller	18	Min.	<DL	49,5	33,1	0,1	3,5	0,1	0,7	0,6	0,8
		Maks.	8,1	767,0	8620,0	34,3	81,1	1,2	8,8	9,2	10,7
		Ort.	2,2	227,1	1570,8	11,2	57,9	0,6	3,4	1,9	4,3

DL: Dedeksiyon limiti

Tablo 27’de *Ceranium rubrum* örnekleri için en düşük değerlerin Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Co ve Ni için Rize (Çayeli)’de, Cd için Trabzon (Salacık)’da, Pb için Rize (Pazar)’de olduğu; en yüksek değerlerin ise Cr, Fe, Cu ve Co için Rize (Merkez)’de, Zn için Rize (Çiftekavak)’de, Cd için Rize (Pazar)’de, Pb için Giresun (Çavuşlu)’da ve Ni için Giresun (Eynesil)’da olduğu gözlenmiştir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'ndeki yedi ilden (Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun ve Sinop) 32 adet deniz suyu, 30 adet sediment ve 144 adet makroalg örneği toplanarak radyoaktiflik tayinleri ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın 3. bölümünde elde ettiğimiz verilerin kendi aralarında kıyaslamalarına değinilmiştir. Bu bölümde ise elimizdeki verilerin çeşitli kaynaklarla karşılaştırılması ve yorumlaması yapılmıştır.

Karadeniz kıyısındaki deniz suyu örneklerinde yapılan gama spektroskopisi analizleri bu örneklerde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif çekirdekler bulunduğunu ancak  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesine ise rastlanmadığını göstermiştir. Deniz duyu örneklerinde gama spektroskopisi analizleri sonucunda elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri ve bu değerlerin bazı kaynaklarla kıyaslanması Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28. Deniz suyu örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması

Çalışma Alanı	$^{226}\text{Ra}$ Bq/l	$^{238}\text{U}$ Bq/l	$^{232}\text{Th}$ Bq/l	$^{137}\text{Cs}$ Bq/l	$^{40}\text{K}$ Bq/l	Referanslar
Okyanuslarda	0,0037	0,037	0,0002			[97]
Romanya	-	-	-	0,041	-	[14]
Hırvatistan	0,03	0,49	-	0,003	10,5	[98]
Brezilya, 2002	-	-	-	0,004	-	[15]
Cezayir	-	-	-	0,002	-	[99]
Akdeniz	-	-	-	0,002	-	[100]
Akdeniz	-	-	-	0,002	-	[101]
Ege	-	-	-	0,001	-	[17]
Japonya	-	-	-	0,002	-	[102]
Hong Kong	-	-	-	<DL	0,011	[103]
İngiltere	-	-	-	<0,004	-	[104]
Norveç	-	-	-	0,002	-	[105]
Bengal	0,029	-	-	-	-	[106]
Karadeniz	<DL	0,025	0,027	0,012	2,9	Bu çalışma

Bu çalışmada deniz suyu örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri  $<\text{DL}-0,025$  Bq/l aralığında bulunmuştur.  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin en yüksek Fatsa'da olduğu gözlenmiştir. Deniz suyu örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Hırvatistan'daki araştırma verilerinin altında olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada deniz suyu örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri  $<\text{DL}-0,027$  Bq/l aralığında bulunmuştur.  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin en yüksek Ünye'de olduğu gözlenmiştir. Deniz suyu örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin dünya okyanuslarındaki araştırma verilerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada deniz suyu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri  $<\text{DL}-0,012$  Bq/l aralığında bulunmuştur.  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en yüksek Gülyalı'da olduğu gözlenmiştir. Deniz suyu örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Romanya'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Hırvatistan, Brezilya, Cezayir, Japonya, Hong Kong, Norveç'deki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada deniz suyu örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri 1,61-2,9 Bq/l aralığında bulunmuştur.  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Ardeşen'de olduğu gözlenmiştir. Deniz suyu örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Hırvatistan'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Hong Kong'daki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Karadeniz kıyısındaki sediment örneklerinde yapılan gama spektroskopisi analizleri bu örneklerde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif çekirdekler bulunduğunu göstermiştir. Sediment örneklerinde gama spektroskopisi analizleri sonucunda elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri ve bu değerlerin bazı kaynaklarla kıyaslanması Tablo 29'da verilmiştir.

Bu çalışmada sediment örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri  $<\text{DL}-35,6$  Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin en yüksek Pirazis'de olduğu gözlenmiştir. Sediment örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Yunanistan, Hırvatistan ve Mısır'daki araştırma verilerinin üzerinde olduğu, Bulgaristan ve İspanya'daki araştırma verilerinin ise altında olduğu görülmektedir.

Tablo 29. Sediment örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması

Çalışma Alanı	$^{226}\text{Ra}$ Bq/kg	$^{238}\text{U}$ Bq/kg	$^{232}\text{Th}$ Bq/kg	$^{137}\text{Cs}$ Bq/kg	$^{40}\text{K}$ Bq/kg	Referanslar
Bulgaristan	52	61	71	36,4	850	[107]
Yunanistan	22,6	-	24,5	-	497	[108]
Romanya	-	80	50	128	-	[14]
Hırvatistan	35	120	-	7,3	593	[98]
İspanya	2939	-	63	-	-	[109]
Mısır	24,6	-	31,4	-	427,5	[110]
Suudi Arabistan	-	-	-	5,6	-	[111]
İran	-	75	33	40	520	[112]
Brezilya	-	-	-	3,8	-	[15]
Norveç	-	-	-	7,7	-	[105]
Japonya	-	-	-	6,4	-	[113]
Marmara	-	19,3	18,1	27,5	539	[114]
Karadeniz	-	44	<7	85	460	[18]
Marmara	-	20,5	25,2	35,7	403	
Ege	-	16,1	5,8	7,0	198	
Akdeniz	-	12,3	19,8	7,7	438	
Karadeniz	35,6	44,1	32,35	29,09	946,0	Bu çalışma

Bu çalışmada sediment örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri 4,7-44,1 Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin en yüksek Pirazis'de olduğu gözlenmiştir. Sediment örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Bulgaristan, Romanya, Hırvatistan ve İran'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Marmara, Ege ve Akdeniz'deki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada sediment örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri 3,25-32,35 Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin en yüksek Rize Merkez'de olduğu gözlenmiştir. Sediment örneklerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Bulgaristan, Romanya ve İspanya'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Yunanistan, Mısır, İran, Marmara ve Ege'deki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri 2,09-29,09 Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en yüksek Pazar'da olduğu gözlenmiştir.

Sediment örneklerindeki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Bulgaristan, Romanya ve İran'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Hırvatistan, Arabistan, Brezilya, Fas, Japonya, Akdeniz ve Ege'deki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada sediment örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri 59,2-946,0 Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Rize Merkez'de olduğu gözlenmiştir. Sediment örneklerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Bulgaristan, Yunanistan, Hırvatistan, Mısır, İran, Marmara, Akdeniz ve Ege'deki araştırma verilerinden yüksek olduğu görülmektedir.

Karadeniz kıyısındaki makroalg örneklerinde yapılan gama spektroskopisi analizleri bu örneklerde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif çekirdekler bulunduğunu göstermiştir. Makroalg örneklerinde gama spektroskopisi analizleri sonucunda elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri ve bu değerlerin bazı kaynaklarla kıyaslanması Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. Makroalg örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin çeşitli kaynaklarla kıyaslanması

Çalışma Alanı	$^{226}\text{Ra}$ Bq/kg	$^{238}\text{U}$ Bq/kg	$^{232}\text{Th}$ Bq/kg	$^{137}\text{Cs}$ Bq/kg	$^{40}\text{K}$ Bq/kg	Referanslar
Bulgaristan	11,7	-	-	6,2	1520	[115]
Yunanistan	-	-	-	21,0	-	[22]
Romanya	11,8	3,6	1,4	8,9	-	[21]
Suriye	<1,5	-	-	<0,7	1120	[19]
Fas	22,2	3,4	-	-	1220	[116]
Endonezya	14,6	3,8	5,0	-	18,9	[117]
Marmara	-	-	-	8,3	570	[118]
Karadeniz	-	11,3	6,1	2,4	435,7	[18]
Akdeniz	-	10,2	3,7	0,5	23,3	
Karadeniz	111,7	43,3	39,2	4,9	2003	Bu çalışma

Bu çalışmada makroalg örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite değerleri <DL-111,8 Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin en yüksek Fındıklı'daki *Enteromorpha intestinalis* örneğinde olduğu gözlenmiştir.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin Bulgaristan, Romanya, Suriye, Fas ve Endonezya'daki araştırma verilerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada makroalg örneklerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite değerleri  $<DL-43,3$  Bq/kg aralığında bulunmuştur.  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin en yüksek Fındıklı'daki *Enteromorpha intestinalis* örneğinde olduğu gözlenmiştir.  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{238}\text{U}$  aktivitesinin Romanya, Fas, Endonezya ve Akdeniz'deki araştırma verilerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada makroalg örneklerinde  $^{232}\text{Th}$  aktivite değerleri  $<DL-39,2$  Bq/kg aralığında bulunmuştur  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin en yüksek Trabzon Merkez'deki *Ulva lactuca* örneğinde olduğu gözlenmiştir.  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin Romanya, Endonezya, Akdeniz ve Karadeniz'de daha önce yapılan araştırma verilerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada makroalg örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerleri  $<DL-4,97$  Bq/kg aralığında bulunmuştur  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin en yüksek Gerze'deki *Cystoseira barbata* örneğinde olduğu gözlenmiştir.  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin Bulgaristan, Yunanistan, Romanya ve Marmara'daki araştırma verilerinin altında olduğu, Suriye ve Akdeniz'deki araştırma verilerinin ise üzerinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada makroalg örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite değerleri  $28,2-2003$  Bq/kg aralığında bulunmuştur  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin en yüksek Of'daki *Cystoseira barbata* örneğinde olduğu gözlenmiştir.  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin diğer kaynaklarla karşılaştırılması yapıldığında bu çalışmadaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin Bulgaristan, Suriye, Fas ve Endonezya'daki araştırma verilerinin üzerine olduğu görülmektedir.

Deniz suyu, sediment ve makroalg örnekleri için Radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), Soğurulan gama doz hızı (D), dış tehlike indeksi ( $H_{dış}$ ) ve Yıllık etkiz doz değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca makrolag tüketiminin dünya genelinde en yüksek Japonya'da  $1,60$  kg/yıl kabul edilerek gıda yoluyla yıllık tüketim doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

Deniz suyu örneklerindeki radium eşdeğer aktivitesi en yüksek Sarp'da ( $0,23$  Bq/kg), en düşük Sinop'da ( $0,12$  Bq/kg) gözlenmiştir. Radium eşdeğer aktivitesinin ortalama değeri ise  $0,19$  Bq/kg olarak elde edilmiştir.

Deniz suyu örneklerindeki soğurulan gama doz hızı en yüksek Sarp'da ( $0,12$  nGy/h), en düşük Sinop'da ( $0,06$  nGy/h) gözlenmiştir. Soğurulan gama doz hızının ortalama değeri ise  $0,10$  nGy/h olarak elde edilmiştir.



Deniz suyu örneklerindeki yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek Sarp'ta (0,15  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Sinop'ta (0,08  $\mu\text{Sv/y}$ ) gözlenmiştir. Yıllık etkin doz değerinin ortalama değeri ise 0,12  $\mu\text{Sv/y}$  olarak elde edilmiştir.

Deniz suyu örneklerindeki dış tehlike indeksi en yüksek Sarp'da (0,0006), en düşük Sinop'da (0,0003) gözlenmiştir. Dış tehlike indeksinin ortalama değeri ise 0,0005 olarak elde edilmiştir.

Sediment örnekleri için radium eşdeğer aktivitesi en yüksek Pirazis'de (150,87 Bq/kg), en düşük Sinop'da (13,92 Bq/kg) gözlenmiştir. Radium eşdeğer aktivitesinin ortalama değeri ise 69,70 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

Sediment örnekleri için soğurulan gama doz hızı en yüksek Pirazis'de (73,88 nGy/h), en düşük Sinop'da (6,61 nGy/h) gözlenmiştir. Soğurulan gama doz hızının ortalama değeri ise 34,37 nGy/h olarak elde edilmiştir.

Sediment örnekleri için yıllık etkin doz eşdeğeri en yüksek Pirazis'de (90,60  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Sinop'da (8,17  $\mu\text{Sv/y}$ ) gözlenmiştir. Yıllık etkin doz değerinin ortalama değeri ise 42,15  $\mu\text{Sv/y}$  olarak elde edilmiştir.

Sediment örnekleri için dış tehlike indeksi en yüksek Pirazis'de (0,41), en düşük Sinop'da (0,04) gözlenmiştir. Dış tehlike indeksinin ortalama değeri ise 0,19 olarak elde edilmiştir.

Makroalg örneklerindeki Radium eşdeğer aktivitesi *Cystoseira barbata* örnekleri için en yüksek Of'da (172,40 Bq/kg) en düşük Beşirli'de (12,35 Bq/kg), ve ortalama 68,34 Bq/kg, *Ulva lactuca* örnekleri için en yüksek Giresun Merkez'de (97,76 Bq/kg), en düşük Çayeli'de (2,17 Bq/kg) ve ortalama 33,34 Bq/kg, *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en yüksek Fındıklı'da (147,93 Bq/kg), en düşük Pazar'da (9,91 Bq/kg) ve ortalama 46,74 Bq/kg, *Enteromorpha linza* örnekleri için en yüksek Rize Merkez'de (80,50 Bq/kg), en düşük Sürmene'de (10,50 Bq/kg) ve ortalama 34,64 Bq/kg, *Ceramium rubrum* örnekleri için en yüksek Çayeli'de (111,23 Bq/kg), en düşük Perşembe'de (8,04 Bq/kg) ve ortalama 57,40 Bq/kg olarak bulunmuştur.

Makroalg örneklerindeki soğurulan gama doz hızı *Cystoseira barbata* örnekleri için en yüksek Of'da (91,68 nGy/h), en düşük Beşirli'de (6,25 nGy/h) ve ortalama 35,47 nGy/h, *Ulva lactuca* örnekleri için en yüksek Giresun Merkez'de (48,31 nGy/h), en düşük Çayeli'de (1,18 nGy/h) ve ortalama 16,21 nGy/h, *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en yüksek Fındıklı'da (70,98 nGy/h), en düşük Pazar'da (4,77 nGy/h) ve ortalama 22,63 nGy/h, *Enteromorpha linza* örnekleri için en yüksek Rize Merkez'de (49,07 nGy/h), en

düşük Sürmene’de (5,98 nGy/h) ve ortalama 16,91 nGy/h, *Ceramium rubrum* örnekleri için en yüksek Çayeli’de (56,26 nGy/h), en düşük Perşembe’de (3,90 nGy/h) ve ortalama 27,75 nGy/h olarak bulunmuştur.

Makroalg örneklerindeki yıllık etkin doz eşdeğeri *Cystoseira barbata* örnekleri için en yüksek Of’da (112,44  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Beşirli’de (7,67  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 43,50  $\mu\text{Sv/y}$ , *Ulva lactuca* örnekleri için en yüksek Giresun Merkez’de (59,24  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Çayeli’de (1,44  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 19,88  $\mu\text{Sv/y}$ , *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en yüksek Fındıklı’da (87,04  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Pazar’da (5,85  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 27,75  $\mu\text{Sv/y}$ , *Enteromorpha linza* örnekleri için en yüksek Rize Merkez’de (49,07  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Sürmene’de (5,98  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 20,74  $\mu\text{Sv/y}$ , *Ceramium rubrum* örnekleri için en yüksek Çayeli’de (69,00  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Perşembe’de (4,78  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 34,03  $\mu\text{Sv/y}$  olarak bulunmuştur.

Makroalg örneklerindeki dış tehlike indeksi *Cystoseira barbata* örnekleri için en yüksek Of’da (0,47), en düşük Beşirli’de (0,03) ve ortalama 0,18, *Ulva lactuca* örnekleri için en yüksek Giresun Merkez’de (0,26), en düşük Çayeli’de (0,01) ve ortalama 0,09, *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en yüksek Fındıklı’da (0,40), en düşük Keşap’da (0,03) ve ortalama 0,13, *Enteromorpha linza* örnekleri için en yüksek Rize Merkez’de (0,22), en düşük Ordu Merkez ve Sürmene’de (0,03) ve ortalama 0,09, *Ceramium rubrum* örnekleri için en yüksek Çayeli’de (0,30), en düşük Perşembe’de (0,02) ve ortalama 0,16 olarak bulunmuştur.

Makroalg örneklerindeki gıda yoluyla yıllık tüketim doz eşdeğeri *Cystoseira barbata* örnekleri için en yüksek Yakakent’de (21,37  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Keşap’da (0,89  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 8,86  $\mu\text{Sv/y}$ , *Ulva lactuca* örnekleri için en yüksek Fındıklı’da (28,88  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Çayeli’de (0,28  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 4,95  $\mu\text{Sv/y}$ , *Enteromorpha intestinalis* örnekleri için en yüksek Fındıklı’da (61,00  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Yalıköy’de (0,77  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 8,71  $\mu\text{Sv/y}$ , *Enteromorpha linza* örnekleri için en yüksek İyidere’de (16,47  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Sürmene’de (0,45  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 5,02  $\mu\text{Sv/y}$ , *Ceramium rubrum* örnekleri için en yüksek Eynesil’de (31,69  $\mu\text{Sv/y}$ ), en düşük Perşembe’de (0,30  $\mu\text{Sv/y}$ ) ve ortalama 13,51  $\mu\text{Sv/y}$  olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun ve Sinop istasyonlarının herbiri için deniz suyu, sediment ve makroalg örnekleri arasında  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyoaktivitesi ve Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co ve Ni içeriği bakımından fark olup olmadığı araştırıldı. Bunun için öncelikle One Sample Kolmogorov Smirnov testi ile

verilerin normal dağılıp dağılmadığına bakıldı. Normal dağılıma uyan verilere ( $p>0,05$ ) One Way Anova testi, normal dağılıma uymayan verilere ( $p<0,05$ ) ise Kruskal Wallis testi uygulandı. Elde edilen istatistiki sonuçlar gama analizi değerleri için Tablo 31’de, kimyasal analiz değerleri için Tablo 32’de verildi.

Tablo 31. Gama analizleri için istatistikler

İstasyonlar	Örnekler	<sup>226</sup> Ra	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
Artvin	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>	2,250 <sup>a</sup>
	sediment	9,066 <sup>b</sup>	12,01 <sup>b</sup>	8,336 <sup>a</sup>	12,056 <sup>b</sup>	343,623 <sup>a</sup>
	makroalg	7,407 <sup>c</sup>	6,916 <sup>a,b</sup>	12,199 <sup>a</sup>	2,528 <sup>c</sup>	609,042 <sup>a</sup>
Rize	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,003 <sup>a</sup>	2,340 <sup>a</sup>
	sediment	5,547 <sup>a</sup>	10,137 <sup>a</sup>	12,284 <sup>a</sup>	16,270 <sup>b</sup>	490,975 <sup>a</sup>
	makroalg	13,622 <sup>a</sup>	13,025 <sup>a</sup>	13,480 <sup>a</sup>	2,063 <sup>c</sup>	533,242 <sup>a</sup>
Trabzon	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,003 <sup>a</sup>	2,260 <sup>a</sup>
	sediment	11,940 <sup>b</sup>	13,760 <sup>b</sup>	12,325 <sup>b</sup>	6,149 <sup>b</sup>	367,640 <sup>b</sup>
	makroalg	5,871 <sup>c</sup>	8,424 <sup>c</sup>	9,66 <sup>c</sup>	1,820 <sup>c</sup>	298,660 <sup>c</sup>
Giresun	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>	2,100 <sup>a</sup>
	sediment	12,335 <sup>b</sup>	24,505 <sup>b</sup>	16,817 <sup>b</sup>	8,705 <sup>b</sup>	545,710 <sup>b</sup>
	makroalg	5,162 <sup>c</sup>	7,091 <sup>a</sup>	7,150 <sup>c</sup>	2,180 <sup>c</sup>	230,770 <sup>c</sup>
Ordu	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,015 <sup>a</sup>	0,006 <sup>a</sup>	2,292 <sup>a</sup>
	sediment	12,942 <sup>a</sup>	22,285 <sup>b</sup>	18,042 <sup>b</sup>	12,630 <sup>b</sup>	627,230 <sup>b</sup>
	makroalg	5,275 <sup>a</sup>	6,799 <sup>c</sup>	5,075 <sup>a</sup>	1,446 <sup>c</sup>	286,884 <sup>a</sup>
Samsun	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,005 <sup>a</sup>	2,208 <sup>a</sup>
	sediment	9,300 <sup>a</sup>	9,800 <sup>a</sup>	6,600 <sup>a</sup>	2,800 <sup>a</sup>	131,000 <sup>b</sup>
	makroalg	3,463 <sup>a</sup>	11,438 <sup>a</sup>	5,505 <sup>a</sup>	1,632 <sup>a</sup>	478,515 <sup>c</sup>
Sinop	deniz suyu	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,006 <sup>a</sup>	1,600 <sup>a</sup>
	sediment	0,000 <sup>a</sup>	4,700 <sup>a</sup>	3,300 <sup>a</sup>	4,100 <sup>a</sup>	59,300 <sup>a</sup>
	makroalg	2,097 <sup>a</sup>	8,587 <sup>a</sup>	5,810 <sup>a</sup>	2,564 <sup>a</sup>	466,700 <sup>b</sup>

Tablo 32. Kimyasal analizler için istatistikler

İstasyonlar	Örnekler	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Artvin	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,076 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>
	sediment	7,700 <sup>b</sup>	491,306 <sup>b</sup>	14107,200 <sup>b</sup>	91,980 <sup>b</sup>	125,320 <sup>b</sup>	0,406 <sup>b</sup>	20,060 <sup>b</sup>	10,646 <sup>b</sup>	10,646 <sup>b</sup>
	makroalg	0,967 <sup>c</sup>	143,402 <sup>a</sup>	637,400 <sup>c</sup>	9,451 <sup>c</sup>	55,616 <sup>a</sup>	1,391 <sup>c</sup>	2,192 <sup>c</sup>	1,000 <sup>c</sup>	3,517 <sup>a</sup>
Rize	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,148 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>	0,026 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,011 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,012 <sup>a</sup>
	sediment	20,457 <sup>b</sup>	552,612 <sup>b</sup>	12776,080 <sup>b</sup>	40,462 <sup>b</sup>	57,137 <sup>b</sup>	1,367 <sup>b</sup>	7,285 <sup>b</sup>	14,702 <sup>b</sup>	20,012 <sup>b</sup>
	makroalg	1,131 <sup>c</sup>	122,694 <sup>c</sup>	902,320 <sup>c</sup>	9,740 <sup>c</sup>	105,750 <sup>c</sup>	1,460 <sup>c</sup>	2,682 <sup>c</sup>	1,188 <sup>c</sup>	3,504 <sup>b</sup>
Trabzon	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,009 <sup>a</sup>
	sediment	19,886 <sup>b</sup>	528,299 <sup>b</sup>	19046,820 <sup>b</sup>	81,326 <sup>b</sup>	117,210 <sup>b</sup>	0,818 <sup>b</sup>	22,454 <sup>b</sup>	16,015 <sup>b</sup>	68,370 <sup>b</sup>
	makroalg	1,343 <sup>c</sup>	59,050 <sup>c</sup>	691,407 <sup>c</sup>	10,280 <sup>c</sup>	54,460 <sup>c</sup>	0,905 <sup>c</sup>	2,616 <sup>c</sup>	0,984 <sup>c</sup>	3,470 <sup>c</sup>
Giresun	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,009 <sup>a</sup>
	sediment	9,144 <sup>b</sup>	318,92 <sup>b</sup>	10144,220 <sup>b</sup>	33,605 <sup>b</sup>	46,571 <sup>b</sup>	0,332 <sup>b</sup>	17,050 <sup>b</sup>	8,418 <sup>b</sup>	29,870 <sup>b</sup>
	makroalg	1,180 <sup>c</sup>	85,509 <sup>c</sup>	944,910 <sup>c</sup>	11,027 <sup>c</sup>	54,708 <sup>b</sup>	0,611 <sup>c</sup>	5,546 <sup>c</sup>	0,928 <sup>c</sup>	3,253 <sup>c</sup>
Ordu	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,120 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>
	sediment	8,140 <sup>b</sup>	647,607 <sup>b</sup>	11146,56 <sup>b</sup>	66,677 <sup>b</sup>	116,357 <sup>b</sup>	0,272 <sup>a</sup>	28,705 <sup>b</sup>	14,612 <sup>b</sup>	31,885 <sup>b</sup>
	makroalg	0,370 <sup>c</sup>	65,233 <sup>c</sup>	498,987 <sup>c</sup>	7,750 <sup>c</sup>	42,600 <sup>a</sup>	0,491 <sup>a</sup>	3,375 <sup>c</sup>	1,008 <sup>a</sup>	2,412 <sup>c</sup>
Samsun	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,037 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,031 <sup>a</sup>
	sediment	15,180 <sup>b</sup>	307,270 <sup>b</sup>	7336,000 <sup>b</sup>	9,350 <sup>b</sup>	154,450 <sup>b</sup>	0,450 <sup>a</sup>	5,990 <sup>a</sup>	3,190 <sup>b</sup>	8,570 <sup>b</sup>
	makroalg	1,135 <sup>a</sup>	45,061 <sup>a</sup>	496,855 <sup>c</sup>	8,215 <sup>c</sup>	35,706 <sup>a</sup>	1,146 <sup>a</sup>	3,415 <sup>a</sup>	0,926 <sup>a</sup>	3,296 <sup>a</sup>
Sinop	deniz suyu	0,008 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,033 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,000 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
	sediment	6,700 <sup>b</sup>	280,850 <sup>b</sup>	10897,200 <sup>b</sup>	44,010 <sup>b</sup>	38,290 <sup>b</sup>	0,700 <sup>b</sup>	15,070 <sup>b</sup>	6,320 <sup>b</sup>	27,000 <sup>b</sup>
	makroalg	1,628 <sup>a</sup>	42,642 <sup>a</sup>	574,250 <sup>a</sup>	4,685 <sup>c</sup>	49,935 <sup>c</sup>	0,785 <sup>b</sup>	2,050 <sup>c</sup>	0,742 <sup>a</sup>	4,192 <sup>c</sup>

## 5. ÖNERİLER

Radyasyonun insan ve diğler canlılar üzerindeki zararlı etkileri tartışma götürmez bir gerçektir. Bu nedenle bu çalışma iki-üç yılda bir aynı noktalardan örnekler alınarak tekrarlanmalı, varsa değışimler gözlenmelidir. Ayrıca bu çalışma her mevsim tekrarlanmalı mevsimler arasında farklılık olup olmadığı araştırılmalıdır. Deniz suyu, sediment ve makroalg örnekleri ile yapılan bu çalışma ülke genelindeki tüm kıyı bölgelerinde yapılmalı ülkemiz kıyı sahilleri için risk haritası oluşturulmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. [www.cevgor.com/belgeler/barselona-sozlesmesi.pdf](http://www.cevgor.com/belgeler/barselona-sozlesmesi.pdf) Uluslararası Sözleşmelere ve Süreçlere İlişkin Bilgi Notu 15 Ocak 2012
2. Water Quality Criteria, Natural Academy of Sciences, Washington, 1972.
3. Oğuz, Z., Evcı, E.D. ve Özdemir, M., Deniz ve Kıyı Kirliliği Avrupa Birliği Uyum Çalışmaları, 2001.
4. Kıdeys, A.E., Recent Dramatic Changes in the Black Sea Ecosystem: The Reason for the Sharp Decline in Turkish Anchovy Fisheries, Journal of Marine Systems, 5, 2 (1994) 171-181.
5. Güneş, Ş., Karadeniz'de Çevresel İşbirliği, 1992 Bükreş Sözleşmesi, ODTÜ Gelişme Dergisi, 28, 3-4 (2001) 311-337.
6. Wang W.X. ve Fisher, N.S., Delineating Metal Accumulation Pathways for Marine Invertebrates, The Science of Total Environment, 237 (1999) 459-472.
7. Taylan, Z.S. ve Özkoç, H.B., Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesinde Akuatik Organizmaların Biokullanılabilirliği, BAÜ FBE Dergisi, 9,2 (2007) 17-33.
8. [www.yunus.gov.tr/yunus/uploads/Makale\\_090102.pdf](http://www.yunus.gov.tr/yunus/uploads/Makale_090102.pdf) Başçınar, N. Bentik Canlılar ve Biyoindikatör Tür, 8 Nisan 2012
9. Fytianos, K., Evgenidou, G. ve Zachariadis, G., Use of Macroalgae as Biological Indicators of Heavy Metal Pollution in Termaikos Gulf, Greece, Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, 62 (1999) 630-637.
10. Mohamed, L.A. ve Khaled, A., Comparative Study of Heavy Metal Distribution in Some Coastal Seaweeds of Alexandria of Alexandria, Egypt, Chemistry and Ecology, 21, 3 (2005) 181-189.
11. Strezov, A.S., Comparison of Some Radionuclides in the Marine Coastal Environment of the Black Sea and the Mediterranean, Eurasian Journal of Analytical Chemistry, 3 (2008) 170-182.
12. Olgunoğlu, M.P., İskenderun Körfezi Kıyısındaki Bazı Makroalg Türleri ve Çökelinde Ağır Metal Birikimlerinin Mevsimsel Değişimi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008.
13. Bildacı, I., Doğu Akdeniz Bölgesi Alglerinin Metal, Radyoaktivite ve Organik Madde Kirliliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1992.

14. Breban, D.C., Paunescu, N., Moreno-Bermudez, J. ve Margineanu, R., Activity Concentrations of Selected Artificial and Natural Radionuclides in Water and Sediment Samples from The North Western Black Sea, 1999, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 260,3 (2004) 503-508.
15. Godoy, J.M., Carvalho, Z.L., Fernandes, F.C., Danelon, O.M., Ferreira, A.C.M. ve Roldao, L.A., <sup>137</sup>Cs in Marine Samples from Brazilian Southeastern Coastal Region, Journal of Environmental Radioactivity, 70 (2003) 193-198.
16. Outola, I., Vetikko, V. ve Silobritiene, B., Assessment of Doses to Biota in the Baltic Sea, NSFS Conference, 2011, Reykjavik.
17. Aközcan, S., Büyük Menderes Nehri ve Dilek Yarımadası Büyük Menderes Deltası Sediment ve Sularında <sup>137</sup>Cs Konsantrasyonları, Ekoloji, 20, 81 (2011) 55-60.
18. Topçuoğlu, S., Ergül, H.A., Belivermiş, M. ve Kılıç, Ö., 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, 3 (2010) 285-293.
19. Al-Masri, M.S., Mamish, S. ve Budier, Y., Radionuclides and Trace Metals in Eastern Mediterranean Sea Algae, Journal of Environmental Radioactivity, 67 (2003) 157-168.
20. Nonova, T. ve Strezov, A., Radionuclide Uptake in Red Macroalgae from Bulgarian Black Sea Coast, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 266, 3 (2005) 411-417.
21. Mihai, S.A., Hurtgen, C. ve Georgescu, I. I., Radioactive Accumulation in Alga Samples From Romanian Black Sea Coast, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 242, 2 (1999) 419-422.
22. Sawidis, T., Heinrich, G. ve Brown, M.T., Cesium-137 Concentrations in Marine Macroalgae From Different Biotopes in the Aegean Sea (Greece), Ecotoxicology and Environmental Safety, 54 (2003) 249-254.
23. Krane, S.K., (Edit: Şarer, B.), Nükleer Fizik Ders Kitabı 1, Birinci Baskı, Palme Yayıncılık Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 2001.
24. <http://w3.gazi.edu.tr/~mkaradag/tezler/ebruseyrek.pdf> 3 Mart 2009.
25. Arya, A.P., (Edit: Şahin, Y.), Çekirdek Fiziğinin Esasları, Aktif Yayın Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 1999.
26. Damla, N., Türkiye'deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
27. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf4.html> 18 Mayıs 2013.

28. ICRP, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Annals of the ICRP, ICRP Publication, Oxford, 1993.
29. Cohen, B., Çok Geç Olmadan, Tübitak Yayınları, Ankara, 1996.
30. Şeker, S. ve Çerezci, O., Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 1997.
31. Howe, J., Bresford, N. ve Shaw, P.V., A Comparison of Cesium 137 and 134 Activity in Sheep Remaining on Upland Areas Contaminated by Chernobyl Fallout with House Removed to Less Active Pasture, 7 (1987) 71-73.
32. Kence, A., Bilim ve Teknik Dergisi, 388 (2000).
33. Baxter, M.S., Environmental Radioactivity: A Perspective on Industrial Contributions, IAEA Bulletin, 2 (1993).
34. Uğur, A., Gökova Körfezi Deniz Sediment Korlarında Radyoaktif Pb, Po, Ra, Cs, Am ve Pu İzotoplarının Dağılımının İncelenmesi, Sedimentasyon Hızı ve Tarihleme Çalışmalarında Kullanılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1998.
35. Ergül, H.A., Karadeniz'in Trabzon Yöresinde Oksik Zon'da Sedimentasyon Yapan Materyalin Bazı Ağır Metal, Radyonüklid, Organik Karbon ve Klorofil-a Düzeylerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
36. Kılıç, Ö., Sezyum-137'nin (Cs-137) Güney Marmara'daki Dağılımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
37. Tyler, A.T., Carter, S., Davidson, D.A., Long, D.J. ve Tipping, R., The Extent and Significance of Bioturbation on <sup>137</sup>Cs Distributions in Upland Soils, Catena, 43 (2001) 81-99.
38. Güven, K.C. ve Öztürk, B., Deniz Kirliliği Analiz Yöntemleri İlgili Uluslararası Sözleşmeler, Tüdev Yayınları, 2005.
39. Sze, P., A Biology of the Algae, Third Edition, Georgetown University, 1998.
40. Zeki, S., Gökova Özel Çevre Koruma Bölgesi Güneyi Üst İnfra-littoral Makroalgleri Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
41. Özvarol, Y., Kuzeydoğu Akdeniz Kıyıları (Gazipaşa- İskenderun)'nın Makrobentik Deniz Florasının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009.
42. Güner, H. ve Aysel, V., Tohumuz Bitkiler Sistematiği, Cilt 1 (Algler), Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, İzmir, 1991.



43. Cheon-Xin, C., Chai-Ling, H. ve Siew-Moi, P., Trends in Seaweed Research, Trends in Plant Science 11, 4 (2006), 165-166.
44. Piazzzi, L., Pardi, G., Balata, D., Cecchi, E. ve Cinelli, F., Seasonal Dynamics of a Subtidal North-Western Mediterranean Macroalgal Community in Relation to Depth and Substrate Inclination. Botanica Marina, 45 (2002), 243-252.
45. Levring, T., Hoppe, H.A. ve Schmid, O.J., Marine Algae, A Survey of Research and Utilization Cram, Hamburg: de Gruyterand Co, Hamburg, 1969.
46. Gökpınar, Ş. ve Cirik, S, Plankton Bilgisi ve Kültürü, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1993.
47. Çakı, Z., Ege Denizi Kıyılarında Bulunan Bazı Makro Alg Türlerinin Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitelerinin Saptanması, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2009.
48. Riedel, R., Fauna und Flora des Mittelmeeres, Verlag Paul Paray, Hamburg und Berlin, 1983.
49. Aydın, A., Sporlu Bitkiler Sistematığı I (Algler), 3593, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1991.
50. Turna, İ.İ., Antalya Körfezi'nin Makroskobik Deniz Florası Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1997.
51. Padua, M., Fontoura, P.S.G. ve Mathias, A.L., Chemical Composition of *Ulvaria Oxysperma* (Kützinger) Bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile), Brazilian Archives of Biology and Technology, 47 (2004), 49-55.
52. Ercan, F., İzmir Körfezi'nde Kırmızı Makroalglerin (Rhodophyta) Kültürü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1995.
53. Fritsch, F.E., The Structure and Reproduction of the Algae, Foreword, *Phaeophyceae, Myxophyceae*, At the University Press., Cambridge, 1945.
54. Riedel, R., Fauna und Flora der Adria, Verlag Paul Paray, Hamburg und Berlin, 1963.
55. Round, F.E., The Biology of the Algae, Ed. Edward Arnold, London, 1981.
56. Öztürk, M., Türkiye'nin Ege ve Akdeniz Kıyılarındaki *Phaeophyta* (Kahverengi Algler) Üyelerinin Yayılımı ve Taksonomisi, 1984.
57. Kaykaç, G.O., Bazı Alg Türlerinin (*Cystoseira barbata*, *Ulva rigida* ve *Gracilaria verrucosa*) Tatlarında Etkili Olan Aminoasitlerin Mevsimsel Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 2007.

58. Southgate, D.A.T., Dietary Fiber and Health, In Southgate, D. A. T., Waldron, K., Johnson, I. T. ve Fen-wick, G. R., Dietary Fiber: Chemical and Biological Aspects, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1990.
59. FAO, Vannuccini, S., Overview of Fish Production, Utilization, Consumption and Trade, Fishery Information, Data and Statistics Unit., 2005.
60. Lahaye, M., Marine Algae as Sources of Fibers: Determination of Soluble and Insoluble Dietary Fiber Contents in Some Sea Vegetables, Journal of Science and Food Agriculture, 54 (1991) 587-594.
61. Fleurence, J., Seaweed Proteins: Biochemical, Nutritional Aspects and Potential Uses, Trends in Food Science and Technology, 10 (1999) 25-28.
62. Dawes, C.R., Marine Botany, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
63. Olomola, A. Capture Fisheries and Aquaculture in Nigeria, A Comparative Economic Analysis, African Rural Social Science Report, 13, 1990.
64. Mustafa, G.M., Wakamatsu, S., Takeda, T., Umino, T. ve Nakagawa, H., Effect of Algae Meal as a Feed Additive on Growth Performance, Feed Efficiency and Body Composition in Red Sea Bream, (*Pagrus major*), Fisheerie Science, 61 (1995) 25-28.
65. Nakagawa, H., Effect of Dietary Algae on Improvement of Lipid Metabolism in Fish, Biomed and Pharmacother, 51 (1997), 345-348.
66. Wassef, E.A., Masry-El, M.H., ve Mikhail, F.R., Growth Enhancement and Muscle Structure of Striped Mullet, *Mugil Cephalus* L., Fingerling by Feeding Algal Metal Based Diets, Aquaculture Research, 32 (2001) 315-322.
67. Hong, Y.P., Chen, C.C., Cheng, H.L. ve Lin, C.H., Analysis of Auxin and Cytokinin Activity of Commercial Aqueous Seaweed Extract, Gartenbauwissenschaft, Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., 60,4 (1995) 191-194.
68. Jimenez-Escrig, A.ve Sanchez-Muniz, F.J., Dietary Fibre from Edible Seaweeds: Chemical Structure, Physicochemical Properties and Effects on Cholesterol Metabolism, Nutrition Research, 20 (2000) 585-598.
69. Ross, D.A., Uchupi, E., Prada, K.E. ve Macilaine, J.C., Bathmetry and Microtopography of the Black Sea. In: Degens, T and Ross, A. (eds) The Black Sea Geology, Chemistry and Biology. American Association of Petroleum Geologists, (1974) 1-10.
70. Sorokin, Yu. I., The Black Sea. In: Ketchum, B. H. Ecosystems of the World Estuaries and Enclosed Seas., Elsevier, (1983) 253-291.
71. Ünlüata, U., T. Oguz, M.A. Latif ve E. Ozsoy., On the Physical Oceanography of the Turkish Straits. In The Physical Oceanography of the Sea Straits, L.J. Pratt (Ed.), NATO/ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990.

72. Oğuz, T., Latun, V.S., Latif, M.A., Vladimirov, V.V., Sur, H.İ., Markov, A.A., Özsoy, E., Kotovshchikov, V.V, Eremeev, V.V. ve Ünlüata, Ü., Circulation in the Surface and Intermediate Layers of the Black Sea, Deep-Sea Research I, 40 (1993) 1597-1612.
73. Bat, L., Şahin, F., Satılmış, H.H., Üstün, F., Özdemir, Z.B., Kıdeys, A.E. ve Shulman, G.E., Karadeniz'in Değişen Ekosistemi ve Hamsi Balıkçılığına Etkisi, Journal of Fisheries Sciences, 1, 4 (2007) 191-227.
74. Turan, G., Su Yosunlarının Thalassoterapi'de Kullanımı, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
75. Neslihan, K., Sinop Kıyılarındaki "Cystoseira barbata" Deniz Yosunundan Alginat Üretimi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2008.
76. Gümüş, G., Deniz Marulunun Kimyasal Kompozisyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
77. Cirik, Ş. ve Cirik, S., Aquatic Plants: The Biology, Ecology and Aquaculture Techniques of Seaweeds, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, İzmir, 1999.
78. Yayıntaş, A. ve Yayıntaş, Ö., Tohumuz Bitkiler Sistematigi, Niğde Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Niğde, 2001.
79. Kaykaç, G.O., Cirik, Ş., ve Tekinay A.A., Yeşil Deniz Alglerinden *Ulva rigida* (C. Agardh)'nın Besin Kompozisyonu ve Aminoasit İçeriklerinin Mevsimsel Değişimi, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 25, 1 (2008) 9-12.
80. [http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=37](http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=37) 18 Mayıs 2013
81. Durucan, F., Antalya Batı Kıyıları (Antalya- Kalkan)'nın Makrobentik Deniz Dlorası, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
82. [http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=38](http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=38) 18 Mayıs 2013
83. Isabella, A.A, ve Abbott, G.J.H., Marine Algae of California, Stanford University Pres, Stanford, 2001.
84. Malea, P. ve Haritonidis, S., Metal Content in *Enteromorpha linza* (Linnaeus) in Thermaikos Gulf (Greece), Hydrobiologia, 394 (1999) 103-112.
85. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=144561> 18 Mayıs 2013
86. Aysel V., Kesercioğlu, T., Güner, H. ve Akçay, H., Trabzon Deniz Algleri, X. Ulusal Biyoloji Kongresi, Temmuz 1990, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 183-193.

87. [http://www.flora.sa.gov.au/efsa/Marine\\_Benthic\\_Flora\\_SA/Part\\_IIIC/Ceramium\\_rubrum.shtml](http://www.flora.sa.gov.au/efsa/Marine_Benthic_Flora_SA/Part_IIIC/Ceramium_rubrum.shtml) 18 Mayıs 2013
88. IAEA, Measurement of Radionuclides in Food and Environment, TRS, No. 295, 1989.
89. Beretka, J. ve Mathew, P.J., Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by Products, Health Phys., 48 (1985) 87–95.
90. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, 2000.
91. ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 5. Compilations of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72, Oxford, 1996.
92. RIFE, Radioactivity in Food and the Environment, 2004 Report RIFE-10, The Center for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS), 2005.
93. Förstner, U. ve Wittman, G.T.W., Metal Pollution in the Aquatic Environment, Second Revised Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
94. Bernhard, M., Manual of Methods in Aquatic Environment Research, Part 3, Sampling and Analysis of Biological Material, FAO Fish. Tech. Pap., No: 158, FIRI/T, Rome, 1976.
95. Maha, A.M.A. ve Aly, M.A.A., Biomonitoring Study of Heavy Metals in Biota and Sediments in the South Eastern Coast of Mediterranean Sea, Egypt, Environ Monit Assess, 146 (2008) 139-145.
96. Bilen, M., Çelikhane Curuflarından Liç-Karbonatlaştırma Prosesi ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana,2010.
97. Naturally Occuring Radionuclides in the Marine Environment, An Overview of Current Knowledge with Emphasis on the North Sea Area, The Research Council of Norway, 2003.
98. Petrincec, B., Strok, M., Franic, Z., Smodis, B. ve D. Pavicic-Hamer, Radionuclides in the Adriatic Sea and Related Dose Rate Assessment for Marine Biota, Radiation Protection Dosimetry, 2012, 1-11.
99. Nouredine, A., Menacer, M., Boudjenoun, R., Benkrid, M., Boulahdid, M., Kadihanifi, M., Lee, S.H. ve Povinec, P. P.,  $^{137}\text{Cs}$  in Water and Sediment along the Algerian Coast, Radioactivity in the Environment, 8 (2006) 156-164.
100. Lee, S.H., La Rosa, J. J., Levy-Paloma, I., Oregioni, B., Pham, M.K., Povinec, P. P. ve Wyse, E., Recent Inputs and Budgets of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  in the Northwest Mediterranean Sea, Deep Sea Research II, 50 (2003) 2817-2834.

101. Perianez, R., A modelling study on  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  Behaviour in the Alboran Sea, Western Mediterranean, Journal of Environmental Radioactivity, 99(2008) 694-715.
102. Ito, T., Anthropogenic Radionuclides in the Japan Sea: Their Distributions and Transport Process, Journal of Environmental Radioactivity, 68 (2003), 249-267, 2003.
103. Hong Kong Observatory, Environmental Radiation Monitoring in Hong Kong, Technical Report, 2003.
104. Radionuclides in Marine Environment, A Cresp Science Review, Concorcium for Risk Evaluation with Stakeholder Participation, 2005.
105. Gafvert, T., Foyn, L. ve Brungot, A.L., Radioactivity in the Marine Environment 2000 and 2001, Results from the Norwegian National Monitoring Programme (RAME), Norwegian Radiation Protection Authority, 2003.
106. Ghose, S., Alam, M.N. ve Islam, M.N., Concentrations of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  in Surface Sea Water of the Bay of Bengal, Journal of Environmental Radioactivity, 47 (2000) 291-300.
107. Strezov, A., Milanov, M., Mishev, P. ve Stoilova, T., Radionuclide Accumulation in Near-Shore Sediments along the Bulgarian Black Sea Coast, Appl. Radiat. Isot., 49, 12 (1998) 1721-1728.
108. Papaefthymiou, H., Papatheodorou, G., Moustakli, A., Christodoulou, D. ve Geraga, M., Natural Radionuclides and  $^{137}\text{Cs}$  Distributions and their Relationship with Sedimentological Processes in Patras Harbour, Greece, Journal of Environmental Radioactivity, 94 (2007) 55-74.
109. Lozano, J.C., Blanco Rodriguez, P. ve Vera Tome, F., Distribution of Long-Lived Radionuclides of the  $^{238}\text{U}$  Series in the Sediments of a Small River in a Uranium Mineralized Region of Spain, Journal of Environmental Radioactivity, 63 (2002) 153-171.
110. El-Mamoney, M.H. ve Khater, A.E.M., Environmental Characterization and Radioecological Impacts of Non-Nuclear Industries on the Red Sea Coast, Journal of Environmental Radioactivity, 73 (2004) 151-168.
111. Al-Kheliewi, A.S., Shabana, S.I., Farouk, M.A., Al-Zahrany, A.A. ve Al-Masoud, F.I., Concentration of Man-Made Radionuclides in Marine Sediments at the Al-Khaffji and Mneefa Coastal Areas in Saudi Arabia, 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, 2002.
112. Abdi, M.R., Faghihian, H., Kamali, M., Mostajaboddavati, M. ve Hasanzadeh, A., Distribution of Natural Radionuclides on Coast of Bushehr, Persian Gulf, Iran, Iranian Journal of Science and Technology, 30 (2006) 259-269.

113. Japan Chemical Analysis Center, Radioactivity Survey Data in Japan, Reports 138 and 139, 2004.
114. Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Topçuoğlu, S., Çotuk, Y., Uğur, A. ve Özden, B., Radioactivity Concentrations in the Surface Sediment and Mussel Samples from the Bosphorus and the Golden Horn, Turkey, Rapp. Comm. Int. Mer Medit., 39 (2010).
115. Strezov, A. ve Nonova, T., Radionuclide Accumulation in Green and Brown Macroalgae at The Bulgarian Black Sea Coast, Journal of Radioanalytical Chemistry, 265, 1 (2005) 21-29.
116. Benkdad, A., Laissaoui, A., Tornero, M.V., Benmansour, M., Chakir, E., Garrido, I. M. ve Moreno, J. B., Trace Metals and Radionuclides in Macroalgae from Moroccan Coastal Waters, Environ. Monit. Assess., 182 (2011) 317-324.
117. Umbara, H. ve Suseno, H., Monitoring of Radionuclides in Fishes, Mussels and Macroalgae at Peninsula Central Javai Indonesia, Proceeding of the Third International Conference on Mathematics and Natural Sciences, 2010.
118. Topçuoğlu, S ve Güven. N., Boğaziçi Makroalg ve Sedimentlerinde Radyonüklid Konsantrasyonları, Turkish J. Marine Sciences, 5 (1999) 19-24.

## ÖZGEÇMİŞ

03.11.1980 tarihinde Rize’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Rize’de tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü OFMA Eğitimi Fizik Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans Programından mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik Bilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2007 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı üniversitede görev yapmakta olan Nilay AKÇAY iyi derecede İngilizce bilmektedir.