

T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI DENİZ ORGANİZMALARINDA  $^{137}\text{Cs}$  RADYOİZOTOPUNUN  
ALIM VE ATILIM KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK  
BELİRLENMESİ

GÜLNARA İMİNOVA

TEZ DANIŞMANI  
PROF. DR. HASAN BALTAŞ  
TEZ JÜRİLERİ  
PROF. DR. BİROL ERTUĞRAL  
DOÇ. DR. VAGİF NEVRUZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

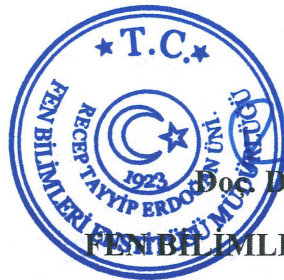
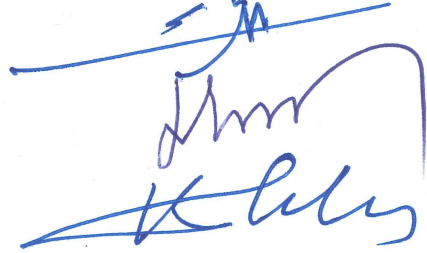
T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI DENİZ ORGANİZMALARINDA <sup>137</sup>Cs RADYOİZOTOPUNUN ALIM VE  
ATILIM KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ**

Prof. Dr. Hasan BALTAŞ danışmanlığında, Gülnara İMİNOVA tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/07/2019 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Birol ERTUĞRAL
Üye	: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ
Üye	: Doç. Dr. Vagif NEVRUZOĞLU

İmzası .



Doç. Dr. Ferhat KALAYCI  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖNSÖZ

Bazı Deniz Organizmalarında  $^{137}\text{Cs}$  Radyoizotopunun Alım ve Atılım Kapasitelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

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

Yüksek lisans tez çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Uğur ÇEVİK’e ve örneklerin toplanması, biyokinetik deneylerin yapılmasında yardımcı olan Doç. Dr. Göktuğ DALGIÇ’a teşekkür ederim.

Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarı’nda çalışmalarım boyunca yardımcı olan Öğr. Gör. Dr. Murat ŞİRİN’e, Esra YILMAZ BAYRAK’a, Fatih DEVRAN’a, Emre GÖKBAYRAK’a ve Ömer ÇORUH’a teşekkürlerimi sunarım.

Biyobirikim ve Biyoatılım deneyleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir. Yaptığım deneyler süresince hertürlü ekipman ve desteği benden esirgemeyen Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü Yrd. Doç. Dr. İlker Zeki KURTOĞLUN’a ve Teknisyen Cansu YILMAZ’a teşekkür ederim.

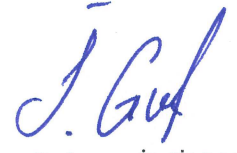
Doğduğum günden beri yanımda olan, bulunduğum yeri onlara borçlu olduğum ANNEME ve BABAMA sonsuz şükranlarımı sunarım.

Hazırlanan bu Yüksek lisans tezi, 114Y652 proje koduyla TÜBİTAK, Çevre Atmosfer Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından desteklenmiştir. Verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

**Gülnara İMİNOVA**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Bazı Deniz Organizmalarında  $^{137}\text{Cs}$  Radyoizotopunun Alım ve Atılım Kapasitelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim 09/07/2019



Gülnara İMİNOVA

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

## ÖZET

### BAZI DENİZ ORGANİZMALARINDA <sup>137</sup>Cs RADYOİZOTOPUNUN ALIM VE ATILIM KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Gülnara İMİNOVA

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

Bu çalışmada, deniz suyu yolu ile <sup>137</sup>Cs radyoizotopuna maruz bırakılan midye (*Mytilus galloprovincialis* L. 1758) ve deniz salyangozu (*Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)) örneklerinde birikim ve atılım kinetikleri laboratuvar şartları altında araştırılmıştır. Birikim ve atılım kinetikleri sırasıyla 49 ve 59 gün olarak izlenmiştir. Midye ve deniz salyangozu örneklerinin birikim ve atılım kinetiklerinden konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerleri hesaplanmıştır. Büyük boy midye, küçük boy midye, büyük boy salyangoz ve küçük boy salyangoz örneklerinin yumuşak dokularında denge durumu konsantrasyon faktörleri sırasıyla  $16,25 \pm 4,41$ ,  $19,50 \pm 1,17$ ,  $16,34 \pm 0,70$  ve  $14,31 \pm 0,63$  olarak bulunmuştur. Büyük boy midye, küçük boy midye, büyük boy salyangoz ve küçük boy salyangoz örneklerinin yumuşak dokularında uzun süreli biyolojik yarı-ömür değerleri sırasıyla 38,50, 77,00, 49,50 ve 57,75 gün olarak bulunmuştur. Tüm bu sonuçlar ışığında, denizel ortamda herhangi bir radyoaktif kirliliğin olası girdileri için <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun izlenmesinde midye ve deniz salyangozu organizmalarının denizlerdeki radyoaktif kirliliği yansıtması açısından son derece değerli bir gösterge oldukları tespit edilmiştir.

2019, 74 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Karadeniz, Akdeniz Midyesi, Deniz Salyangozu, <sup>137</sup>Cs, Biyolojik Yarı-Ömür

## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF UPTAKE AND DEPURATION CAPACITIES OF $^{137}\text{Cs}$ RADIOISOTOPE IN SOME MARINE ORGANISMS

Gülnara İMİNOVA

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

In this study, accumulation and depuration kinetics in the samples of mussels (*Mytilus galloprovincialis* L. 1758) and sea snails (*Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)) exposed to  $^{137}\text{Cs}$  radioisotope by sea water were investigated under laboratory conditions. Accumulation and depuration kinetics were monitored as 49 and 59 days, respectively. Concentration factor and biological half-life values were calculated from the accumulation and depuration kinetics of mussel and sea snail samples. The equilibrium state concentration factors in the soft tissues of large mussels, small mussels, large snails and small snails were found to be  $16,25 \pm 4,41$ ,  $19,50 \pm 1,17$ ,  $16,34 \pm 0,70$  and  $14,31 \pm 0,63$ , respectively. The long-term biological half-lives of the large mussels, small mussels, large snails and small snails were found to be 38,50, 77,00, 49,50 and 57,75 days, respectively. Although these results indicate that mussel and sea snail organisms are highly valuable indicators of the radioactive contamination in the seas when the  $^{137}\text{Cs}$  radioisotope is monitored for possible intake of any radioactive contamination in the marine environment.

2019, 74 pages

**Keywords:** Eastern Black Sea, Mediterranean Mussel, Sea Snail,  $^{137}\text{Cs}$ , Biological Half-Life.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.1.1. Akdeniz Midyesi ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> ).....	2
1.1.2. Deniz Salyangozu ( <i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)).....	3
1.2. Literatür Özeti.....	5
1.3. Radyoaktivite .....	8
1.3.1. Doğal Radyoaktivite .....	8
1.3.2. Yapay Radyoaktiflik .....	9
1.3.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu.....	11
1.3.4. Peş Peşe Bozunma Kanunu.....	12
1.3.5. Radyoaktif Denge .....	14
1.3.5.1. Geçici Denge .....	14
1.3.5.2. Sürekli Denge .....	14
1.4. Radyasyon Birimleri .....	15
1.4.1. Radyoaktivite Birimleri .....	15
1.4.2. Işınlama Birimi .....	15
1.4.3. Soğurulma doz birimi .....	15

1.4.4.	Eşdeğer Doz Birimi .....	15
1.5.	Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi.....	16
1.5.1.	Fotoelektrik Olay .....	17
1.5.2.	Compton Saçılması .....	18
1.5.3.	Çift Oluşumu.....	20
1.6.	Gama Işını Dedektörleri.....	21
1.6.1.	Yarıiletken Dedektörler .....	22
1.6.2.	Sintilasyon Dedektörleri .....	22
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1.	Araziden Örneklemeye Çalışmaları.....	25
2.1.1.	Akdeniz Midyesi Örnekleri .....	25
2.1.2.	Deniz Salyangozu Örnekleri .....	25
2.2.	Biyobirikim Deneyleri .....	26
2.2.1.	Akdeniz Midyesinde Deniz Suyundan <sup>137</sup> Cs Birikim Deneyi .....	26
2.2.2.	Deniz Salyangozunda Deniz Suyundan <sup>137</sup> Cs Birikim Deneyi.....	29
2.3.	Biyoatılım Deneyleri .....	31
2.4.	Örneklerin Radyoaktivite Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi .....	32
2.4.1.	Biyobirikim Deneyinden Elde edilen Örneklerin <sup>137</sup> Cs Aktivitesi Ölçümü için Hazır Hale Getirilmesi .....	32
2.4.1.1.	Midye Örnekleri .....	32
2.4.1.2.	Deniz Salyangozu Örnekleri .....	33
2.4.1.3.	Deniz suyu örnekleri .....	34
2.4.2.	Biyoatılım Deneyinden Elde edilen Örneklerin <sup>137</sup> Cs Aktivitesi Ölçümü için Hazır Hale Getirilmesi.....	35
2.4.2.1.	Midye Örnekleri .....	35
2.4.2.2.	Deniz Salyangozu Örnekleri .....	36
2.5.	Yöntem.....	37



2.5.1.	Deney Sistemi .....	37
2.5.2.	Deneyisel Yöntem.....	40
2.5.2.1.	Enerji Kalibrasyonu.....	40
2.5.2.2.	Verim Kalibrasyonu .....	43
2.5.3.	Spektrumların Alınması.....	44
2.5.3.1.	Pik belirleme ve Değerlendirme.....	47
2.5.3.2.	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite .....	47
2.5.3.3.	Aktivite Hesabı.....	48
2.6.	İstatistiksel Analiz.....	49
3.	BULGULAR.....	50
3.1.	Akdeniz Midyesi ve Deniz Salyangozu Örneklerinde Birikim ve Atılım Kinetikleri .....	50
3.1.1.	Su Yolu ile <sup>137</sup> Cs Radyoizotopunun Midye ve Deniz Salyangozu Örneklerinde Biyobirikim Deneyi Sonuçları.....	50
3.1.2.	Midye ve Deniz Salyangozu örneklerinde <sup>137</sup> Cs Radyoizotopunun Biyoatılım Deneyi Sonuçları .....	57
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	63
4.1.	Biyobirikim Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	63
4.1.1.	Akdeniz Midyesi.....	63
4.1.2.	Deniz Salyangozu .....	64
4.2.	Biyoatılım Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	64
4.2.1.	Akdeniz Midyesi.....	64
4.2.2.	Deniz Salyangozu .....	66
5.	ÖNERİLER.....	68
	KAYNAKLAR .....	69
	ÖZGEÇMİŞ .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Akdeniz midyesi ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> ) .....	2
Şekil 2.	<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846) .....	4
Şekil 3.	$^{137}\text{Cs}$ 'nin bozunma şeması (Sirin, 2018).. .....	11
Şekil 4.	Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi. ....	12
Şekil 5.	Fotoelektrik olay.....	17
Şekil 6.	Compton saçılması. ....	19
Şekil 7.	Çift Oluşumu. ....	21
Şekil 8.	Yarıiletken dedektör şeması. ....	22
Şekil 9.	Bir çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.....	23
Şekil 10.	a) Araştırmacımızın midye örnekleme yaparken dalışı b) Alınan midye örneklerinin hassas terazide tartılması .....	25
Şekil 11.	Mekanik direç ile deniz salyangozu örneklemesine çıkarken .....	26
Şekil 12.	a) Midye b) Deniz salyangozu örneklerinin doğadaki şartlara uygun şekilde laboratuvar şartlarına alıştırmaları .....	27
Şekil 13.	Kabul edilebilir deniz suyu değerlerinin prob ile ölçülmesi. ....	28
Şekil 14.	Akdeniz midyesinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun sudan birikimi .....	29
Şekil 15.	Deniz salyangozunda $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun sudan birikimi .....	30
Şekil 16.	Temiz deniz suyu akarsu sisteminde midye ve deniz salyangozu örnekleri için atılım deneyi .....	32
Şekil 17.	a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen midye örnekleri b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy midye örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi .....	33
Şekil 18.	a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen deniz salyangozu örnekleri b) Deniz salyangozu örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.....	34

<b>Şekil 19.</b> Midye ve salyangoz örneklerinin birikim deneylerinde örnekleme günlerinde örneklenen deniz suyu örneklerinin günlere göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.....	35
<b>Şekil 20.</b> a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen midye örnekleri b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy midye örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi .....	36
<b>Şekil 21.</b> a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen deniz salyangozu örnekleri b) Deniz salyangozu örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.....	37
<b>Şekil 22.</b> Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü.....	38
<b>Şekil 23.</b> Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı.....	38
<b>Şekil 24.</b> $^{152}\text{Eu}$ 'nin bozunma şeması.....	41
<b>Şekil 25.</b> Enerji-Kanal grafiği.....	43
<b>Şekil 26.</b> Enerji-Verim eğrisi.....	44
<b>Şekil 27.</b> a) KB birikim b) BB birikim c) KB boşaltım d) BB boşaltım midye yumuşak doku örnekleri için gama spektrumu örneği .....	45
<b>Şekil 28.</b> a) KB birikim b) BB birikim c) KB boşaltım d) BB boşaltım deniz salyangozu yumuşak doku örnekleri için gama spektrumu örneği.....	46
<b>Şekil 29.</b> a) Midye ve b) Deniz salyangozu birikim deneylerinden örneklenen deniz suyu örneklerinin gama spektrumu örneği .....	46
<b>Şekil 30.</b> Büyük boy midye örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi.....	53
<b>Şekil 31.</b> Küçük boy midye örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi.....	53
<b>Şekil 32.</b> Her iki boy midye örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörlerinin değişimi .....	54
<b>Şekil 33.</b> Büyük boy deniz salyangozu örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi .....	55
<b>Şekil 34.</b> Küçük boy deniz salyangozu örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi .....	55
<b>Şekil 35.</b> Her iki boy deniz salyangozu örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun konsantrasyon faktörlerinin değişimi.....	56

<b>Şekil 36.</b> Büyük boy midye örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiği.....	59
<b>Şekil 37.</b> Küçük boy midye örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiği.....	59
<b>Şekil 38.</b> Her iki boy midye örneği için günlere göre $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiğinin değişimi.....	60
<b>Şekil 39.</b> Büyük boy deniz salyangozu örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiği.....	61
<b>Şekil 40.</b> Küçük boy deniz salyangozu örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiği.....	61
<b>Şekil 41.</b> Her iki boy deniz salyangozu örneği için günlere göre $^{137}\text{Cs}$ radyoizotopunun kayıp kinetiğinin değişimi.....	62



## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b>	Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.....	9
<b>Tablo 2.</b>	Yapay radyoaktif çekirdekler.....	10
<b>Tablo 3.</b>	Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri.....	16
<b>Tablo 4.</b>	<sup>152</sup> Eu kalibrasyon kaynağının özellikleri.....	41
<b>Tablo 5.</b>	Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri.....	42
<b>Tablo 6.</b>	Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdek ve salma hızı.....	47
<b>Tablo 7.</b>	Dedektörle algılanan <sup>137</sup> Cs radyoizotopunu minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) değerleri.....	47
<b>Tablo 8.</b>	Sertifikalı referans malzeme Midye (IAEA-437) örneğinin radyoaktiflik konsantrasyon sonuçları.....	49
<b>Tablo 9.</b>	Birikim deneyinde örneklenen Akdeniz midyesi örneklerinde <sup>137</sup> Cs radyoizotopunun konsantrasyon faktörü değerleri.....	52
<b>Tablo 10.</b>	Birikim deneyinde örneklenen deniz salyangozu örneklerinde <sup>137</sup> Cs radyoizotopunun konsantrasyon faktörü değerleri.....	54
<b>Tablo 11.</b>	<sup>137</sup> Cs'nin midye ve deniz salyangozu örneklerinde birikim kinetiği parametreleri.....	56
<b>Tablo 12.</b>	Midye örneklerinde atılım deneylerinde <sup>137</sup> Cs radyoizotopunun organizmada kalan (%) aktivite değerleri.....	58
<b>Tablo 13.</b>	Deniz salyangozu örneklerinde atılım deneylerinde <sup>137</sup> Cs radyoizotopunun organizmada kalan (%) aktivite değerleri.....	60
<b>Tablo 14.</b>	Midye ve deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokuları için hesaplanan atılım parametreleri.....	62

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Aktiflik
ADC	Analoq Dijital Çevirici
BB	Büyük Boy
Bq	Becquerel
Ci	Curie
D	Soğrulan Doz
DE	Doz Eşdeğeri
Gy	Gray
HPGe	Yüksek Saflıkta Germanyum
I	Salma Hızı
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Kurumu
KB	Küçük Boy
KF	Konsantrasyon Faktörü
MCA	Çok Kanallı Analizör
MDA	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
N	Radyoaktif Çekirdek Sayısı
$N_0$	İntegrasyon Sabiti
$R^2$	Korelasyon Katsayısı
S	Pikin Net Alanı
Sv	Sievert
$T_{1/2}$	Yarı Ömür
$\lambda$	Bozunma Sabiti
$\tau$	Radyonüklidin Organizma İçindeki Kalış Süresi

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Deniz kirliliği seviyelerinin değerlendirilmesi sadece abiyotik bileşenlerin doğrudan ölçümlerine değil aynı zamanda seçilen deniz organizmalarında radyonüklidlerin biyobirikimi ve bolluğunun ölçümlerine de dayalıdır. Deniz organizmalarının dokuları ve organları tarafından izotopik kirleticilerin biyobirikimi tüm dünyada genişçe çalışıldığından dolayı çevresel kalite değerlendirme çalışmalarında biyoindeks kavramının benimsenmesine izin vermiştir. Biyomonitor olarak seçilen türler çoğu kriterleri yerine getirmelidir. Bu türler yaşadığı ortamda yerleşik, tanımlamak ve örneklemek için kolay, izlenen kıyıda bütün yıl boyunca bol, uzun yaşam süresi, sıcaklık, tuzluluk ve çözünmüş oksijen gibi çevresel değişikliklere dayanıklı, kirleticilerin yüksek seviyelerine toleranslı olmalıdır. Bu türlerden olan midyeler hareketsiz hayvanlardır, askıda kalan parçacıkları toplamak için deniz suyunun büyük miktarını süzmelerinden dolayı biyomonitor olarak dikkat çekmektedirler. (Thebault vd., 2005).

Ayrıca, hem doğal hem de yetiştirilen istiridye, midye ve diğer kabuklu türleri üzerine etkisi rapor edilen, deniz salyangozu (*R. Venosa*) ekosistemde önemli negatif değişikliklere sebep olmuştur. *R. venosa*'nın populasyonları, bentik canlı topluluklarının ciddi şekilde kötüleşmesine ve dipte yaşayan organizmaların ekolojisinde önemli değişikliklere sebep olmuştur. Midye ve deniz salyangozlarının dünya ekosistemine eklenen radyoaktif kirletici seviyelerini çok erken bir şekilde yumuşak dokularında yansıttıkları bilinmektedir (Florou vd., 2004). İnsanlar tarafından tüketilen bu canlılar trofik (besin) zincirde duyarlılığı, yaşam ortamı, bolluğu ve mevcudiyeti dikkate alınarak biyomonitör olarak seçilmektedir. Bu demersal türler, tropik seviyeler arasında enerji aktarımı ve kıyasal çevre koşullarını temsil etmede son derece önemlidir. Bu yüzden, hem midye hem de deniz salyangozu canlıları halk sağlığını korumak için radyolojik risklerin değerlendirilmesinde son derece önemli bir yere sahiptir.

Yapılan bu tez çalışmasında, denizel ortamdaki radyoaktif kirlenmeyi en iyi şekilde gösteren organizmaların başında gelen midyelerden Akdeniz midyesi (*Mytilus*

*galloprovincialis* L. 1758) ve deniz salyangozu (*Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)) örneklerinde fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun biyobirikim ve biyoatılım kinetiğini laboratuvar şartlarında araştırarak zamana bağlı olarak bu radyonüklidin denge durumundaki konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerlerini belirlemek ve yorumlamaktır.

### 1.1.1. Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*)

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



Şekil 1. Akdeniz midyesi.

Çift kabuklu yumuşakçalar (Bivalvia) sudaki tüm partikülleri filtre ederek, fitoplankton, sudaki çözülmüş organik maddeler, bakteriler ve detrituslar ile beslenirler. Suyu filtre ederek beslendikleri için, buldukları ortamlara kıyasla daha yüksek miktarlarda kimyasalları biriktirebilmektedir (Oliver vd., 2001). *M. galloprovincialis*'ler



“kirlilik göstergesi” kabul edilirler çünkü fekal patojenleri, bakterileri, toksin, ağır metal ve radyoaktif maddeleri bünyelerinde yoğunlaştırarak taşırlar. Sesil türler oldukları için uzun süreli (kronik) etkileri iyi yansıtır ve yüksek düzeyde fekal koliform bakteriyi besin zincirine katarak halk sağlığını tehdit edebilirler (Güldür, 2011).

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

### **1.1.2. Deniz Salyangozu (*Rapana venosa* (Valenciennes, 1846))**

Deniz salyangozu *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) Doğu Asya kökenli bir türdür (Şekil 2). Prosobranchia alt sınıfına ait bu canlının, ticari gemiler vasıtasıyla Karadeniz'e taşındığı tahmin edilmektedir. Karadeniz'de ilk kez 1946'da Novorosisk körfezinde rapor edilmiştir. Daha sonra, Azak denizi, Karadeniz, Ege ve Akdenizin tüm bölgesinde yayılım göstermiştir. Doğu Akdeniz veya Karadeniz'den larva evresinde iken ticari gemilerin balast suları ile taşındığı tahmin edilen bu tür, Kuzey Atlantik sularında Chesapeake körfezinde (ABD) ve Uruguay'da, Güney Atlantik sularında ise Arjantin'de bulunmaktadır (Sağlam, 2004). Karadeniz'de kumlu ve substratumlarda 40 m derinliğe kadar bulunmaktadır. En bol olarak Kerch boğazı, Azak Denizi, Sevastopol ve Yalta (Ukrayna), Bulgaristan ve Türkiye sahillerinde yayılım göstermektedir. Anavatanı olan Asya sularında 18 cm'ye kadar büyürken, işgal ettiği Akdeniz ve Karadeniz sularında ise boyu 12 cm'nin altına düşmektedir (Arıdeniz, 2014).



**Şekil 2.** *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)

Deniz salyangozu karnivor canlı olup istiridye, midye ve diğer yumuşakcaların doğal popülasyonlarını etkileyebilen avcı bir türdür. Çevre koşullarına (su kirliliği, yüksek ve düşük sıcaklık-tuzluluk, oksijen eksikliğine) geniş toleranslılık sağladığı için girdiği sucul ortamlara hemen adaptasyon sağlamaktadır. İşgal ettiği bölgelerde ekosistemde önemli olumsuz değişikliklere sebep olmaktadır ve hızla denizel ortamlarda yayılmaktadır (ICES, 2004). Karadeniz’de, *Rapana venosa*’nın yapmış olduğu predasyon Bulgaristan sularında, Kerch boğazı ve Kafkas’ta Akdeniz midyesinin azalmasının başlıca sebebi olarak gösterilmektedir (Arıdeniz, 2014; ICES, 2004).

Karadeniz ülkeleri arasında en fazla salyangoz üretimini sırasıyla Bulgaristan, Türkiye, Gürcistan, Ukrayna ve Rusya oluşturmaktadır. Deniz salyangozu üretiminin yaklaşık % 90’ı Doğu Karadeniz’den karşılanmaktadır. Türkiye’de deniz salyangozu 1985 yılından sonra ticari olarak önem kazanmaya başlamıştır. Üretim ihracat olanaklarına bağlı olarak 1989 yılında 10 bin tonu biraz aşmış ve daha sonraki yıllarda giderek azalmış 2000 tonlar düzeyine inmiştir. Fakat son yıllarda tekrar 10 bin tonu aşmıştır. 2005 yılında toplam salyangoz üretimi 12600 tondur (Sağlam, 2007).

Özellikle buldukları ortamda suyu süzerek, su içerisindeki planktonları bünyesinde tutması ve ortamdaki diğer iyi bir biyoindikatör organizma olan midyelerle beslenmesi göz önüne alındığında, buldukları çevredeki kirlilik oranının ölçülmesi ve

değerlendirilmesi için Rapa venosa'nın incelenmesi gereken önemli bir tür olduğu anlaşılmaktadır (Peştreli, 2011).

## 1.2. Literatür Özeti

Denizel kirliliğinin araştırılmasında, bu ortamda yaşayan organizmalar üzerine pek çok çalışma yapılmış ve ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda araştırılan literatürden görüldüğü gibi genellikle  $^{134}\text{Cs}$  radyoizotopu kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların kısa özeti aşağıda verilmiştir.

Topçuoğlu ve Van Doven (1997), *Mytilus galloprovincialis* türü midyede  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun biyoatılımını ve doğal atılımını laboratuvar ve kirlenmiş durumlar altında araştırmışlardır. 1986 ve 1987 yılları arasında Çernobil koşulları altında  $^{137}\text{Cs}$ 'nin biyolojik yarı-ömürünü midyenin yumuşak dokusunda 63 gün olarak belirlemişlerdir. Laboratuvar koşulları altında  $^{137}\text{Cs}$ 'nin biyolojik yarı-ömür değerlerini yavaş bileşenlerde  $5\pm 2$  °C sıcaklıkta 27,1 gün ve  $13\pm 2$  °C sıcaklıkta 19,7 gün olarak tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, Kirlenmiş durum ve laboratuvar şartları altındaki sonuçların kıyaslanamaz olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Onat ve Topçuoğlu (1999), su yolu ile  $^{65}\text{Zn}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'ye maruz bırakılan deniz salyangozunda birikim ve atılım potansiyelini laboratuvar şartlarında araştırmışlardır.  $^{65}\text{Zn}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için tüm vücutta konsantrasyon faktörlerini sırasıyla 36,1 ve 4,0 olarak belirlemişlerdir. Atılım oranlarını biyolojik yarı-ömür vasıtası ile belirlemişlerdir.  $^{65}\text{Zn}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için tüm vücutta biyolojik yarı-ömür değerlerini sırasıyla 66 ve 75 gün olarak tespit etmişlerdir. Yumuşak dokular ve kabuklar arasındaki çinko ve sezyum dağılımının metabolik tip davranış gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmada, özellikle Karadeniz'de metal ve radyonüklidlerin izlenmesi için deniz salyangozunu kullanmanın önemli bir araç olacağını önermişlerdir.

Güngör vd. (2001), Karadeniz kıyısından topladıkları *Mytilus galloprovincialis* türü midyede, su yolu ile  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{241}\text{Am}$ 'in biyokinetiklerini laboratuvar şartları altında araştırmışlardır. Denge durumunda  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{241}\text{Am}$ 'in konsantrasyon faktörlerini hesaplamışlardır. Midyelerin yumuşak dokularında  $^{134}\text{Cs}$ 'ün konsantrasyon faktörünü

tüm vücut ve kabuk dokularından oldukça yüksek bulmuşlardır.  $^{241}\text{Am}$ 'in yumuşak doku ve kabuk doku örneklerinde benzer oranlarda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Radyonüklidlerden arınma kinetiklerini iki bileşenli eksponansiyel model tarafından tanımlamışlardır. Yavaş bileşenlerde küçük ve büyük midye örneklerinde biyolojik yarı-ömür değerlerinde önemli bir farklılık tespit etmemişlerdir.  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{241}\text{Am}$ 'in yumuşak dokulardaki biyolojik yarı-ömür değerlerini sırasıyla 29,4 ve 41,1 gün olarak bulmuşlardır.

Topçuoğlu vd. (2003), Doğu Karadeniz'in Türkiye kıyısı boyunca Pazar ve Rize olmak üzere iki istasyondan topladıkları makro yosun, midye, balık ve sediment örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'un aktiflik konsantrasyonlarını ve bazı ağır metal konsantrasyonlarını (Cd, Pb, Cu, Zn ve Mn) belirlemişlerdir. Ölçülen radyonüklid konsantrasyonları Karadeniz kıyısı boyunca yapılan çalışmalarla benzer bulunmuştur.

Heldal vd. (2003), Barents ve Norveç denizlerinde, denizel yiyecek ağlarında  $^{137}\text{Cs}$ 'nin biyobirikimini araştırmışlardır. Farklı organizmalardaki  $^{137}\text{Cs}$  içeriklerini genel olarak düşük bulmuşlardır (1 Bq/kg yaş ağırlık).  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonunu besin ağının en üstünde bulunan yunusta amphipod'tan 10 kat daha fazla tespit etmişlerdir. Krill ve amphipod'tan oluşan karışımdaki konsantrasyon faktörünü liman yunuslarından daha az tespit etmişlerdir.

Sezer vd. (2014), besin zinciri ve deniz suyu yolu ile  $^{134}\text{Cs}$ 'e maruz bırakılan *Palaemon adspersus* türü karidede biyobirikim kinetiklerini araştırmışlardır.  $^{134}\text{Cs}$ 'ün vücuda alımını ve vücuttan atılmasını sırasıyla 27 ve 38 gün süreyle takip etmişlerdir. Karidesin tüm vücudu ve yumuşak dokularında bulunan  $^{134}\text{Cs}$ 'ün biyolojik yarı-ömrünü hesaplamışlardır.  $^{134}\text{Cs}$  birikiminin karidesin yumuşak dokularına kıyasla kash dokularında da daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Kalaycı vd. (2013), deniz suyu yolu ile  $^{134}\text{Cs}$ 'e maruz bırakılan Manila kum midyesinde (*Ruditapes philippinarum*) biyokinetik çalışmalarını laboratuvar şartları altında araştırmışlardır. Birikim deneyinde yumuşak dokularda (12) konsantrasyon faktörünü tüm vücut (3) ve kabuk dokuya (0,8) göre daha yüksek bulmuşlardır. Tüm

vücut için biyolojik yarı-ömrü yavaş bileşende 22,1 gün ve yumuşak dokularda 18 gün olarak belirlemiştir.

Metian vd. (2011), deniz suyu, besin ve sediment vasıtasıyla  $^{241}\text{Am}$  ve  $^{134}\text{Cs}$ 'e maruz bırakılan *Pecten maximus* türü tarak midyesinde laboratuvar şartları altında biyokinetik çalışmalarını yapmışlardır. Genellikle,  $^{241}\text{Am}$  birikim ve atılımının  $^{134}\text{Cs}$ 'den daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Deniz suyu ile maruz kalma deneyinde biyolojik yarı-ömür değerlerini tüm vücut için  $^{241}\text{Am}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  için sırasıyla 892 ve 22 gün olarak bulmuşlardır. Tüm vücut yerine yumuşak dokularda özellikle kas dokularda  $^{134}\text{Cs}$ 'ün daha fazla birikim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Tarak midyesi türünde iki radyonüklidin fizikokimyasal özelliklerinden dolayı farklı metabolik davranış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Pouil vd. (2015), besin ve deniz suyu yolu ile  $^{134}\text{Cs}$ 'e maruz bırakılan *Mimachlamys varia* türü tarak midyesinde laboratuvar şartları altında biyokinetik çalışmalarını yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları Metian ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada *Pecten maximus* türü tarak midyesi için elde edilen sonuçlarla kıyasladıklarında, daha yüksek konsantrasyon faktörü ve daha düşük absorpsiyon verimliliği tespit etmişlerdir. Atılım deneyinde yavaş bileşenler için *M. varia* (178 gün) türü tarak midyesinde *Pecten maximus*'a (22 gün) göre daha yüksek biyolojik yarı-ömür belirlemiştir.

Topcuoğlu vd. (2001), deniz suyu ve acı su yolu ile  $^{137}\text{Cs}$ 'ye maruz bırakılan makroalg, isopod ve balık türlerinde denge durumu konsantrasyon faktörünü araştırmıştır. Kahverengi karides ve halkalı deniz solucanında konsantrasyon faktörünü acı su yolu ile araştırmıştır. Denge durumunda konsantrasyon faktörlerini makroalg, isopod, balık, kahverengi karides ve halkalı deniz solucanı için sırasıyla, 2,5, 33, 2, 16 ve 11 olarak belirlemiştir. 6 ve 16 °C arasındaki sıcaklıklarda makroalg türlerinde birikim oranının etkilendiğini belirlemiştir. Düşük tuzlulukta isopodların  $^{137}\text{Cs}$  birikiminin arttığını tespit etmiştir. Öte yandan, balık türlerinde  $^{137}\text{Cs}$  birikim oranını deniz suyunda acı suya göre daha yüksek bulmuştur.

### 1.3. Radyoaktivite

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

Kararsız atom çekirdeklerinin dışardan enerji almadan kendiliğinden bozunuma uğrayarak bazı ışınlar yayınlayıp niteliğini değiştirerek başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayına radyoaktiflik denir. Bir başka ifadeyle radyoaktiflik, kararsız atom çekirdeğinin kararlı duruma geçebilmek için çeşitli ışın veya parçacık yayması olayıdır. Radyoaktivite, doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir (Damla, 2009; Akçay, 2013).

#### 1.3.1. Doğal Radyoaktivite

Doğal radyoaktiviteden, atomun çekirdek yapısının açıklanması, dünya yaşının tahmini ve okyanusların dibinde bulunan sediment oluşum oranlarının ölçülmesi gibi çeşitli alanlarda faydalanılır. Çevresel örneklerde doğal radyoaktivite seviyelerini belirleme çalışmaları, nükleer enerjinin insanoğlunun hizmetine girmesi ve nükleer santrallerde üretilen radyoaktif maddelerin çevreye verdikleri zararların araştırılmaya başlanmasıyla hız kazanmıştır. Bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi hem de nükleer santrallerin kurulduğu bölgelere yakın oturan insanların çevresel doğal radyasyonların yanı sıra nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonlara da maruz kaldıklarının tespiti açısından önemlidir. Doğada bilinen radyoaktif çekirdek sayısı 340 civarındadır. Doğal radyoaktif özellikler taşıyan elementler, periyodik cetvelin atom numaraları  $Z=81-92$  arasında kalan bölgesini kaplarlar. İnsan üzerine etkileri bakımından kozmik radyasyon ve bunların atmosferimizle etkileşmesi sonucunda meydana getirdikleri radyoaktif parçacıklar da ihmal edilemeyecek kadar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden yüksek rakımlı bölgelere çıkıldıkça radyasyon oranı önemli ölçüde artış göstermektedir.

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

**Tablo 1.** Doğal radyoaktif seriler ve bazı özellikleri.

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

### 1.3.2. Yapay Radyoaktiflik

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

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

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

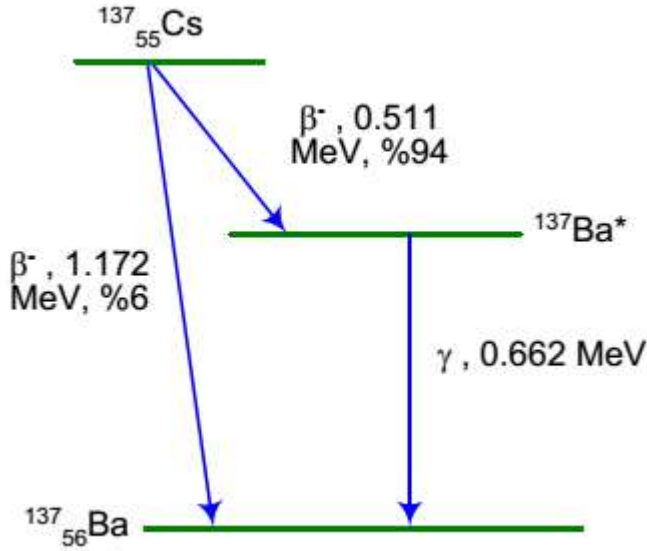
**Tablo 2.** Yapay radyoaktif çekirdekler.

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

Potasyuma benzer kimyasal özelliklere sahip alkali bir metal olan sezyumun radyoaktif izotoplarından biri olan <sup>137</sup>Cs, nükleer fisyonun önemli ürünlerinden bir tanesi olup 0,662 MeV enerjili gama bozunumu yapmaktadır (Şekil 3). Nükleer silah denemelerinden ve nükleer santral kazalarından oluşan radyoaktif serpintiden dolayı ortaya çıkan <sup>137</sup>Cs radyoizotopu; potasyuma benzer kimyasal özelliklere sahip olması, kolayca sucul ortamda çözünebilmesi, beta partikülü ve gama ışını yayması nedeniyle iç ve dış ışınlamaya sebep olması, denizel ortamda canlıların yumuşak dokularında birikerek besin zincirinde hareketli olması ve 30.14 yıl gibi uzun bir fiziksel yarı-ömre sahip olması bakımından son derece önemlidir (Livingston ve Povinec, 2000). Besin zincirinde önemli bir yere sahip olan <sup>137</sup>Cs radyoizotopu insan vücudunda kaslarda birikme eğilimindedir (Schauer, 2006). <sup>137</sup>Cs radyoizotopu tüm bu özellikleri göz



önünde bulundurulduğunda canlı sağlığını uzun süreli ve doğrudan etkilediğinden dolayı radyoekolojik izleme çalışmalarında son derece önemlidir.



Şekil 3.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin bozunma şeması (Sirin, 2018)

### 1.3.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

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

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

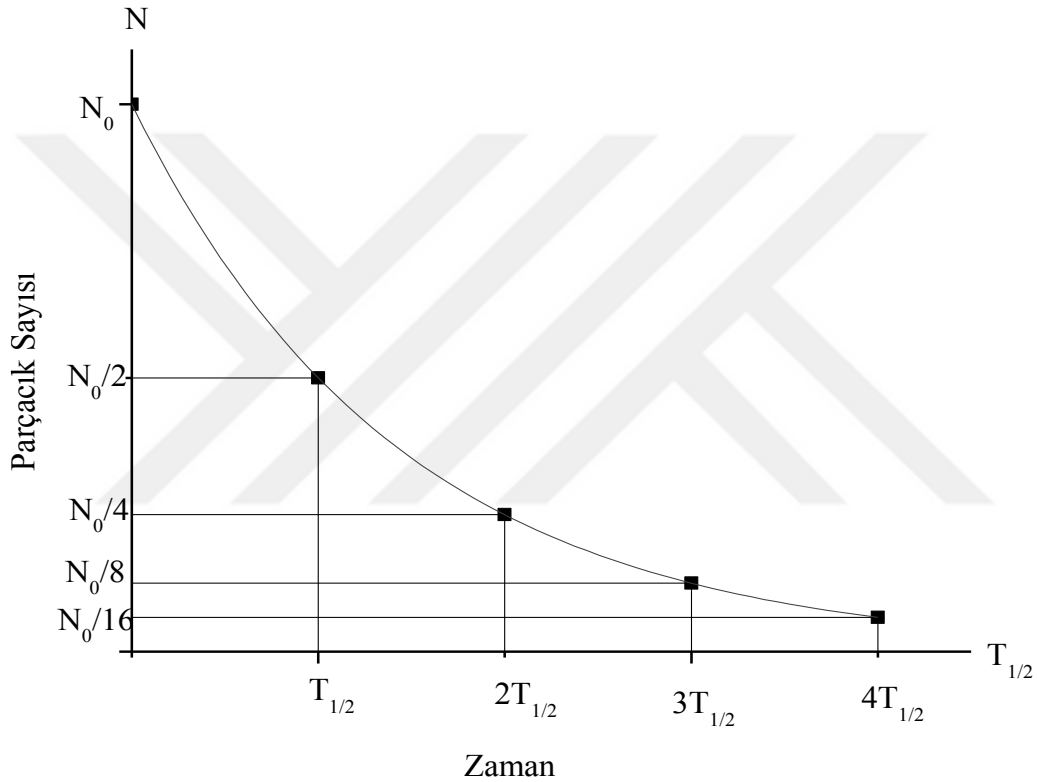
$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

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

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

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

Şekil 4'te bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denkleminin ait çekirdek sayısı değişimi vermektedir(Damla, 2009)



Şekil 4. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi.

#### 1.3.4. Peş Peşe Bozunma Kanunu

Radyoaktif bir çekirdek başka bir ürüne bozduğunda eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka bir çekirdeğe bozunur. Herhangi bir t anında,  $\lambda_1$  bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana çekirdeğin atomlarının sayısı  $N_1$ , ürün çekirdeğin atomlarının sayısı  $N_2$  ile gösterilirse, bunlar da  $\lambda_2$  bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı çekirdekteki atomların sayısı ise  $N_3$  olduğu ve  $t=0$  iken  $N_1=N_{10}$ ,  $N_2=N_{20}$ ,  $N_3=N_{30}$  olduğu farz edilsin. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

elde edilir ve bu bağıntıya ardışık bozunma bağıntısı adı verilir. 6, 8, 9 eşitlikleri yardımıyla herhangi bir  $t$  anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler,  $t = 0$  da  $N_1 = N_{10}$  ve  $N_{20} = N_{30} = 0$  özel durumlar için üretildi (Damla, 2009).

### 1.3.5. Radyoaktif Denge

#### 1.3.5.1. Geçici Denge

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

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

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan  $\lambda_2$  bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir (Uzun Duran, 2013).

#### 1.3.5.2. Sürekli Denge

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

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

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

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

elde edilir.  $\lambda_1$  çok küçük olduğundan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu açıktır (Uzun Duran, 2013).

## 1.4. Radyasyon Birimleri

### 1.4.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite birimi Becquerel (Bq) olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Becquerel ile radyoaktivitenin geleneksel birimi olan Curie (Ci) arasındaki bağıntı  $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$  (ya da  $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$ ) şeklinde ifade edilir (Altıkulaç, 2014).

### 1.4.2. 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 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.

### 1.4.3. Soğurulma doz birimi

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

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

### 1.4.4. Eşdeğer Doz Birimi

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

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

**Tablo 3.** Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri.

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

### 1.5. Gama Işınlarmın Madde ile Etkileşmesi

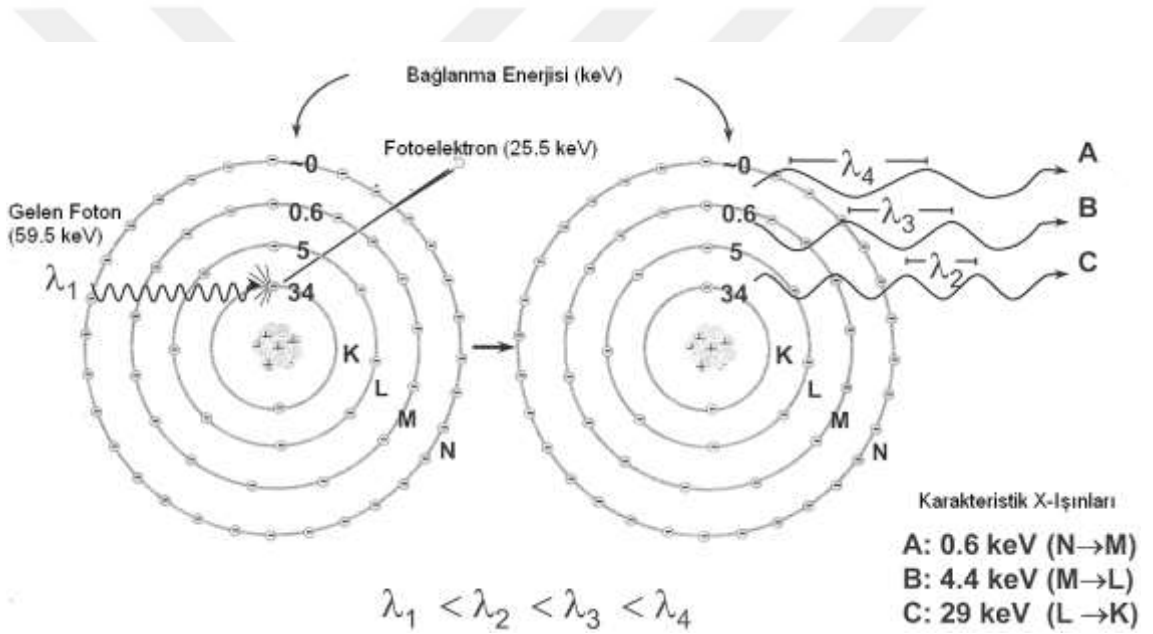
Gama ışınları, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Bir alfa veya bir beta parçacığı yayınlayan çekirdek genellikle kararlı bir durumda olmaz. Çekirdeğin kalan fazla enerjisi bir elektromagnetik radyasyon halinde yayınlanır ve çekirdek kararlı hale gelir.

Gama ışınlarının dalga boyları  $10^{-10}$  m ile  $10^{-14}$  m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede giricilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır (Damla,2009; Akçay, 2013).

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

### 1.5.1. Fotoelektrik Olay

Madde üzerine düşen fotonun madde atomunun bağlı elektronlarından bir tanesine tüm enerjisini verip bu elektronun yörüngesinden ayrılıp serbest hale gelmesi olayına fotoelektrik olay, serbest hale gelen elektrona da fotoelektron denilmektedir. Serbest bir elektron foton soğuramaz ve fotoelektron haline gelemmez. Çünkü bu durumda momentum ve enerji korunamaz. Ancak bağlı bir elektron bir foton soğurabilir ve fotoelektron haline gelebilir. Çünkü bu durumda atom geri teper ve momentum korunur. Bu işlem sırasında foton tamamen soğurulur. K kabuğu elektronlarından birinin sökülmesi ile oluşan bir fotoelektrik olay Şekil 5'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Fotoelektrik olay.

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

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

K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar

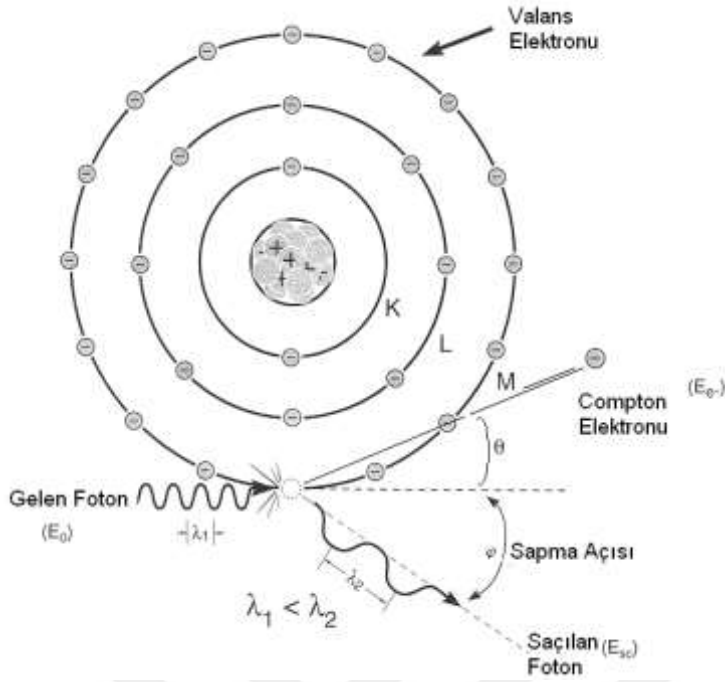
enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır.

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

### **1.5.2. Compton Saçılması**

Compton saçılması, ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren ilginç olaylardan biridir. Bu saçılmada, bir fotonun genellikle başlangıçta durgun olan serbest elektronlardan veya bağlanma enerjisi, foton enerjisine kıyasla küçük olan elektronlardan enerji kaybetmesi olarak bilinir. Bu işlemde, gelen foton serbest bir elektronla etkileşerek daha düşük bir enerji ile saçılır ve geri kalan enerji geri tepen elektron tarafından alınır. Bir atomda elektronlar gevşekçe bağlı ve gelen fotonların enerjileri nispeten büyük olduğunda, fotonların atomun bağlı elektronları tarafından saçılmalarını da Compton saçılması olarak düşünebiliriz. Bu olay Şekil 6'da gösterilmiştir (Baltaş, 2006).





**Şekil 6.** Compton saçılması.

Enerji ve momentumun korunumu bağıntılarını ve enerjinin rölativistik eşitliği kullanıldığında,

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

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

Eşitlik (14) kullanılarak saçılan fotonun enerjisi,

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

ifadesiyle verilir. Geri tepen elektronun kinetik enerjisi ise

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

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

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

ifadesi ile verilir. Burada  $\theta$ , geri tepen elektronla gelen fotonun yönü arasındaki açıdır.

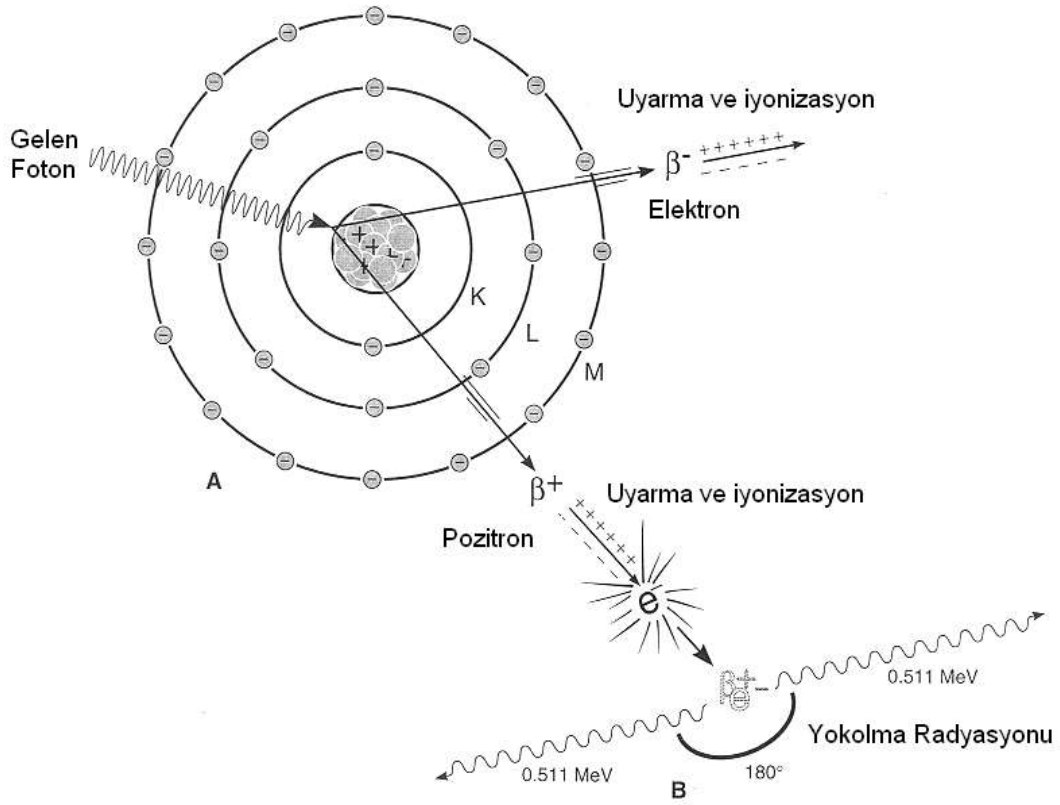
Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir (Baltaş, 2006).

### 1.5.3. Çift Oluşumu

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

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

Elektron ve pozitronun kütleleri birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Aynı zamanda bu olay çekirdek etrafında oluştuğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Yani, hem yük hem çizgisel momentum ve hem de toplam enerji korunmuş olur. Bu olay Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu olay için eşik enerjisi  $m_0c^2=0,511$  MeV 'dir. Bu nedenle çift oluşum olabilmesi için foton enerjisinin en az 1,02 MeV olması gerekir. Çift oluşumun karşıtı ise, bir elektron ile bir pozitronun yan yana gelerek bir foton çifti oluşturmak suretiyle yok olmasıdır. Bu olayın çekirdek etrafında olma zorunluluğu yoktur (Baltaş, 2006).



**Şekil 7.** Çift Oluşumu.

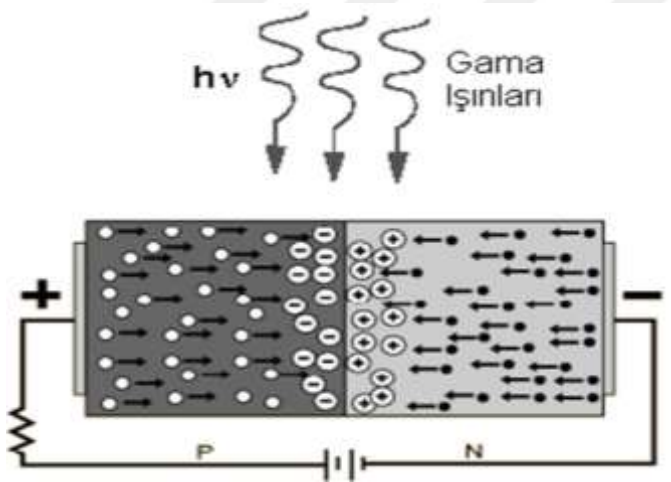
### 1.6. Gama Işını Dedektörleri

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

Bu dedektörlerin çalışması, gama ışınlarının kullanılan materyal içinde iyonlaşarak enerji kaybetmesi gerçeğine dayanır (Topyıldız, 2006).

### 1.6.1. Yarıiletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan n ve p tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme altında dedektörde, elektron ve boşluk arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron valans bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. İçerdeki elektrik alan, elektronları eklem pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Yarıiletken materyallerden özellikle yasak enerji aralığı 1 ile 5 eV olan tek kristaller dedektör yapımında kullanışlıdır. Yarıiletken materyaller içerisinde en çok kullanılan yarı iletkenler IV A grubu Silisyum ve Germanyum'dur. Şekil 8'de yarıiletken dedektörlerin basit şematik gösterimi verilmiştir (Akkoyun, 2006).



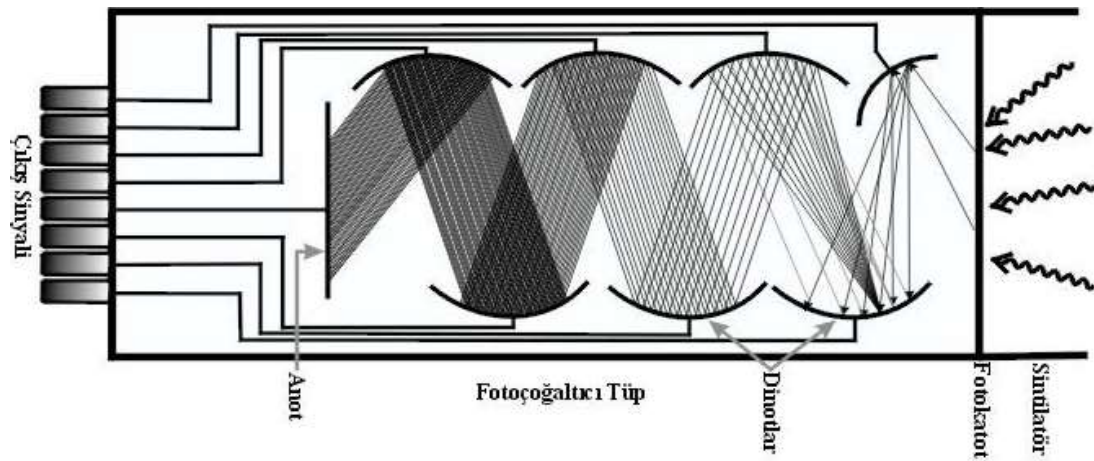
Şekil 8. Yarıiletken dedektör şeması.

### 1.6.2. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki ikilemi şöyle çözer: İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. 1) Gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış düzeye çıkaran çok fazla sayıda etkileşme yapar. 2) Uyarılmış durumlar hızla, görünür bölgede (veya görünür bölgeye yakın) ışık yayınlılar böyle materyallere fluoresans denir. 3) Işık foto duyarlı yüzeye çarparak

foton başına en çok bir fotoelektron salınmasına neden olur. 4) Bu ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsuları şekline dönüştürülür.

Bir PM (fotoçoğaltıcı) şeması Şekil 9’da gösterilmiştir. Fotokatotta az sayıda (gelen foton sayısından az) yayınlanan elektronlar dinot denen bir dizi elektrotla çoğaltılır ve odaklanırlar. Dinotlar, bir yüksek voltaj kaynağı tarafından üretilen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleriyle birleştirilmiştir. Komşu dinotlar arasındaki tipik potansiyel farkı yaklaşık 100 V ’ tur ve böylece elektronlar dinotlara 100 eV ’ lik enerji ile çarparlar. Dinotlar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden yapılır; bir elektron salınması için 2-3 eV yeterli olabilir, böylece elektron sayısında 30-50 çarpanı kadar bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rasgele doğrultularda yayınlandıkları için yüzeyde az sayıda elektron yayınlanacak, her dinotdaki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Örneğin 10 dinotlu bir tüp ile sağlanacak kazanç  $5^{10}$ ’dur. Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik , lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinotdaki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarındaki değişmelere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir (Baltaş, 2006).



Şekil 9. Bir çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.

Sintilatörler organik ve inorganik olabilirler. Gama ışın dedektörlerinde çoğunlukla kullanılan dedektörler inorganik maddeler olan sodyum iyodür (NaI) veya sezyum iyodür (CsI) gibi alkali halde (herhangi bir halojen asit tuzu) tuzlardır. Bu

maddelere foton yayınlama olasılığını arttırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak amacıyla bir miktar katkı eklenir. Bu maddeye, aktivatör (aktifleyici) denir. Talyum ve sodyum genellikle en çok kullanılan aktivatörlerdir. Genellikle pek çok dedektör, NaI(Tl) yani talyum aktifleyici ile sodyum iyodür kristali, ya da CsI(Na) yani sodyum aktifleyici ile sezyum iyodür şeklinde ifadelerle açıklanır (Akkoyun, 2006).

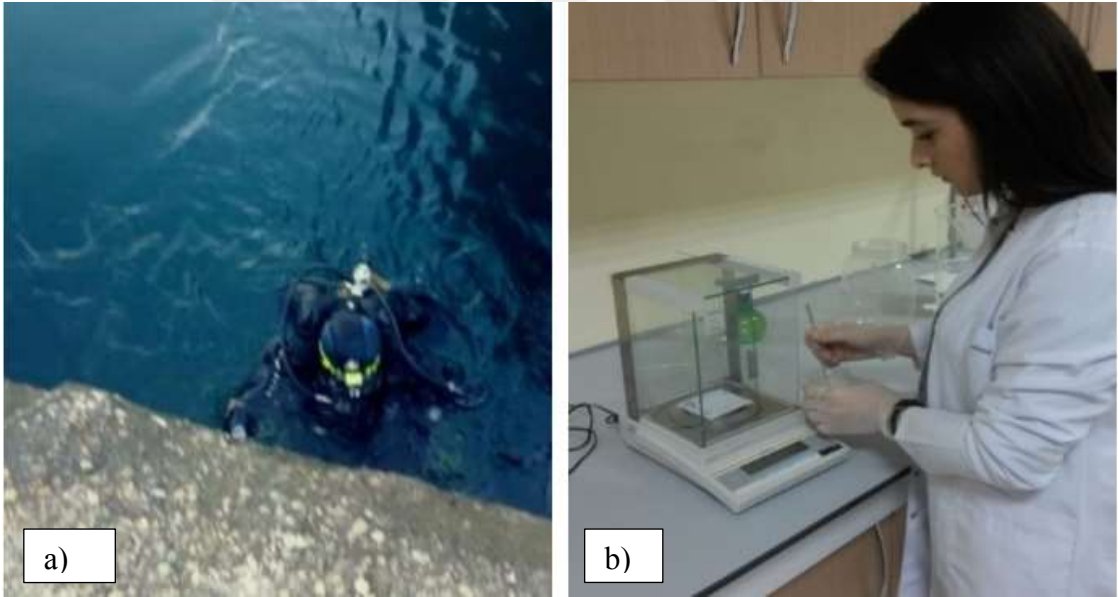


## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Araziden Örnekleme Çalışmaları

#### 2.1.1. Akdeniz Midyesi Örnekleri

Belirlenen istasyondan Rize liman içinden Akdeniz midyesi örneklemeleri 0-20 m aralığındaki istasyon sahasındaki kayalık bölgelerde serbest dalış ve scuba tekniği ile dalarak elde edilmiştir (Şekil 10 a). Akdeniz midyesi örnekleri temiz poşetlere konulup etiketlendikten sonra laboratuvar ortamına getirmek için taşınılabılır soğutucuya yerleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen örnekler, üzerine yapışan diğer organizma (epifauna) ve sedimentlerin oluşturduğu kirliliklerden, deniz suyu kullanılarak fırça ve bisturi yardımıyla temizlenip deney için hazırlanmıştır.(Şekil 10 b) (Çulha, 2010; Baltaş, 2015).



Şekil 10. a) Araştırmacımızın midye örnekleme yaparken dalışı b) Örneklerin hazırlanması.

#### 2.1.2. Deniz Salyangozu Örnekleri

Belirlenen 15 istasyondan Rize liman içinden deniz salyangozu örnekleri, istasyon bölgelerinden kiralanılan tekneler vasıtasıyla ve mekanik direç yardımı ile yumuşak zeminde, 5-40 m derinlik konturlarında yapılan çekimler ile elde edilmiştir (Şekil 11). Bu çekimlerden salyangoz elde edilemediği durumlarda araştırmacılar hazır bulunan

scuba ekipmanı kullanılarak kayalık bölgelerden örnekleme yapılmıştır (Mülayim ve Balkıs, 2015; Bat vd., 2000). Deniz Salyangozu örnekleri de midye örneklerinde olduğu gibi temiz poşetlere konulup etiketlendikten sonra laboratuvar ortamına getirmek için taşınılabılır soğutucuya yerleştirilmiştir. Laboratuvara taşınan örnekler, üzerine yapışan diğer organizma (epifauna) ve sedimentlerin oluşturduğu kirliliklerden, deniz suyu kullanılarak fırça ve bisturi yardımıyla temizlenmiştir (Çulha, 2010; Baltaş, 2015).



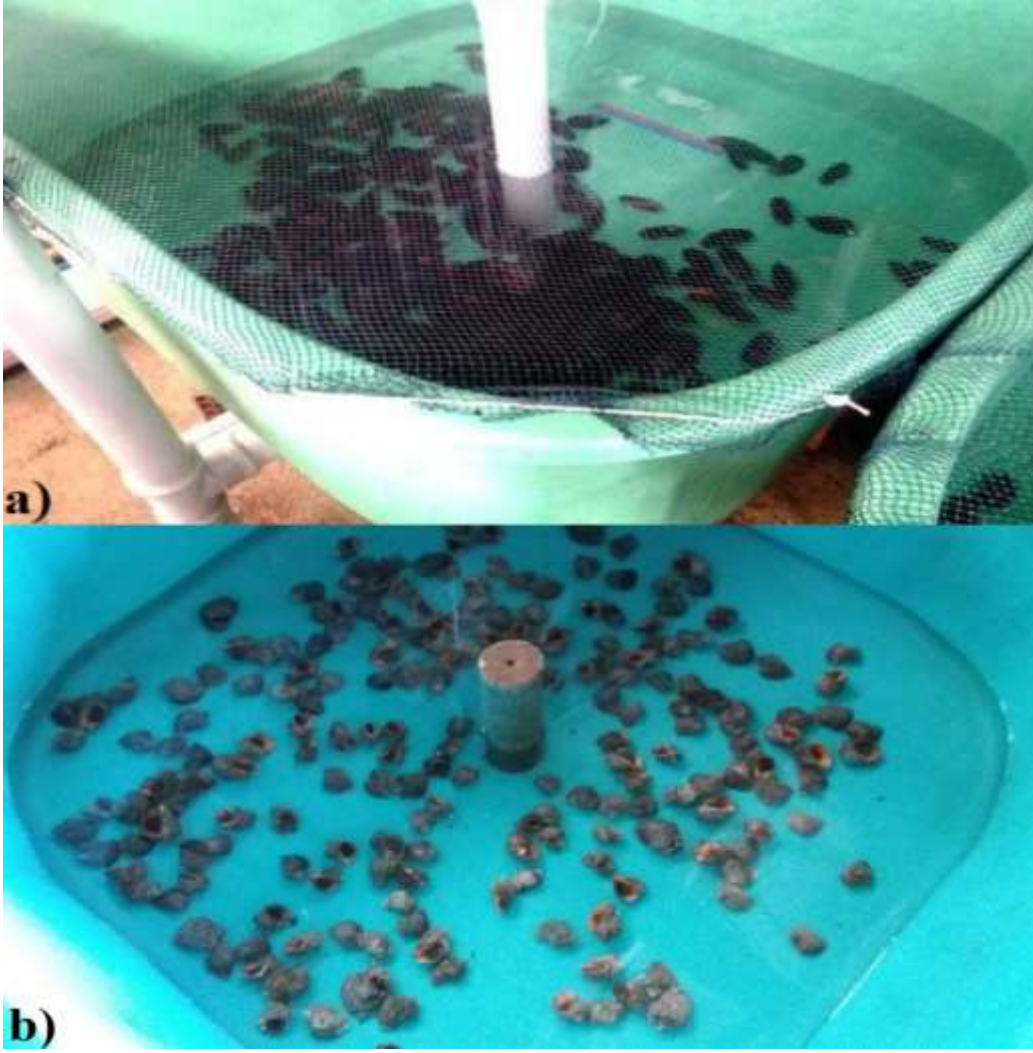
Şekil 11. Mekanik direç ile deniz salyangozu örneklemesine çıkarken

## 2.2. Biyobirikim Deneyleri

### 2.2.1. Akdeniz Midyesinde Deniz Suyundan $^{137}\text{Cs}$ Birikim Deneyi

Deneylerde kullanacağımız organizmaların laboratuvar şartlarına alışmaları için, örnekleme istasyonundan getirilen deniz suyu örneklerinde doğadaki şartlara uygun sıcaklık, pH, tuzluluk gibi parametreler oluşturulup, organizmaların hepsi bu ortamda 3 hafta süre ile Karadeniz'in ortalama sıcaklığı olan  $13\pm 2^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıktaki odada yaklaşık 30'ar litre deniz suyu konulan plastik akvaryumlarda bekletilmiştir (Şekil 12 a-b) (Güngör, 1999). Bu şekilde, kabuklu organizmaların laboratuvar şartlarımıza yeterli uyum sağladıklarının saptamak için organizmaların beslenme ve ortama yerleşmeleri, bir başka deyişle kendilerini tespit etmeleri sınanmıştır.





**Şekil 12.** a) Midye b) Deniz salyagozu örneklerinin doğadaki şartlara uygun şekilde laboratuvar şartlarına alıştırmaları

Tanklardaki organizmaların suları, deneme istasyonundan periyodik olarak getirilen ve deneylerin yapıldığı sıcaklıktaki kontrollü odalarda tutulan stoklanmış bidonlardaki sularla haftada üç defa değiştirilmiştir. Midyelere adaptasyon süresince beslenmelerini sağlamak için Üniversitemizin Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde saf kültür halinde mevcut bulunan *Monochrysis lutheri* ve *Tetraselmis suecica* türlerine ait fitoplankton kültürü kullanılmıştır.

Midyelerin bulunduğu tankların yeteri derece havalandırılması sağlanmış ve tanklarda habbeciklere neden olabilecek fazla oksijenden de kaçınılmıştır. Ayrıca tankların dışının kontamine olmasını önlemek için, tankların üzeri bir kapak ile kapatılmıştır. Deneyin yapıldığı laboratuvar titizlikle aydınlatılmıştır. Vücut büyüklüğü radyoizotopların biyokinetiğini ve dolayısıyla aktivite düzeyini önemli derecede

etkilediğinden, deneyler için yaklaşık aynı boy ve ağırlığa sahip midye örnekleri seçilmiştir. Birikim deneyinde iki farklı boy grubu (Küçük boy (<50 mm), Büyük boy (70 mm>)) Akdeniz midyesi örnekleri ile çalışılmıştır. Deniz suyunda kabul edilebilir pH değeri 7,5-8,3 arasında olduğundan akvaryumların pH'ı  $7,51 \pm 1,20$  değerine ayarlanmıştır (Şekil 13). Ayrıca, akvaryumlardaki deniz suyunun sıcaklığı  $13,4 \pm 2,0$  °C'ye, tuzluluğuda ‰ 16'ya ayarlanmıştır (Şekil 13) (Onat ve Topçuoğlu, 1999). Daha sonra, laboratuvar şartlarına alıştıırılan midye örnekleri için  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu birikimi araştırması başlatılmıştır.



**Şekil 13.** Kabul edilebilir deniz suyu değerlerinin prob ile ölçülmesi.

Biyobirikim deneyleri kapalı sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Akdeniz midyesi örnekleri için 40'ar litrelik cam akvaryumlar kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce her iki boy midye örnekleri için iki adet akvaryum oluşturulmuştur. Bu akvaryumlar örnekleme istasyonundan alınan deniz suyu ile 40'ar litre olacak şekilde doldurulmuştur. Sıcaklık, pH ve tuzluluk gibi fiziko-kimyasal parametreler organizmaların metabolizmasını etkileyeceğinden, deney süresince tüm bu parametreler ile ortamın sıcaklığı sabit tutulmuştur. Laboratuvar şartlarına alıştıırılan midye

örneklerine aktive edilmiş su ilavesi yapılmadan önce taban durumun radyoaktivite ölçümünün yapılması için her iki boy grubundan 7'şer adet midye örnekleme yapılmıştır. Daha sonra, her iki boy grubundan 250'şer adet midye örmeği sudan  $^{137}\text{Cs}$  birikimi için oluşturulan akvaryumlara yerleştirilmiştir (Şekil 14) ve oluşturulan 40 litrelik akvaryumlar içerisine Eckert & Ziegler Isotope Products firmasından temin ettiğimiz 1,85 kBq aktiviteye sahip 100 mL'lik radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  solüsyonundan 20 mL ilave edilerek akvaryumdaki deniz suyu aktivite edilmiştir. Aktive edilmiş akvaryumda Akdeniz midyesi örnekleri belirli bir süre bekletilerek  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesine maruz bırakılmıştır. Midye örneklerine bu esnada fitoplankton türü organizmalar verilerek beslenmesi sağlanmıştır. Belli bir süre (radyoaktif denge durumu oluşuncaya kadar) bu şekilde midyelerde birikim sağlanmış ve proje planlamasında belirlenen örnekleme günlerinde (Örnekleme günleri 1., 2., 4., 7., 10., 14., 17., 21., 24., 28., 31., 35., 42., 45., 49. gün) her boy grubundan 7 örnek ve akvaryumdaki deniz suyundan 30 ml alınarak radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin ölçümü için laboratuara getirilmiştir.



Şekil 14. Akdeniz midyesinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun sudan birikimi.

### 2.2.2. Deniz Salyangozunda Deniz Suyundan $^{137}\text{Cs}$ Birikim Deneyi

Midye örneklerinin birikim deneyinde olduğu gibi deniz salyangozu örnekleri Rize liman içinden alınmıştır. Salyangoz örneklerinin laboratuvar ortamına adaptasyonu

için midye örneklerinde uygulanan aynı prosedür işlenmiştir. Deniz salyangozu karnivor bir canlı olduğundan, deniz salyangozu örnekleri laboratuvar ortamına adaptasyon süresince örnekleme istasyonu olan Rize liman içinden getirilen Akdeniz midyeleri ile beslenmiştir.

Akdeniz midyesinin sudan birikim yönteminde olduğu gibi her boy grubu salyangoz örnekleri için iki adet akvaryum hazırlanmıştır ve bu akvaryumlardaki sıcaklık, tuzluluk ve pH parametreleri midye örneklerinin birikim deneyinde olduğu gibi ayarlanmıştır. Daha sonra, akvaryumlara 1,85 kBq aktiviteye sahip 100 mL'lik radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  solüsyonundan 20 mL ilave edilmiştir ve bu akvaryumlara her iki boy grubundan 250'şer adet salyangoz örneği konulmuştur. Oluşturulan akvaryumlara salyangoz örnekleri konulmadan önce her boy grubu salyangoz örneklerinden taban durumun  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesini belirlemek için 7'şer adet örnekleme yapılmıştır. Aktive edilmiş akvaryumda deniz salyangozu örnekleri belirli bir süre bekletilerek  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesine maruz bırakılmıştır (Şekil 15). Deniz salyangozları bu esnada Akdeniz midyesi eti (yumuşak doku) ile beslenmiştir. Belli bir süre bu şekilde canlılarda birikim sağlanmış ve proje planlamasında belirlenen örnekleme günlerinde (Örnekleme günleri 1., 2., 4., 7., 10., 14., 17., 21., 24., 28., 31., 35., 42., 45., 49. gün) her boy grubundan 7 örnek ve akvaryumdaki deniz suyundan 30 ml alınarak radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  değerlerinin ölçümü için laboratuvara getirilmiştir.



**Şekil 15.** Deniz salyangozunda  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun sudan birikimi.

### 2.3. Biyoatılım Deneyleri

Birikim deneyinde kullanılan radyoaktif dengeye gelen midye ve deniz salyangozu örneklerinden belirli miktarda alınan örnekler, iki farklı boy midye ve deniz salyangozu örnekleri bir arada olacak şekilde iki adet akvaryum hazırlanmıştır. Organizmalar daha sonra bu akvaryumlara yerleştirildikten sonra atılım deneyine başlanmıştır. Organizmalar Şekil 16'de görüldüğü gibi temiz Karadeniz suyu akan akarsu sistemine, su akışı saatte yaklaşık 2 litre olacak şekilde yerleştirilmiştir. Laboratuvar şartları birikim deneyi için hazırlanan şartlarda olup, bir başka deyişle  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklık, pH değeri  $7,6\pm 0,8$  ve %18.75 tuzlulukta tutulmuştur (Onat ve Topçuoğlu, 1999). Örneklemeler 0., 1., 2., 4., 7., 10., 14., 17., 21., 24., 31., 35., 38., 45., 52. ve 59. günlerde gerçekleştirilerek, her boy grubundan 7 örnek ve akvaryumdaki deniz suyundan 30 ml alınarak radyoaktif  $^{137}\text{Cs}$  değerlerini belirlemek için hazır hale getirilmiştir. Yaklaşık iki ay süreyle  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotoplarını sudan biriktirmiş olan midye ve deniz salyangozu örneklerinin, deneye başlamadan önce radyoaktivite ölçümü yapılmış ve elde edilen sayım değerleri  $t=0$  zamanı için kaydedilmiştir. Akan deniz suyuna alınan Akdeniz midyesi örnekleri birikim deneyinde bahsedilen fitoplankton türleri ile salyangoz örnekleri de midye eti ile ad libitum (sürekli) olarak beslenmiştir (Onat ve Topçuoğlu, 1999).



**Şekil 16.** Temiz deniz suyu akarsu sisteminde midye ve deniz salyangozu örnekleri için atılım deneyi.

## **2.4. Örneklerin Radyoaktivite Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi**

### **2.4.1. Biyobirikim Deneyinden Elde edilen Örneklerin $^{137}\text{Cs}$ Aktivitesi Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi**

#### **2.4.1.1. Midye Örnekleri**

Belirlenen günlerde birikim deneyinde örnekleme yapılan midye örnekleri taşınabilir soğutucu ile canlı olarak laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 17a). Midye örnekleri sayıma alınmadan önce yarım saat süre ile radyoaktif olmayan temiz deniz suyuna alınarak kabukları ile yumuşak doku arasındaki su ve kabuğun dış yüzeyine bulaşmış bulunan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopundan arınması beklenmiştir. Midyelerin arınma işlemi bittikten sonra, bissus ve kabuğa yapışmış olan materyal kaldırılmıştır. Bisturi ile açılan midyenin sadece yumuşak kısımları değil, kabukların içindeki internal vücut sıvısı da alınmıştır. Kabuk ve yumuşak doku kısımları ayrılmıştır (Şekil 17b) (Kılıç vd., 2014; Güngör, 1999). Yumuşak dokular kabuklardan ayrıldıktan sonra ayrı ayrı 30

ml'lik silindirik polietilen kaplara konulup hava almayacak şekilde ağızları kapatılıp  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktivitesini ölçmek üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 17(c-d)).



**Şekil 17.** a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen Akdeniz midyesi örnekleri b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy midye örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.

#### 2.4.1.2. Deniz Salyangozu Örnekleri

Belirlenen günlerde yapılan örneklemeler taşınabilir soğutucu ile canlı olarak laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 18a).

Deniz salyangozu örnekleri sayıma alınmadan önce yarım saat süre ile radyoaktif olmayan temiz deniz suyuna alınarak kabukları ile yumuşak doku arasındaki su ve kabuğun dış yüzeyine bulaşmış bulunan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopundan arınması beklenmiştir. Bu işlemlerden sonra deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokuları kabuklarından ayrılmıştır (Kılıç vd., 2014; Güngör, 1999; Onat ve Topçuoğlu, 1999). Bu ayırma işleminde paslanmaz çelikten yapılmış pens tercih edilmiştir (Şekil 18b). Daha sonra yumuşak dokular kabuklardan ayrıldıktan sonra ayrı ayrı 30 ml'lik silindirik polietilen kaplara konulup hava almayacak şekilde ağızları kapatılıp  $^{37}\text{Cs}$  radyoaktivitesini ölçmek üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 18(c-d)).

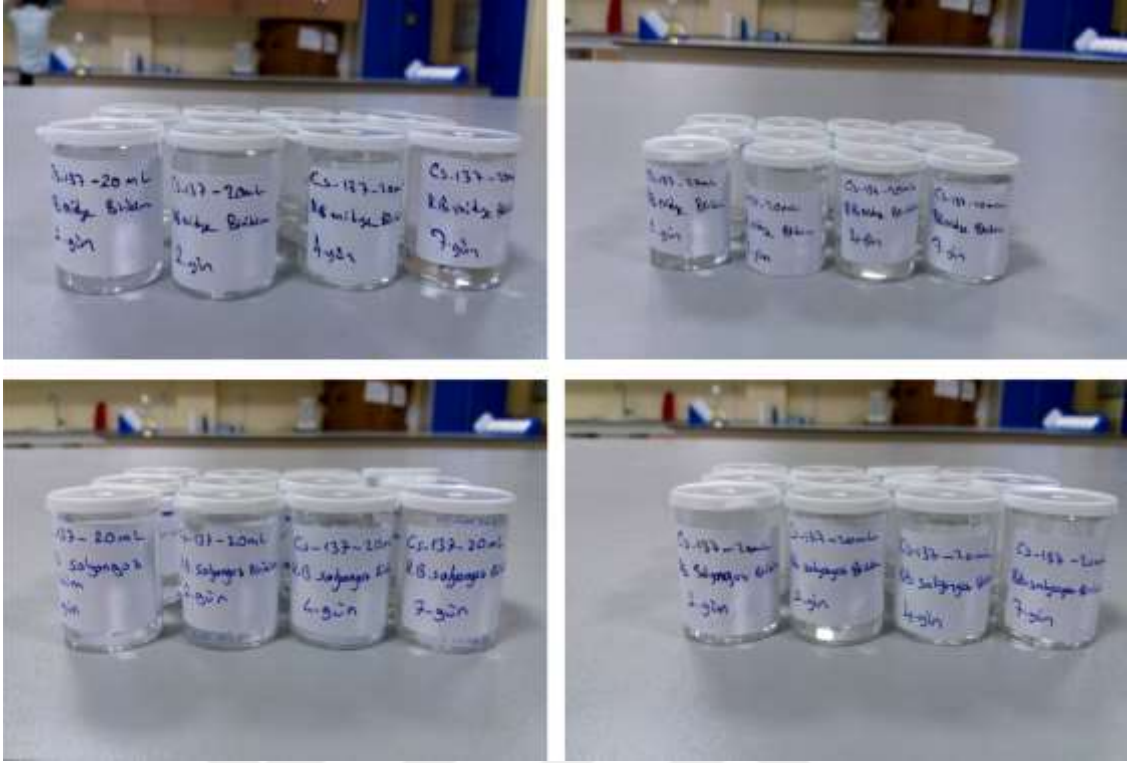


**Şekil 18.** a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen deniz salyangozu örnekleri b) Deniz salyangozu örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.

#### 2.4.1.3. Deniz suyu örnekleri

Sudan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu birikimi deneylerinde örnekleme günlerinde alınan su örnekleri 30 ml'lik polietilen kaplara alınıp ağızları hava almayacak şekilde sıkıca kapatılıp etiketlenerek  $^{37}\text{Cs}$  radyoaktivitesini belirlemek üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 19).





**Şekil 19.** Midye ve salyangoz örneklerinin birikim deneylerinde örnekleme günlerinde örneklenen deniz suyu örneklerinin günlere göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi

## 2.4.2. Biyotatım Deneyinden Elde edilen Örneklerin $^{137}\text{Cs}$ Aktivitesi Ölçümü İçin Hazır Hale Getirilmesi

### 2.4.2.1. Midye Örnekleri

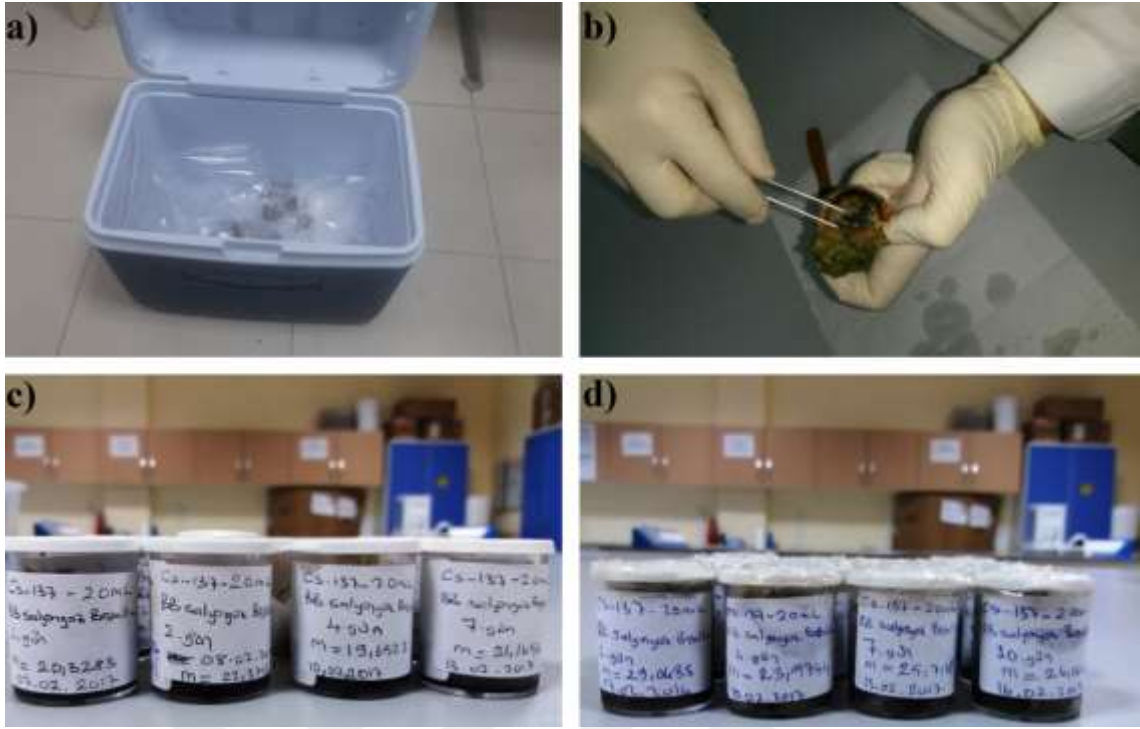
Proje planlanmasında belirlenen günlerde atılım deneyinden örneklenen midye örneklerinin ölçümlere hazır hale getirilmesi için birikim deneyindeki örnek hazırlama prosedürün aynısı uygulanmıştır (Kılıç vd., 2014; Güngör, 1999). Örneklerin laboratuara getirilmesi ve hazırlık aşaması Şekil 20’de verilmiştir.



**Şekil 20.** a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen midye örnekleri b) Midye örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy midye örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi.

#### 2.4.2.2. Deniz Salyangozu Örnekleri

Proje planlanmasında belirlenen günlerde atılım deneyinden örneklenen deniz salyangozu örneklerinin ölçümlere hazır hale getirilmesi için birikim deneyindeki örnek hazırlama prosedürün aynısı uygulanmıştır (Kılıç vd., 2014; Güngör, 1999). Örneklerin laboratuara getirilmesi ve hazırlık aşaması Şekil 21’de verilmiştir.



**Şekil 21.** a) Taşınabilir soğutucu ile laboratuvar ortamına getirilen deniz salyangozu örnekleri b) Deniz salyangozu örneklerinde yumuşak dokuların kabuklardan ayrılması c,d) Büyük ve küçük boy deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularının günlere ve boylara göre ayrı ayrı kaplara konulup etiketlenmesi

## 2.5. Yöntem

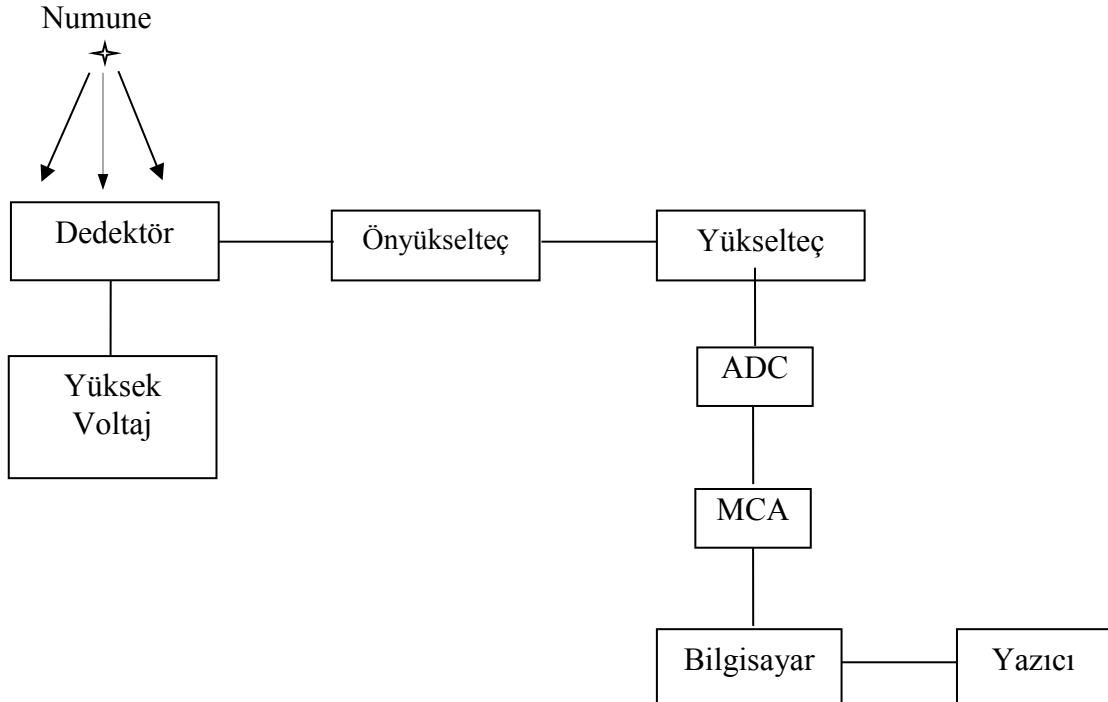
### 2.5.1. Deney Sistemi

Örneklerin radyoaktiflik ölçümleri için 1332,5 keV'de 1,9 keV ayırma gücüne ve % 55' lik relatif verime sahip olan ORTEC marka GEM55P4-95 model HPGe detektörü kullanıldı. Şekil 22'te gama spektrometre sisteminin genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 22. Gama spektrometre sisteminin genel görünüşü.

Gama spektrometresi, dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) ibarettir. Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sisteminin şeması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Gama spektrometre sisteminin blok diyagramı.

Sistemde bulunan üniteler ayrı ayrı aşağıda açıklanmıştır.

a) Dedektör

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

b) Yüksek Voltaj Ünitesi

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

c) Önyükselteç

Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar. Önyükselteç'in ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etkili transistor'dür. Elektronik gürültüyü en düşük seviyeye indirmek için, genellikle bir alan-etkili transistor (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektörle aynı oranda soğutulur, yani sıvı azot kaynama sıcaklığında (-196 °C) muhafaza edilir.

d) Yükselteç

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

bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir.

#### e) Analog Dijital Çevirici (ADC)

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

#### f) Çok Kanallı Analizör (MCA)

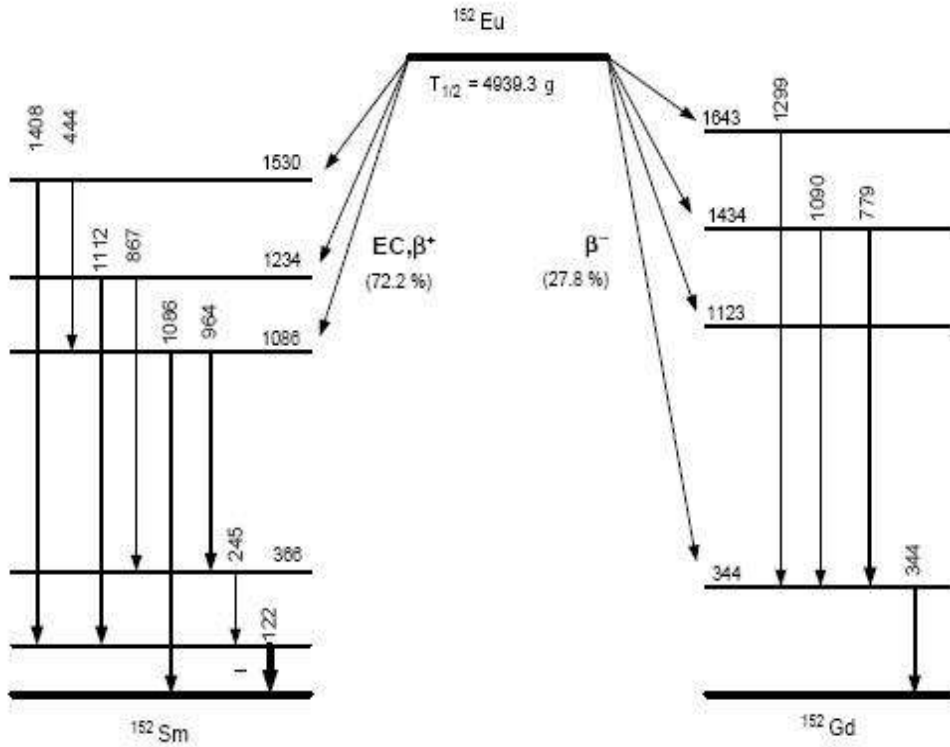
Çok kanallı analizörler, genellikle puls yüksekliği analizi yapan cihazlardır, MCA'daki en önemli devre veya bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür. Burada, gelen her puls, sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle pikler oluşur (Damla, 2009; Uzun Duran, 2013).

### 2.5.2. Deneysel Yöntem

#### 2.5.2.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilmesi için, her kanalın hangi enerji değerine karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri belirlenebilir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan (TAEK) temin edilen Eu-152 radyoaktif kalibrasyon kaynağının bozunma şeması Şekil 24'da ve kaynağa ait bilgiler Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 24.  $^{152}\text{Eu}$ 'nin bozunma şeması.

Tablo 4.  $^{152}\text{Eu}$  kalibrasyon kaynağının özellikleri.

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

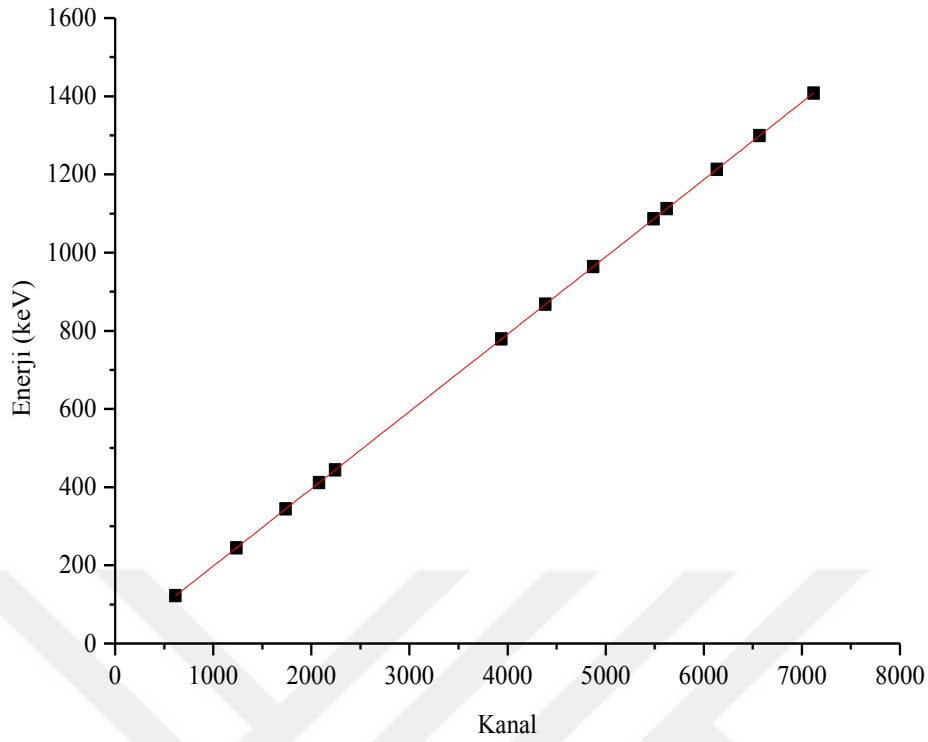
Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edildi (Tablo 5).

**Tablo 5.** Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri.

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

Dedektör yardımı ile enerji kalibrasyonu için standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edilmiştir. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 25’de gösterilmiştir.





Şekil 25. Enerji-Kanal grafiği.

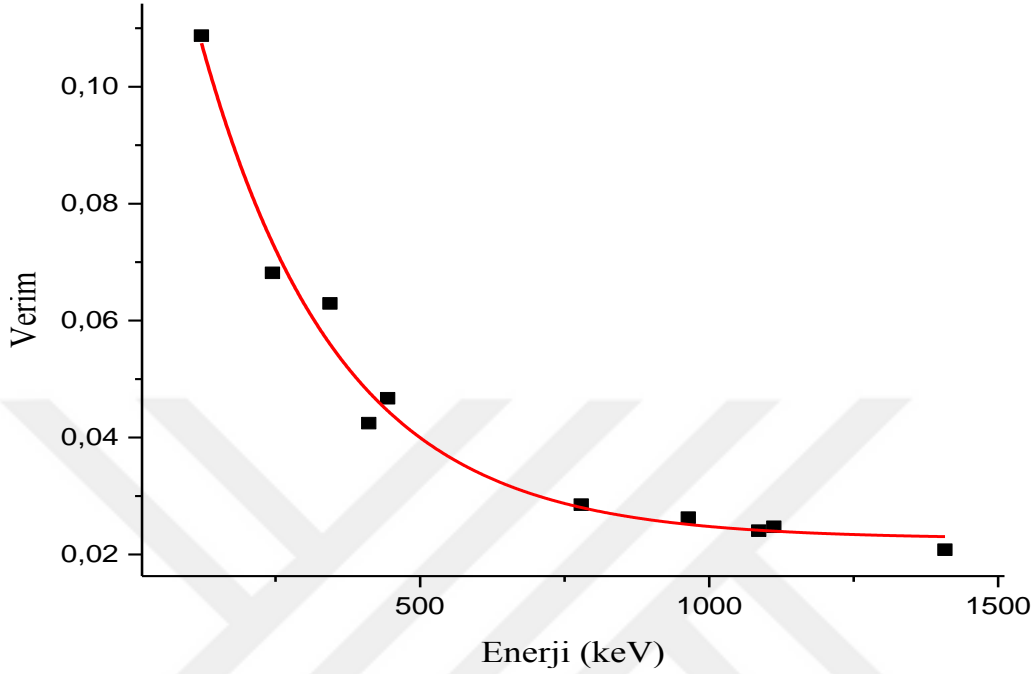
### 2.5.2.2. Verim Kalibrasyonu

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

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

Burada HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi  $\varepsilon$ , pikin net alanı s, sayma süresi t, gama ışınının salma hızı  $I_{\gamma}$  ve N kullanılan standart kaynağın sayım günündeki aktivitesidir. Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanan  $\varepsilon$  değerlerine karşılık gelen enerji verim eğrisi elde edilmiştir (Şekil 26). Verimin güvenilirliği

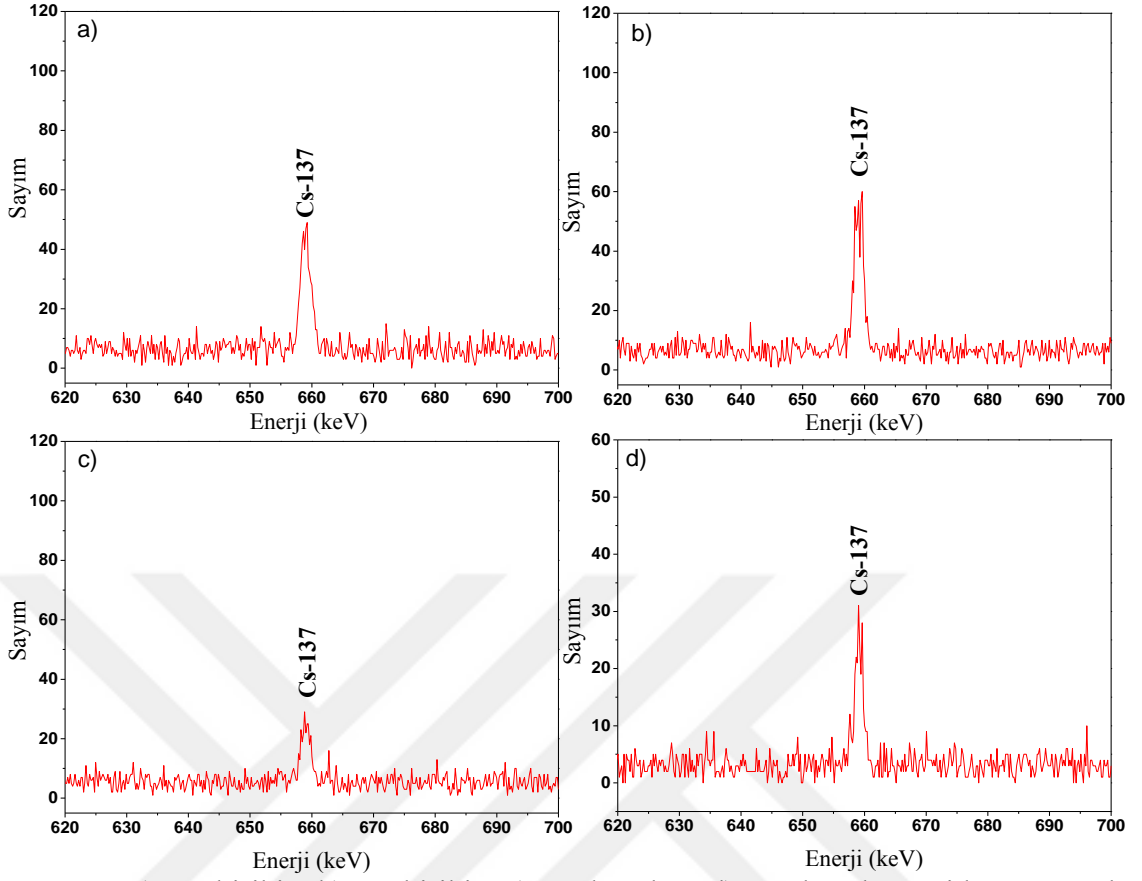
Uluslararası Atom Enerji kurumunun (IAEA-375) referans materyali ile periyodik olarak test edilmiştir.



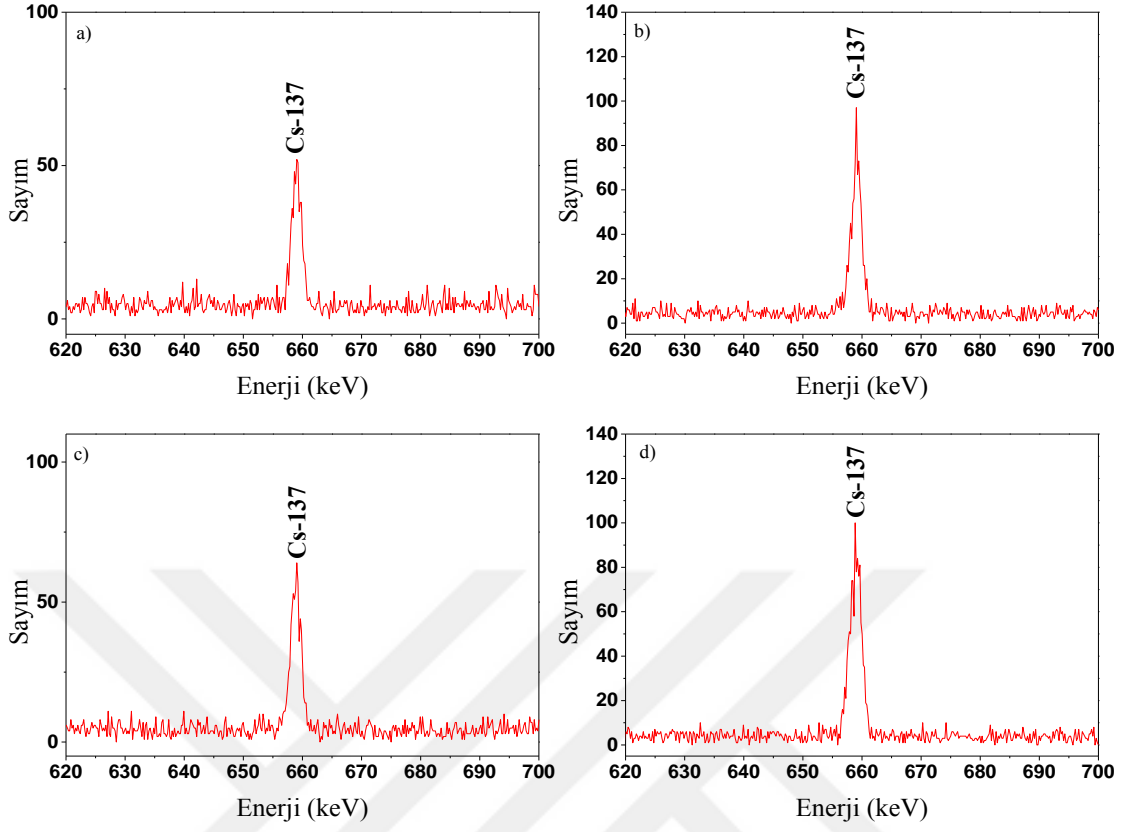
Şekil 26. Enerji-Verim eğrisi.

### 2.5.3. Spektrumların Alınması

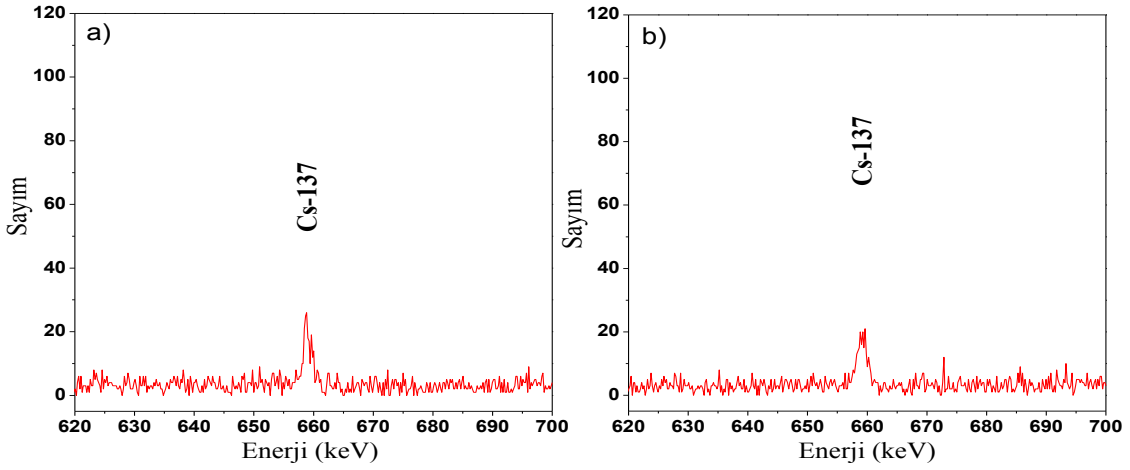
Birikim ve atılım deneylerinden örnekleme günlerinde elde edilen deniz suyu, midye ve salyangoz yumuşak doku örnekleri için direkt ölçümlere geçilmiştir. Sayımlarda kullanılan HPGe dedektörünün besleme voltajı yaklaşık 5000 V'tur. Sayım programı olarak Genie-2000 kullanılmıştır. Numuneler, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konulmuştur. Numune sayım süresi 15 örnekleme istasyonundan toplanan birikim ve atılım deneylerinden elde edilen midye yumuşak doku, deniz salyangozu yumuşak doku ve deniz suyu örnekleri için 50000 s olarak seçilmiştir. Bu süreler sonunda numunelerden yayınlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar elde edilmiştir. Birikim ve atılım deneylerinden elde edilen midye ve salyangoz yumuşak doku örnekleri ve birikim deneyinden elde edilen deniz suyu örnekleri için örnek gama spektrumları Şekil 27-29'de gösterilmiştir.



**Şekil 27.** a) KB birikim b) BB birikim c) KB boşaltım d) BB boşaltım midye yumuşak doku örnekleri için gama spektrumu örneği



**Şekil 28.** a) KB birikim b) BB birikim c) KB boşaltım d) BB boşaltım deniz salyangozu yumuşak doku örnekleri için gama spektrumu örneği



**Şekil 29.** a) Mıdye ve b) Deniz salyangozu birikim deneylerinden örneklenen deniz suyu örneklerinin gama spektrumu örneği

### 2.5.3.1. Pik belirleme ve Değerlendirme

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

Tablo 6'da  $^{137}\text{Cs}$  için (661,6 keV) alınan enerjiler ve salma hızları gösterilmiştir (Bakkal, 2012; İlter, 2014) .

**Tablo 6.** Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdek ve salma hızı.

İzotop	Gama Enerjisi (keV)	Salma hızı (%)
$^{137}\text{Cs}$	661,6	85

### 2.5.3.2. Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite

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

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

burada B arkaplan radyasyon değeri, w numune miktarı (kg) ve t süredir. Dedektörle algılanan radyonüklidlerin minimum dedekte edilebilir aktivite değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Dedektörle algılanan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunu minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) değerleri.

Radyoaktif Çekirdek	Akdeniz Midyesi (Bq kg <sup>-1</sup> )	Deniz Salyangozu (Bq kg <sup>-1</sup> )
$^{137}\text{Cs}$	0,05	0,04

### 2.5.3.3. Aktivite Hesabı

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

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

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

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

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

Burada  $\Delta A$  aktivitedeki belirsizlik,  $\Delta CR$  saniyedeki sayıdaki belirsizlik,  $\Delta \varepsilon$  verimdeki belirsizlik,  $\Delta I_{\gamma}$  gama ışını salma hızındaki belirsizlik ve  $\Delta w$  numune miktarındaki belirsizliktir. Bu şekilde elde edilen belirsizlikler %3 ile %7 aralığında bulunmuştur.

HPGe detektörünün enerji ve verim kalibrasyonu yapıldıktan sonra, temin ettiğimiz midye (IAEA-437) radyoaktif referans malzemesi sistemde 3 tekrarlı olarak okutuldu ve ortalaması alınarak cihazın doğruluğu tespit edildi. Sertifika edilmiş konsantrasyon değerleri ve HPGe detektöründe ölçülen değerler Tablo 8'da verilmiştir.

**Tablo 8.** Sertifikalı referans malzeme Midye (IAEA-437) örneğinin radyoaktiflik konsantrasyon sonuçları

Element	Midye		
	Sertifika Değeri	Ölçülen Değer	Geri Kazanım (%)
<sup>137</sup> Cs	0,14 (0,11–0,23)	0,16 ± 0,01	114

## 2.6. İstatistiksel Analiz

Midye ve deniz salyangozu örneklerinin <sup>137</sup>Cs aktiflik konsantrasyonlarının hesaplanmasında, yaş ağırlık değerleri kullanılmış ve sonuçlar Bq kg<sup>-1</sup> olarak verilmiştir. Akdeniz midyesi ve deniz salyangozu yumuşak doku örneklerinde hesaplanan konsantrasyon değerleri boylara göre gruplandırılmıştır. Gruplandırılan bu veriler SPSS (IBM SPSS Statistics 21) ortamına aktarılmıştır. Belirlenen radyoizotop konsantrasyon değerlerinin normal dağılışa uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile test edilmiştir. Normallik sağlayan grupların önemlilik testi Bağımsız T-testi ile değerlendirilmiştir. Normallik sağlamayan grupların önemlilik testi ise Kruskal-Wallis testini izleyen Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. Akdeniz midyesi yumuşak doku ve deniz salyangozu yumuşak doku örneklerinde boylara göre ölçülen aktiflik konsantrasyon sonuçlarında farklılıklar test edilmiştir. Bütün istatistiksel analizler bilgisayar ortamında SPSS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Akdeniz Midyesi ve Deniz Salyangozu Örneklerinde Birikim ve Atılım Kinetikleri

Ülkemiz ve diğer denizel ortamlarda yapılan biyokinetik çalışmalar incelendiğinde en yüksek konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerleri farklı midye ve deniz salyangozu türleri incelendiğinde tüm yumuşak dokuda tespit edilmiştir. Bu yüzden, çalışmamız boyunca midye ve deniz salyangozunun kabuk dahil tüm vücudu yerine tüm yumuşak dokulardaki <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun birikimi dikkate alınmıştır (Metian vd., 2011; Güngör, 2001; Pouil vd., 2015; Kalaycı vd., 2013).

##### 3.1.1. Su Yolu ile <sup>137</sup>Cs Radyoizotopunun Midye ve Deniz Salyangozu Örneklerinde Biyobirikim Deneyi Sonuçları

<sup>137</sup>Cs radyoizotopunun su yolu ile birikim kinetiği her iki boy Akdeniz midyesi ve deniz salyangozunda incelenmiştir. Radyonüklidlerin farklı taksonomik gruplardaki birikimi farklı yollardan oluşmaktadır. Organizmanın yaşadığı ortamda sudan biriktirdiği radyonüklidin denge durumu oluştuğunda konsantrasyon faktörü terimi kullanılır. Konsantrasyon faktörü ifadesi, canlı organizmanın birim yaş ağırlığındaki (kg) ortalama aktivitenin, deney suyundaki hacme (litre) düşen aktivite miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Konsantrasyon faktörü değerleri (32) bağıntısına göre hesaplanmıştır (Antovic ve Antovic, 2011). Midye ve salyangoz örneklerinin tüm yumuşak doku örneklerinde günlere göre hesaplanan konsantrasyon faktörü değerleri sırasıyla Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir.

$$KF = \frac{Bqkg^{-1}(\text{Organizmada})}{BqL^{-1}(\text{Deniz Suyunda})} \quad (32)$$

Burada,

KF : Konsantrasyon faktörü

Bqkg<sup>-1</sup> : Organizmanın (Akdeniz midyesi/Deniz salyangozu) birim ağırlığı (kg) başına düşen net (background çıkartılmış) aktivite değeri



$BqL^{-1}$  : Suyun litresi başına düşen net (background çıkartılmış) aktivite değeri

Lineer başlayan birikim zamanla doyum noktasına ulaşmakta ve eksponansiyel bir eğri halini almaktadır. Radyonüklid organizmada doyum noktasına ulaşana kadar canlı tarafından hem birikmekte hem de atılmaktadır. Radyosezyumun canlı tarafından alınması ve atılması kütle dengelenmesi sağlanana kadar devam etmektedir. Midye ve salyangozun yumuşak dokusunda  $^{137}Cs$ 'nin birikim kinetikleri basit eksponansiyel kinetik model tarafından Origin Pro. 9 programında fit edilmiştir (Prihatiningsih vd., 2016; Metian vd., 2011) ve her iki boy midye ve deniz salyangozu örnekleri için fit grafikleri Şekil 30, Şekil 31, Şekil 33 ve Şekil 34'da verilmiştir. Ayrıca her iki boy midye örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan konsantrasyon faktörleri değişiminin karşılaştırılması şekil 32'de, her iki boy deniz salyangozu örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan konsantrasyon faktörleri değişiminin karşılaştırılması şekil 35'de verilmiştir. Fit denklemi,

$$KF_t = KF_{ss}(1 - e^{-k_e t}) \quad (33)$$

olarak verilmektedir (Metian vd., 2011; Sezer vd., 2014). Burada;

$KF_t$  : t zamanındaki konsantrasyon faktörü,

$KF_{ss}$  : Denge durumundaki konsantrasyon faktörü

$k_e$  : Biyolojik atılım oranı sabiti

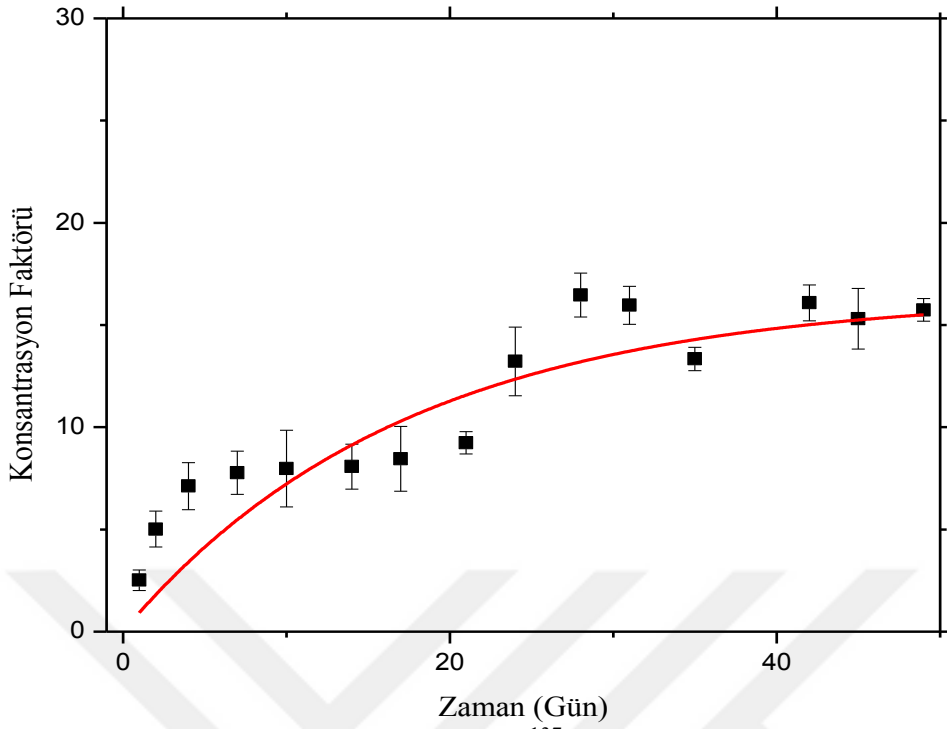
Ayrıca, bir radyonüklidin bir organizma içinde geçirmiş olduğu süreye “kalış süresi” (turnover time) denir ve  $\tau=1/k_e$  olarak gösterilir. Organizmaya birim zamanda giren veya çıkan madde miktarına “akı” (flux) (I) denir ve aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$I = KF_{ss}\tau^{-1}(Bq/g/gün) \quad (34)$$

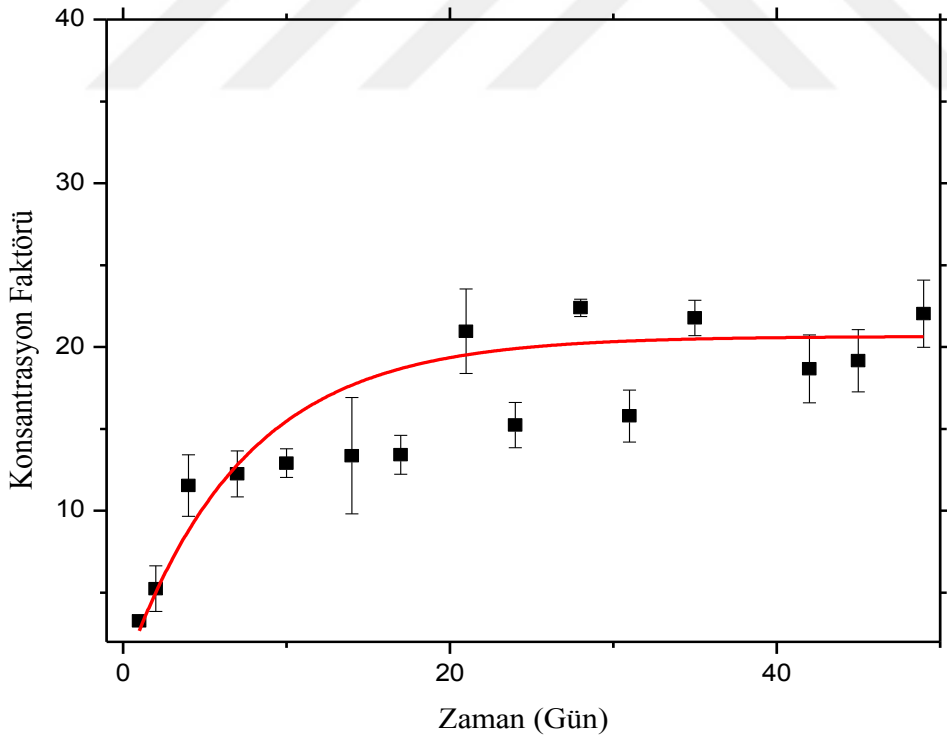
Her iki boy midye ve deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularında incelenen birikim kinetiklerine ait fit denklemlerinden elde edilen denge durumu konsantrasyon faktörleri, alım oranı sabitleri, akı ve kalış süresi değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

**Tablo 9.** Birikim deneyinde örneklenen Akdeniz midyesi örneklerinde <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun konsantrasyon faktörü değerleri

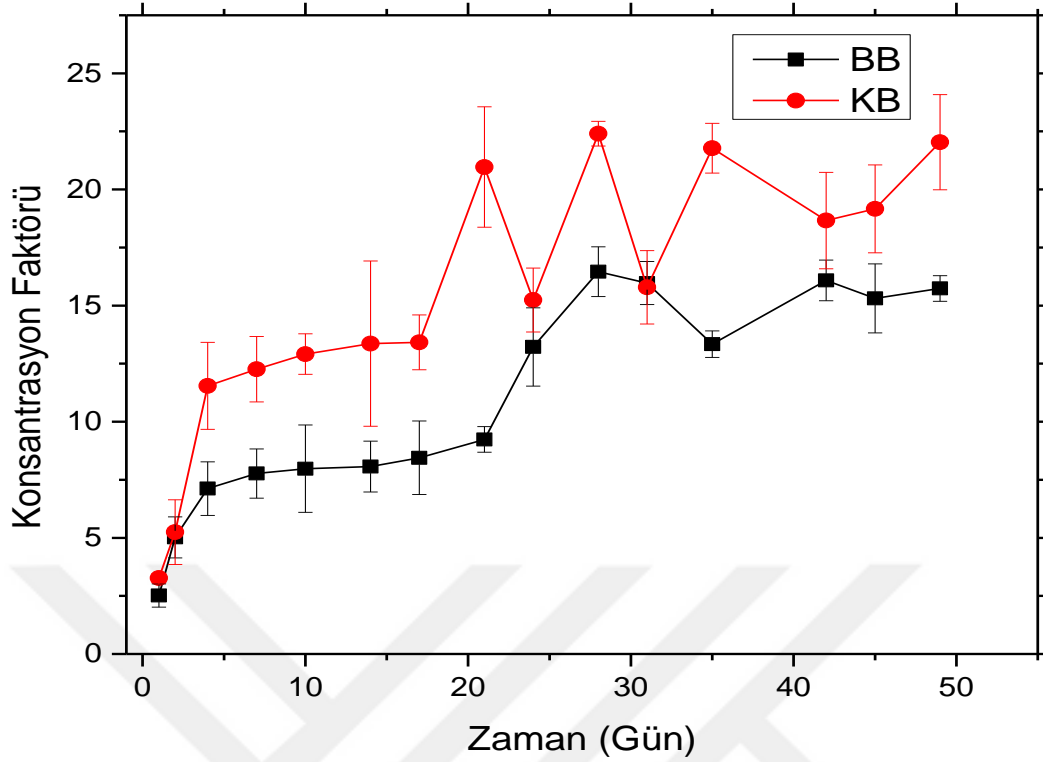
<b>Zaman (gün)</b>	<b>Konsantrasyon Faktörü</b>	
	<b>BB (N=7)</b>	<b>KB (N=7)</b>
1	2,52±0,50	3,26±0,21
2	5,02±0,88	5,25±1,39
4	7,12±1,15	11,54±1,87
7	7,77±1,06	12,26±1,41
10	7,98±1,88	12,91±0,87
14	8,07±1,10	13,36±3,56
17	8,45±1,59	13,42±1,18
21	9,24±0,55	20,97±2,59
24	13,22±1,68	15,24±1,38
28	16,46±1,07	22,40±0,53
31	15,97±0,93	15,79±1,58
35	13,34±0,57	21,78±1,07
42	16,08±0,88	18,66±2,08
45	15,31±1,49	19,17±1,89
49	15,74±0,55	22,03±2,05



Şekil 30. Büyük boy midye örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi



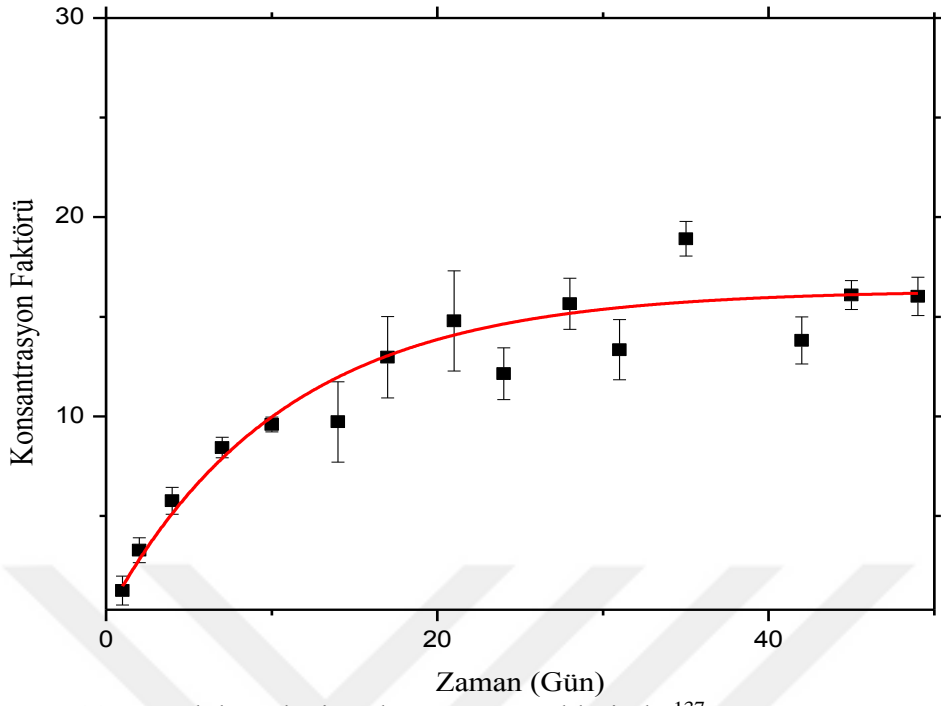
Şekil 31. Küçük boy midye örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi



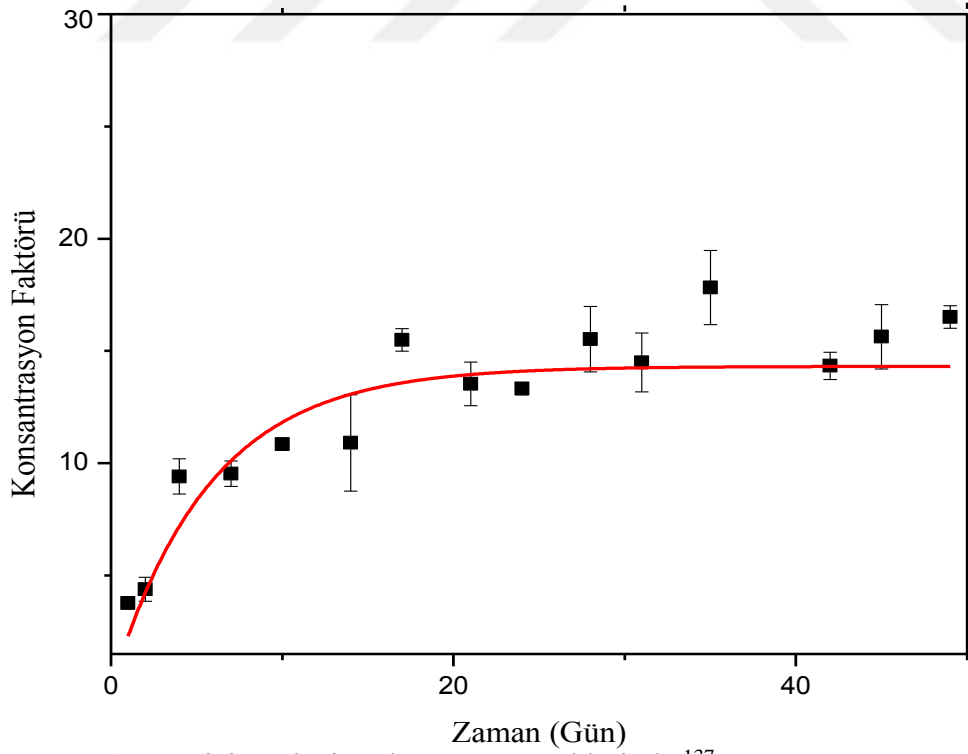
**Şekil 32.** Her iki boy midye örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun konsantrasyon faktörlerinin değişimi

**Tablo 10.** Birikim deneyinde örneklenen deniz salyangozu örneklerinde <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun konsantrasyon faktörü değerleri

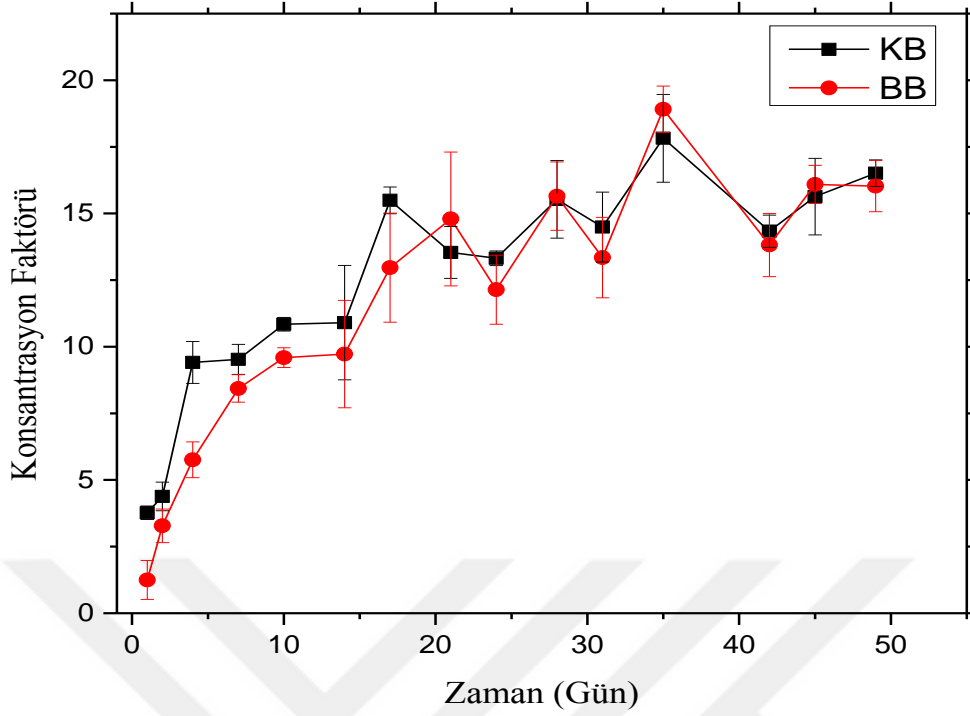
Zaman (gün)	Konsantrasyon Faktörü	
	BB (N=7)	KB (N=7)
1	1,25±0,73	3,77±0,25
2	3,28±0,63	4,38±0,54
4	5,76±0,67	9,41±0,79
7	8,43±0,51	9,53±0,56
10	9,59±0,37	10,84±0,25
14	9,72±2,01	10,90±2,15
17	12,97±2,05	15,49±0,50
21	14,80±2,51	13,54±0,97
24	12,14±1,30	13,32±0,28
28	15,65±1,28	15,53±1,46
31	13,35±1,51	14,49±1,31
35	18,91±0,87	17,82±1,65
42	13,82±1,19	14,33±0,60
45	16,09±0,72	15,63±1,44
49	16,03±0,96	16,51±0,50



**Şekil 33.** Büyük boy deniz salyangozu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi



**Şekil 34.** Küçük boy deniz salyangozu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyon faktörünün günlere göre değişimi



Şekil 35. Her iki boy deniz salyangozu örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun konsantrasyon faktörlerinin değişimi.

Tablo 11.  $^{137}\text{Cs}$ 'nin midye ve deniz salyangozu örneklerinde birikim kinetiği parametreleri

Midye Örnekleri					
Boylar	$k_e$ (gün <sup>-1</sup> )	I (Bq/g/gün)	$\tau$ (gün)	$\text{KF}_{ss}$	$R^2$
KB	$0,12 \pm 0,03$	2,34	8,33	$19,50 \pm 1,17$	0,78
BB	$0,07 \pm 0,02$	1,14	14,29	$16,25 \pm 4,41$	0,79
Deniz Salyangozu Örnekleri					
Boylar	$k_e$ (gün <sup>-1</sup> )	I (Bq/g/gün)	$\tau$ (gün)	$\text{KF}_{ss}$	$R^2$
KB	$0,18 \pm 0,03$	2,57	5,56	$14,31 \pm 0,63$	0,91
BB	$0,09 \pm 0,01$	1,47	11,11	$16,34 \pm 0,70$	0,95

### 3.1.2. Midye ve Deniz Salyangozu örneklerinde <sup>137</sup>Cs Radyoizotopunun Biyoatılım Deneyi Sonuçları

Biyoatılım deneylerinde örnekleme günlerinde elde edilen midye ve salyangoz yumuşak doku örneklerinin ortalama <sup>137</sup>Cs aktivitesi belirlendikten sonra her bir sayım gününde elde edilen sayım değerleri, (35) bağıntısına göre t=0'daki değerlerin yüzdesi olarak ifade edilerek Tablo 12 ve Tablo 13'de verilmiştir.

$$\mu = A_t/A_0 * 100 \quad (35)$$

Burada, A<sub>t</sub> ve A<sub>0</sub> sırasıyla t(d) zamanında yüzde kalan aktivite ve t=0 yani başlangıç anındaki örneğin radyoaktivitesidir.

<sup>137</sup>Cs'nin yumuşak dokudan atılımı deneyinde yüzde kalan aktivite değerlerinin günlere göre değişimleri çift komponentli eksponansiyel model tarafından Origin Pro. 9 programında (36) bağıntısına göre fit edilmiştir (Prihatiningsih vd., 2016) ve her iki boy midye ve deniz salyangozu örnekleri için fit eğrileri Şekil 36, Şekil 37, Şekil 39 ve Şekil 40'da verilmiştir. Ayrıca her iki boy midye örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan yüzde kalan aktivite değerlerinin karşılaştırılması şekil 38'de, her iki boy deniz salyangozu örneğinin yumuşak dokusu için günlere göre hesaplanan yüzde kalan aktivite değerlerinin karşılaştırılması şekil 41'de verilmiştir.

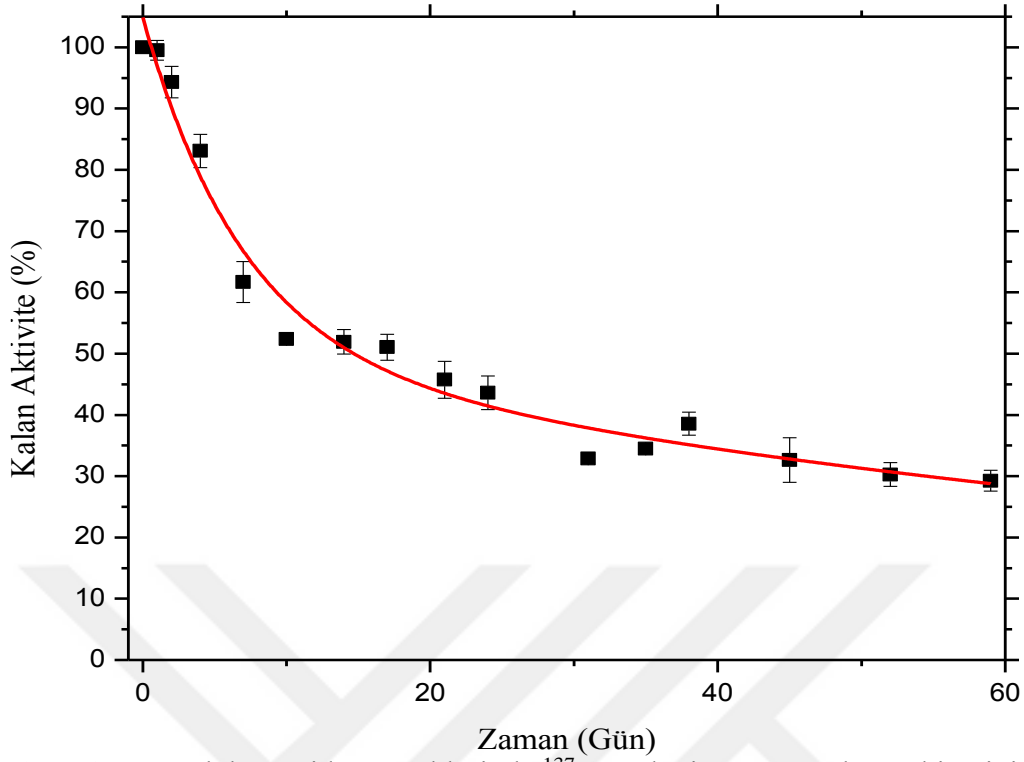
$$A_t = A_{0s}e^{-k_{es}t} + A_{0l}e^{-k_{el}t} \quad (36)$$

Burada, A<sub>0s</sub> ve A<sub>0l</sub> sırasıyla kısa ve uzun süreli eksponansiyel bileşene göre organizmada kalan yüzde aktivitelerdir. k<sub>es</sub> (d<sup>-1</sup>) ve k<sub>el</sub> (d<sup>-1</sup>) ise sırasıyla kısa ve uzun süreli biyolojik arınma oranı sabitleridir. Canlı organizmada var olan radyosezyumun % 50' sinin canlı organizmadan biyolojik olarak atılması için gereken süreye biyolojik yarı-ömür denir (Tagami ve Uchida, 2016). Biyolojik yarı-ömür değerleri arınma oranı sabitleri hesaplandıktan sonra T<sub>b1/2</sub> = ln2/k<sub>e</sub> bağıntısından hesaplanmıştır (Sezer vd., 2014). Biyoatılım deneylerinden hesaplanan biyolojik yarı-ömür değerleri ve diğer parametreler Tablo 14'de verilmiştir.

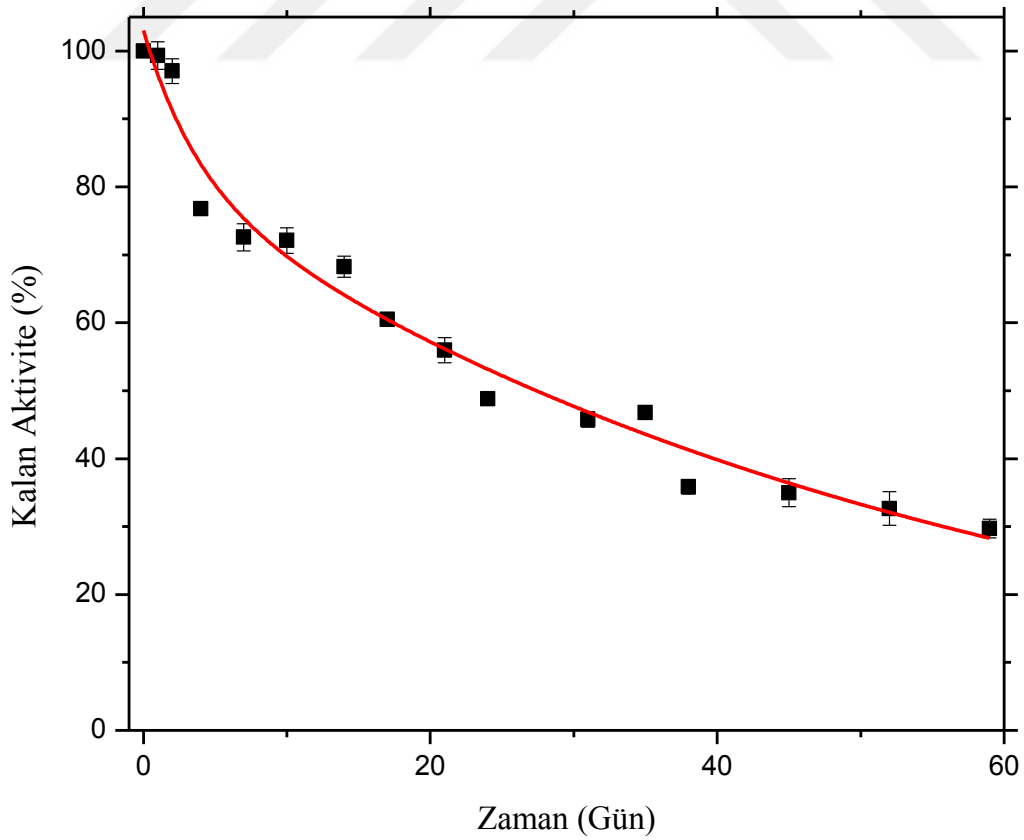
**Tablo 12.** Midye örneklerinde atılım deneylerinde <sup>137</sup>Cs radyoizotopunun organizmada kalan (%) aktivite değerleri

Zaman (Gün)	Organizmada kalan aktivite değerleri (%)	
	BB (N=7)	KB (N=7)
0	100	100
1	99,53±1,60	99,33±2,04
2	94,33±2,58	97,05±1,81
4	83,09±2,71	76,81±1,01
7	61,69±3,35	72,59±1,99
10	52,39±0,82	72,11±1,88
14	51,92±2,00	68,24±1,56
17	51,05±2,11	60,48±1,02
21	45,75±3,02	55,97±1,85
24	43,63±2,74	48,80±0,86
31	32,85±0,72	45,76±1,15
35	34,47±0,50	46,76±0,61
38	38,56±1,89	35,87±1,07
45	32,63±3,65	34,99±2,03
52	30,26±1,95	32,65±2,48
59	29,73±1,38	29,26±1,72

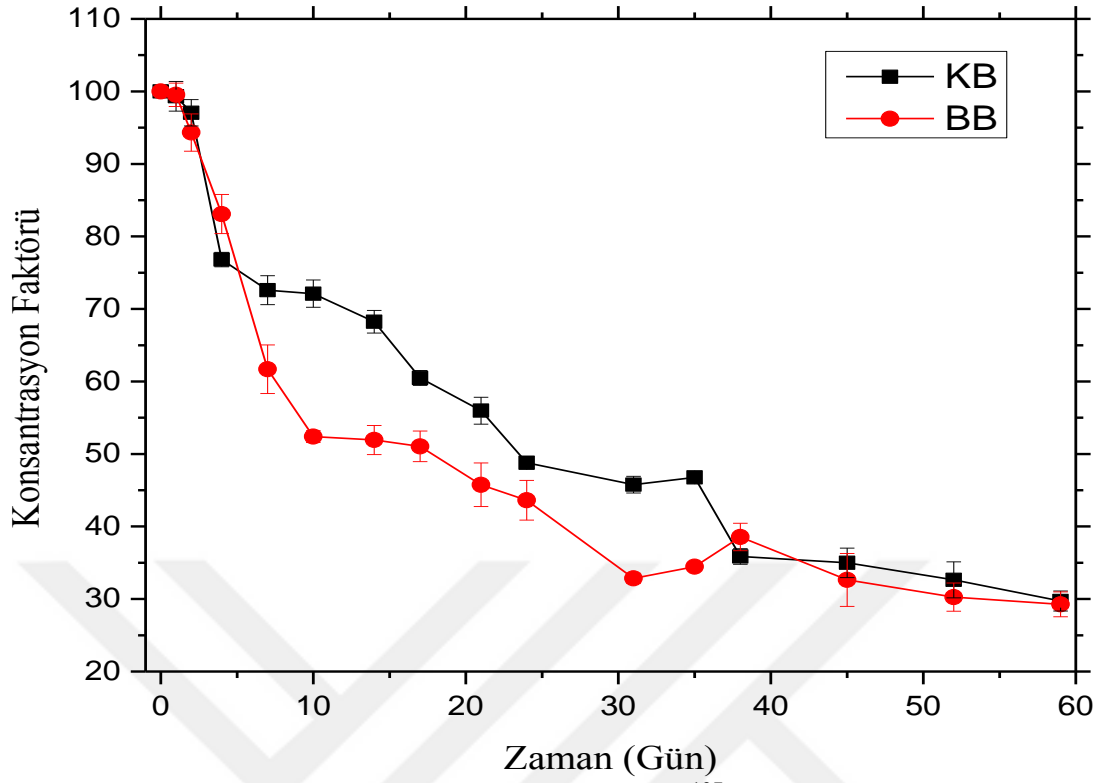




**Şekil 36.** Büyük boy midye örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiği



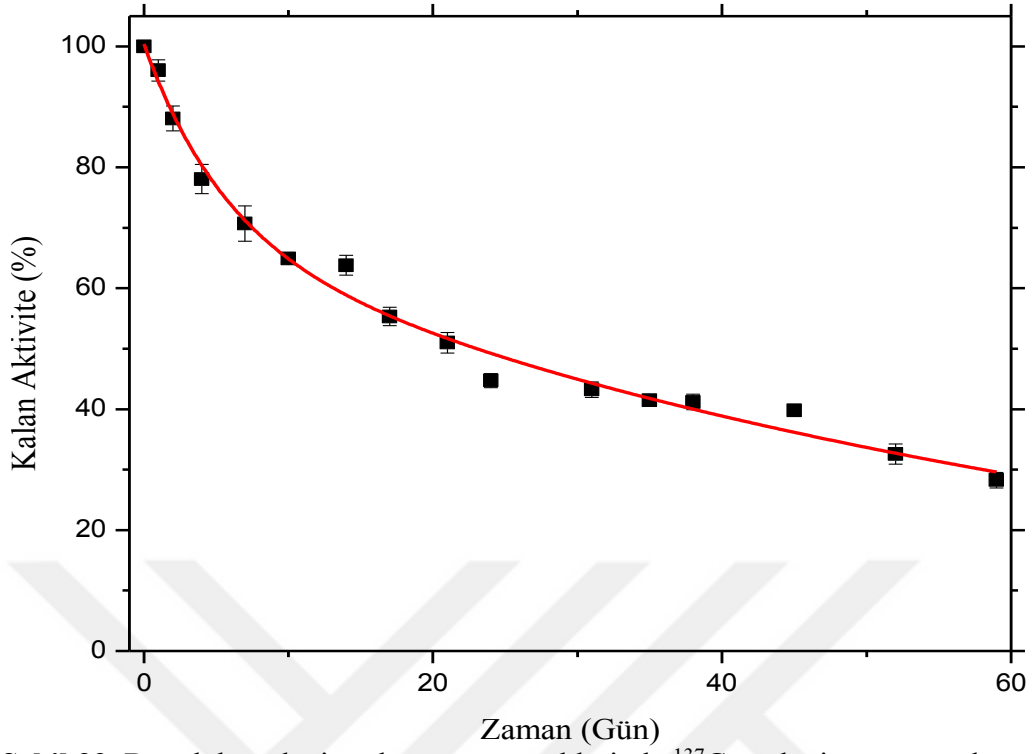
**Şekil 37.** Küçük boy midye örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiği



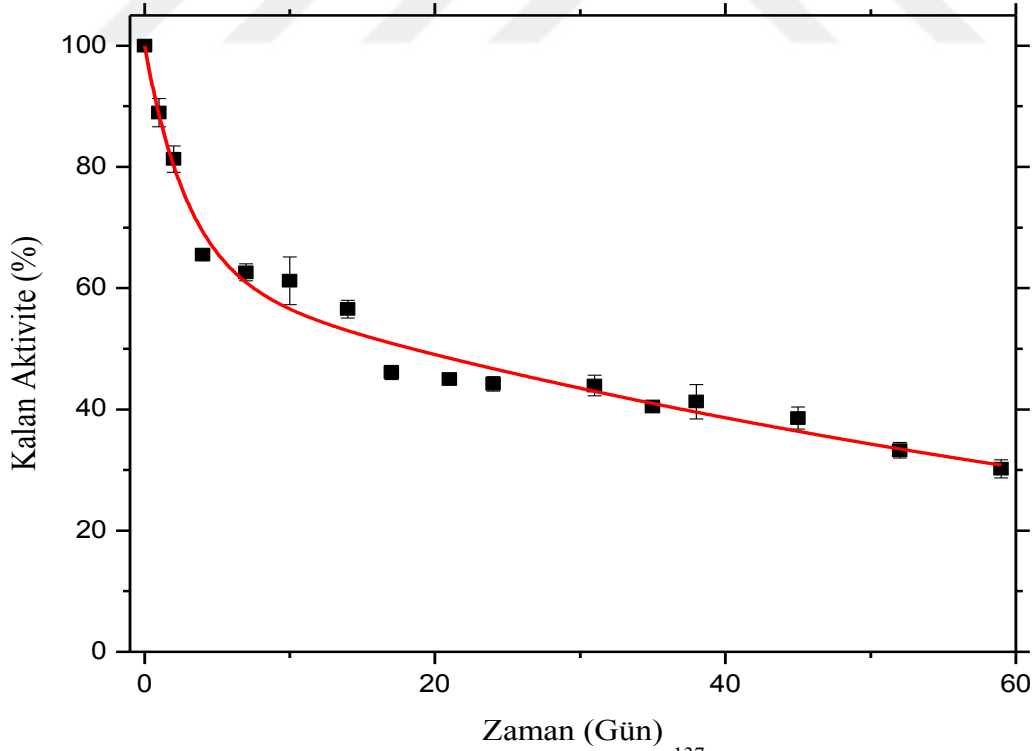
**Şekil 38.** Her iki boy midye örneği için günlere göre  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiğinin değişimi

**Tablo 13.** Deniz salyangozu örneklerinde atılım deneylerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun organizmada kalan (%) aktivite değerleri

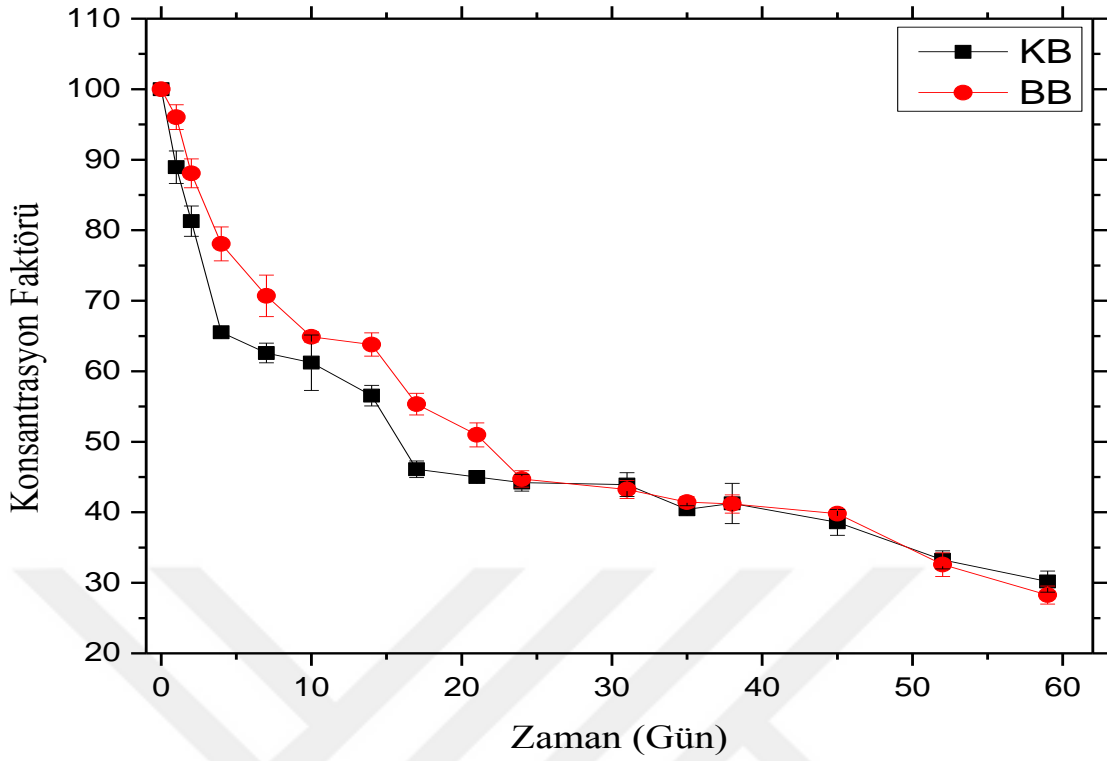
Zaman (Gün)	Organizmada kalan aktivite değerleri (%)	
	BB (N=7)	KB (N=7)
0	100	100
1	96,04±1,75	88,94±2,31
2	88,07±2,06	81,29±2,16
4	78,06±2,41	65,53±0,58
7	70,70±2,94	62,59±1,40
10	64,89±0,75	61,22±3,93
14	63,79±1,65	56,55±1,46
17	55,33±1,54	46,10±1,18
21	50,98±1,70	45,01±0,42
24	44,73±1,17	44,20±1,18
31	43,24±1,28	43,93±1,68
35	41,44±0,79	40,42±0,50
38	41,18±1,29	41,26±2,85
45	39,82±0,45	38,57±1,84
52	32,58±1,68	33,25±1,28
59	28,26±1,28	30,17±1,49



**Şekil 39.** Büyük boy deniz salyangozu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiği



**Şekil 40.** Küçük boy deniz salyangozu örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiği



Şekil 41. Her iki boy deniz salyangozu örneği için günlere göre  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun kayıp kinetiğinin değişimi

Tablo 14. Midye ve deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokuları için hesaplanan atılım parametreleri

Midye Örnekleri							
Boylar	$A_{0s}$ (%)	$k_{es}$ ( $d^{-1}$ )	$T_{b1/2s}$ (Gün)	$A_{0l}$ (%)	$k_{el}$ ( $d^{-1}$ )	$T_{b1/2l}$ (Gün)	$R^2$
BB	$55,40 \pm 8,52$	$0,27 \pm 0,16$	2,57	$44,60 \pm 8,98$	$0,018 \pm 0,002$	38,50	0,98
KB	$18,16 \pm 6,00$	$0,14 \pm 0,04$	4,95	$81,84 \pm 5,79$	$0,009 \pm 0,004$	77,00	0,97

Deniz Salyangozu Örnekleri							
Boylar	$A_{0s}$ (%)	$k_{es}$ ( $d^{-1}$ )	$T_{b1/2s}$ (Gün)	$A_{0l}$ (%)	$k_{el}$ ( $d^{-1}$ )	$T_{b1/2l}$ (Gün)	$R^2$
BB	$31,58 \pm 4,62$	$0,18 \pm 0,05$	3,85	$68,81 \pm 4,78$	$0,014 \pm 0,002$	49,50	0,99
KB	$37,85 \pm 3,67$	$0,33 \pm 0,07$	2,10	$62,15 \pm 3,07$	$0,012 \pm 0,002$	57,75	0,98

## 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

### 4.1. Biyobirikim Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 4.1.1. Akdeniz Midyesi

Bu çalışmada, birikim deneyi boyunca örnekleme günlerinde akvaryumlardan örneklenen büyük ve küçük boy midye örneklerinin tüm yumuşak dokuları için hesaplanan ortalama konsantrasyon faktörü değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Midye örneklerinin yumuşak dokusunda  $^{137}\text{Cs}$ 'nin birikim kinetikleri basit eksponansiyel kinetik model tarafından Origin Pro. 9 programında fit edilmiştir ve her iki boy midye örneği için fit eğrileri Şekil 30-31'de verilmiştir. Her iki boy midye örneği için fit eğrileri incelendiğinde başlangıçta yumuşak dokuda  $^{137}\text{Cs}$  alımı atılıma göre fazla olduğundan konsantrasyon faktörü artış göstermiştir ve yaklaşık 20-28 gün arası alım ve atılım oranları eşitlenmeye başlamış ve denge durumunun oluştuğu görülmüştür. Her iki boy midye örneğinin yumuşak dokularında incelenen birikim kinetiklerine ait fit denklemlerinden elde edilen denge durumu konsantrasyon faktörleri, biyolojik arınma oranı sabitleri, akı ve kalış süresi değerleri Tablo 11'de verilmiştir. Tablo 11'e bakıldığında küçük boy ve büyük boy midye örnekleri için tüm yumuşak dokuda hesaplanan konsantrasyon faktörü değerleri sırasıyla 19,50 ve 16,25 olarak bulunmuştur. *M. galloprovincialis* türü midye ile yapılan bir başka çalışmada su yoluyla olan  $^{137}\text{Cs}$  birikiminde denge durumundaki konsantrasyon faktörü değerinin 3,3 gün olduğu görülmüştür (Bulut,1993). Çalışmamızda, hem büyük hem de küçük boy midye örnekleri için tüm yumuşak dokuda tespit edilen konsantrasyon faktörü değerleri, Bulut tarafından tespit edilen değerle kıyaslandığında daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, bağımsız örneklem t-testinin sonucuna göre birikim deneyinde büyük boy ve küçük boy midye yumuşak doku örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

#### 4.1.2. Deniz Salyangozu

Bu çalışmada, birikim deneyi boyunca örnekleme günlerinde akvaryumlardan örneklenen büyük ve küçük boy deniz salyangozu örneklerinin tüm yumuşak dokuları için hesaplanan ortalama konsantrasyon faktörü değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokusunda  $^{137}\text{Cs}$ 'nin birikim kinetikleri basit eksponansiyel kinetik model tarafından Origin Pro. 9 programında fit edilmiştir ve her iki boy deniz salyangozu örneği için fit eğrileri Şekil 33-34'de verilmiştir. Her iki boy salyangoz örneği için fit eğrileri incelendiğinde başlangıçta yumuşak dokuda  $^{137}\text{Cs}$  alımı atılıma göre fazla olduğundan konsantrasyon faktörü artış göstermiştir ve yaklaşık 17 günden sonra alım ve atılım oranları eşitlenmeye başlamış ve denge durumunun oluştuğu görülmüştür. Her iki boy salyangoz örneğinin yumuşak dokularında incelenen birikim kinetiklerine ait fit denklemlerinden elde edilen denge durumu konsantrasyon faktörleri, biyolojik arınma oranı sabitleri, akı ve kalış süresi değerleri Tablo 18'de verilmiştir. Tablo 11'e bakıldığında küçük boy ve büyük boy deniz salyangozu örnekleri için tüm yumuşak dokuda hesaplanan konsantrasyon faktörü değerleri sırasıyla 14,31 ve 16,34 olarak bulunmuştur. Ayrıca, bağımsız örneklem t-testinin sonucuna göre birikim deneyinde büyük boy ve küçük boy deniz salyangozu yumuşak doku örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2. Biyoatılım Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

##### 4.2.1. Akdeniz Midyesi

Atılım deneylerinde, örnekleme günlerinde elde edilen her iki boy midye yumuşak doku örneklerinin ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi belirlendikten sonra her bir sayım gününde elde edilen aktivite değerleri, başlangıçtaki ( $t=0$ ) değerlerin yüzdesi olarak ifade edilerek Tablo 12'de verilmiştir. Daha sonra, yüzde kalan  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerlerinin günlere göre değişimleri çift komponentli eksponansiyel model tarafından Origin Pro. 9 programında fit edilmiştir ve her iki boy midye örneği için elde edilen fit eğrileri için Şekil 36-37'de verilmiştir. Her iki boy midye örneğinin yumuşak dokularında incelenen atılım kinetiklerine ait fit denklemlerinden elde edilen arınma

orani sabitlerine göre biyolojik yarı-ömür değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14’e bakıldığında, laboratuvar şartları altında deneyde kullanılan küçük boy ve büyük boy midye örneklerinin yumuşak dokularında yavaş komponentler için hesaplanan biyolojik yarı-ömür değerleri sırasıyla yaklaşık 77,00 ve 38,50 gün olarak bulunmuştur. Tablo 14 incelendiğinde, küçük boy midye örneği için başlangıçtaki aktivitenin yaklaşık %18,16’sı (4,95 gün) yumuşak dokudan atılım gösterirken, %81,84’lük kısmı ise yumuşak dokuda etkili bir şekilde absorblanmıştır. Büyük boy midye örneği için başlangıçtaki aktivitenin yaklaşık %55,40’ı (2,57 gün) yumuşak dokudan atılım gösterirken, %44,60’lık kısmı ise önemli bir şekilde yumuşak dokuda etkili bir şekilde absorblanmıştır. Küçük boy ve büyük boy midye örneklerinin uzun süreli bileşenlerde absorblama verimlilikleri ( $A_{01}$ ) karşılaştırıldığında, küçük boy midye örneğinde  $^{137}\text{Cs}$ ’nin yumuşak dokuda daha fazla absorblandığı görülmüştür ve buna bağlı olarak küçük boy midye örneğinde  $^{137}\text{Cs}$  için tespit edilen biyolojik yarı-ömür değeri daha büyük bulunmuştur.

Topcuoğlu ve Van Doven tarafından yapılan çalışmada Çernobil saha şartları altında boğazlar bölgesinin Karadeniz’e kıyısı olan yerlerinden Mayıs 1986’dan Şubat 1987’ye kadar olan sürede toplanan aynı midye türünün yumuşak dokusunda  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin doğal atılımı araştırılmış ve  $^{137}\text{Cs}$  için biyolojik yarı-ömür 63 gün olarak hesaplanmıştır (Topcuoğlu ve Van Doven, 1997). Yine aynı çalışmada, laboratuvar şartları altında, aynı midye türünün yumuşak dokusunda yavaş komponentler için  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin biyolojik yarı-ömrünü  $5\pm 2$  °C sıcaklıkta 27,1 gün ve  $13\pm 2$  °C sıcaklıkta 19,7 gün olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, bu çalışmada büyük boy midye örnekleri için elde edilen biyolojik yarı-ömür değerinin Topcuoğlu ve Van Doven tarafından yapılan çalışmadaki doğal atılım değerinden düşük olduğu tespit edilirken, küçük boy midye örnekleri için elde edilen biyolojik yarı-ömür değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Hem küçük hem de büyük boy midye örnekleri için laboratuvar şartları altında belirlenen yarı-ömür değerleri, Topcuoğlu ve Van Doven tarafından yapılan laboratuvar şartları altındaki çalışmadan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, bağımsız örneklem t-testinin sonucuna göre atılım deneyinde büyük ve küçük boy midye yumuşak doku örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

#### 4.2.2. Deniz Salyangozu

Atılım deneylerinde, örnekleme günlerinde elde edilen her iki boy deniz salyangozu tüm yumuşak doku örneklerinin ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesi belirlendikten sonra her bir sayım gününde elde edilen aktivite değerleri, başlangıçtaki ( $t=0$ ) değerlerin yüzdesi olarak ifade edilerek Tablo 13’de verilmiştir. Daha sonra, yüzde kalan  $^{137}\text{Cs}$  aktivite değerlerinin günlere göre değişimleri çift komponentli eksponansiyel model tarafından Origin Pro. 9 programında fit edilmiştir ve her iki boy deniz salyangozu örneği için elde edilen fit eğrileri için Şekil 39-40’da verilmiştir. Her iki boy deniz salyangozu örneğinin yumuşak dokularında incelenen atılım kinetiklerine ait fit denklemlerinden elde edilen arınma oranı sabitlerine göre hesaplanan biyolojik yarı-ömür değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14’e bakıldığında, laboratuvar şartları altında deneyde kullanılan küçük boy ve büyük boy deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularında yavaş komponentler için hesaplanan biyolojik yarı-ömür değerleri sırasıyla yaklaşık 57,75 ve 49,50 gün olarak bulunmuştur. Tablo 14 incelendiğinde, küçük boy deniz salyangozu örneği için başlangıçtaki aktivitenin yaklaşık %37,85’i hızlı bir şekilde (2.10 gün) yumuşak dokudan atılım gösterirken, %62,15’lik kısmı ise yumuşak dokuda etkili bir şekilde absorblanmıştır. Büyük boy deniz salyangozu örneği için başlangıçtaki aktivitenin yaklaşık % 31,58’i hızlı bir şekilde (3,85 gün) yumuşak dokudan atılım gösterirken, %68,81’lik kısmı ise yumuşak dokuda etkili bir şekilde absorblanmıştır. Küçük boy ve büyük boy deniz salyangozu örneklerinin uzun süreli bileşenlerde absorblama verimlilikleri ( $A_{01}$ ) karşılaştırıldığında, büyük boy deniz salyangozu örneğinde  $^{137}\text{Cs}$ ’nin yumuşak dokuda daha fazla absorblandığı görülmüş ve  $^{137}\text{Cs}$  için tespit edilen biyolojik yarı-ömür değeri daha büyük bulunmuştur. Ayrıca, bağımsız örneklem t-testinin sonucuna göre atılım deneyinde büyük boy ve küçük boy deniz salyangozu yumuşak doku örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).



Sonuç olarak, bu çalışmada  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun Karadeniz şartlarında laboratuvar koşulları altında midye ve deniz salyangozu organizmalarının yumuşak dokusunda ne kadar sürede doyuma ulaştığı ve ne kadar zamanda hangi oranda azaldığı tespit edilerek konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerleri hesaplanarak verilmiştir. Elde edilen konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerlerinden, denizel ortamda meydana gelebilecek olası bir radyoaktif kirlenme durumunda Karadeniz kıyıları boyunca yaygın bulunan midye ve deniz salyangozu organizmalarının  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopu ile kirlenmiş deniz suyu ortamında kaç günde doyuma ulaştığı ve ne kadar zamanda hangi oranda  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunu yumuşak dokusundan atabileceği tahmin edilebilecektir. Hem midye hemde deniz salyangozu örneklerinin yumuşak dokularında belirlenen yüksek konsantrasyon faktörü ve biyolojik yarı-ömür değerleri bu deniz organizmalarının denizel ortamda herhangi bir yolla meydana gelen radyoaktif kirliliği tespit etmede son derece yararlı biyomonitör olduklarını ortaya koymaktadır. Böylelikle, bu çalışma ekonomik değere sahip olan ve insan gıdası olarak bolca tüketilebilen bu deniz ürünlerinin insanlar tarafından tüketimine bağlı olarak meydana gelebilecek sağlık açısından riskleri ortaya koymaktadır.

## 5. ÖNERİLER

Biyokinetik çalışmalar ülkemizdeki farklı denizel ortamlarda yaşayan biyoidikatör canlılar üzerinde yapılarak genişletilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Bu tür çalışmalar için farklı fizikokimyasal parametrelere sahip ortamlar oluşturularak biyokinetik çalışmalar izlenebilir.

Biyokinetik deneyleri cinsiyetler ayrılarak tekrarlanabilir. Böylece erkek ve dişi cinsiyetleri arasında biyobirikim ve biyoatılım oranları arasında fark olup olmayacağı araştırılabilir.

Herhangi bir radyoaktif kirlilik durumunda, radyoaktif kirlenme olmayan bölgelerden getirilecek olan midye ve deniz salyangozu örnekleri kirlenme olan bölgelere konulabilir ve bu çalışmada tespit edilen maksimum doyum gününe kadar bu ortamda bırakılarak kirliliğin boyutu izlenerek tespit edilebilir.

Denizel ortamda olası radyoaktif kirlilik durumunda, midye ve deniz salyangozu yumuşak doku örnekleri, insanların tüketimine sunulmadan önce, kirlenmemiş deniz suyu akarsu sistemine yerleştirilerek radyoaktif izotoplardan arındırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Antovic, I. and Antovic, N.M., 2011.** Determination of concentration factors for Cs-137 and Ra-226 in the mullet species *Chelonlabrosus* (Mugilidae) from the South Adriatic Sea, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 713-717.
- Akçay, N., 2013.** Karadeniz Kıyısındaki Deniz suyu, Sediment ve Bazı Makroalglerdeki Radyoaktiflik Düzeylerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 151s., 3, 13.
- Alkılıç, B., 2010.** Zeytin Karasuyunun Küçükkuşu Kıyılarındaki (Çanakkale) Etkileri ve Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819), Deniz Salyangozu (*Monodonta turbinata*, Born, 1780) ve Japon Şemsiyesi (*Patella caerulea*, Linne, 1758) Üzerindeki Toksik Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye, 69 s., 3.
- Altıkulaç, A., 2014.** Samsun ve İlçelerine Ait Çevresel Örneklerdeki (Yüzey Toprağı, Su, Mantar ve Karalahana) Doğal Radyoaktivitenin Ölçülmesi ve Bu Radyoaktiviteden Kaynaklanan Yıllık Etkin Dozun Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye, 190s., 25-26.
- Arıdeniz, B., 2014.** Karadeniz’de Algarna ile Avlanan Deniz salyangozu (*Rapana venosa*)’nun Boy Seçiciliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop, Türkiye, 52 s., 3.
- Bakkal, S., 2012.** Kilis İli Toprak Örneklerinde <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, Türkiye, 69 s., 30.
- Baltaş, H., 2006.** YBaCuO ve BiPbSrCaCuO Süperiletkenlerinin Soğurma Katsayılarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 104 s., 8, 9, 10, 13, 14.
- Baltaş, H., 2015.** Doğu Karadeniz Bölgesi Denizel Ortamının Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Midye (*Mytilus galloprovincialis*) Türünde Bazı Ağır Metallerin Adsorbsiyon Kapasitelerinin Ortaya Konması. 113Y148 Nolu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Rize, Türkiye, 201 s., 16, 20-21,
- Bat, L., Gönlügür, G., Andaç, M. and Öztürk, M., 2000.** Heavy metal concentrations in the sea snail *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) from Sinop coasts of the Black Sea. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 6, 227-240.

- Cevik, U., Baltas, H., Tabak, A. and Damla, N., 2010.** Radiological and chemical assessment of phosphate rocks in some countries. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 531–535. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.064
- Currie, L.A., 1968.** Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40, 586–593.
- Çulha, M., 2010.** Açık Denizde Bastırılmış Uzun Halat Sisteminde Yetiştirilen Midyeler ile Doğal Ortamdan Toplanan Midyelerdeki İz Element Seviyelerinin Tespiti ve Karşılaştırılması. 108Y335 Nolu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Sinop, Türkiye.
- Damla, N., 2009.** Türkiye’deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 125 s., 6, 7, 43.
- Florou, H., Kehagia, K., Chaloulou, C.H., Koukoulou, V., Lykomitrou, C.H., 2004.** Determination of radionuclides in *Mytilus galloprovincialis* by Alpha and Gamma-Spectroscopy. *Mediterranean Marine Science*, 5-1, 117-123.
- Güldür, S., 2011.** İstanbul Boğazı’ndan Avlanan Akdeniz Midyesi’nden (*Mytilus galloprovincialis*) İzole Edilen Bakterilerin Ağır Metal Dirençliliklerinin Tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 85 s., 17.
- Güngör, N., 1999.**  $^{134}\text{Cs}$  ve  $^{241}\text{Am}$  Biyokinetiğinin Üç Farklı Organizma için İncelenmesi ve Kesikli Zaman Modeli ile Yeni Bir Değerlendirme. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 175 s., 14-19.
- Güngör, N., Tuğrul, B., Topcuoğlu, S. and Güngör, E., 2001.** Experimental studies on the biokinetics of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  in mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Environment international*, 27(4), 259-264.
- Heldal, H.E., Føyn, L. and Varskog, P., 2003.** Bioaccumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in pelagic food webs in the Norwegian and Barents Seas. *Journal of Environmental Radioactivity*, 65, 177-185.
- ICES, 2004.** Alien Species Alert: *Rapana venosa*. ICES Cooperative Research Report No. 264, 14 s.
- İlter, S., 2014.** Antikanserojen Aktivitesi Bilinen Bazı Şifalı Bitkilerdeki Radyoaktivite Konsantrasyon’unun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, Türkiye, 51 s., 21.
- Kalaycı, G., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Topcuoğlu, S. and Çotuk, Y., 2013.** Investigation of radiocesium biokinetics in Manila clam (*Ruditapes*

- philippinarum*). Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 295(1), 239-244.
- Kılıç, Ö., 2010.** İstanbul Boğazı ve Haliç Biyota ve Sedimentinde Radyonüklid Analizi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 86 s., 10, 60.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Çotuk, Y. and Topçuoğlu, S., 2014.** Radioactivity concentrations in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) of Turkish Sea coast and contribution of  $^{210}\text{Po}$  to the radiation dose. Marine Pollution Bulletin, 80, 325-329.
- Livingston, H.D. and Povinec, P.P., 2000.** Anthropogenic marine radioactivity. Ocean & Coastal Management, 43, 689-712.
- Meli, M.A., Desideri, D., Roselli, C. and Feduzi, L., 2008.** Natural radioactivity in the mussel *Mytilus galloprovincialis* derived from the Central Adriatic Sea (Italy). Journal of Toxicology and Environmental Health Part A, 71, 1270-1278. DOI: 10.1080/01932690801934562
- Metian, M., Warnau, M., Teyssie, J.L. and Bustamante, P., 2011.** Characterization of  $^{241}\text{Am}$  and  $^{134}\text{Cs}$  bioaccumulation in the king scallop *Pecten maximus*: investigation via three exposure pathways. Journal of environmental radioactivity, 102(6), 543-550.
- Mulayim, A. and Balkıs, H., 2015.** Toxic metal (Pb, Cd, Cr, and Hg) levels in *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846), *Eriphia verrucosa* (Forskal, 1775), and sediment samples from the Black Sea littoral (Thrace, Turkey). Marine Pollution Bulletin, 95, 215-222.
- Mohery, M., Baz, S., Kelany, A.M. and Abdallah, A.M., 2014.** Environmental radiation levels in soil and sediment samples collected from floating water from a 127 land runway resulting from heavy rains in the Jeddah region, KSA. Radiation Physics and Chemistry, 97, 16-24. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.10.007
- Oliver, L.M., William, S.F., Winstead, J.T., Hemmer, B.L. and Long, E.R., 2001.** Relationships between tissue contaminants and defense-related characteristics of oysters (*Crassostrea virginica*) from five Florida Bays. Aquatic Toxicology, 55, 203-222. DOI: 10.1016/S0166-445X(01)00161-8
- Onat, B. and Topçuoğlu, S., 1999.** Laboratory Study of Zn and  $^{134}\text{Cs}$  Depuration by the Sea Snail (*Rapana venosa*). Journal of Environmental Radioactivity., 46, 201-206.
- Özçakır Topyıldız, S., 2006.** Gama Işını Dedektör Simülasyonu ve Gama Kaynağının Yerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 74 s., 12.

- Peştreli, D., 2011.** Deniz Salyangozunda (*Rapana venosa*) Radyosezyum Kinetiğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 77 s.,
- Pouil, S., Bustamante, P., Warnau, M., Oberhänslı, F., Teyssié, J.L. and Metian, M., 2015.** Delineation of  $^{134}\text{Cs}$  uptake pathways (seawater and food) in the variegated scallop *Mimachlamys varia*. Journal of environmental radioactivity, 148, 74-79.
- Prihatiningsih, W.R., Suseno, H., Zamani, N.P. and Soedharma, D., 2016.** Bioaccumulation and retention kinetics of cesium in the Milkfish *Chanos chanos* from Jakarta Bay. Marine Pollution Bulletin, 110(2), 647-653.
- Sağlam, H.E., 2004.** Doğu Karadeniz'deki Deniz Salyangozunun *Rapana thomasiana* Crosse, 1861 Biyo-Ekolojisi. Yunus Araştırma Bülteni, 4, 9-12.
- Schauer, D.A., 2006.**  $^{137}\text{Cs}$  in the Environment: Radioecology and Approaches to Assessment and Management. Bethesda, Maryland. NCRP Report No. 154, 38 – 45.
- Sezer, N., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Topcuoğlu, S. and Çotuk, Y., 2014.** Biokinetics of radiocesium in shrimp (*Palaemon adspersus*): seawater and food exposures. Journal of Environmental Radioactivity, 132, 15-20.
- Sirin, M., 2018.** Doğu Karadeniz'de Sediment Örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  Radyoizotopunun Deneysel Ekolojik Ömür Tayini ve Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 132 s., 13.
- Tagami, K. and Uchida, S., 2016.** Consideration on the long ecological half-life component of  $^{137}\text{Cs}$  in demersal fish based on field observation results obtained after the Fukushima accident. Environmental science & technology, 50(4), 1804-1811.
- Thebault, H., Arnaud, M., Charmasson, S., Andral B., Diméglio, Y. and Barker, E., 2005.** Bioavailability of anthropogenic radionuclides in mussels along the French Mediterranean coast. Radioprotection, 40, 47-52.
- Topçuoğlu, S. and Van Downen, A.M., 1997.** A Study on the Elimination of  $^{137}\text{Cs}$  in Mussels Under Contaminated Field and Laboratory Conditions. Toxicological & Environmental Chemistry, 58, 217-222.
- Topcuoglu, S., Kut, D., Esen, N., Gungor, N., Olmez, E. and Kirbasoglu, C., 2001.**  $^{137}\text{Cs}$  in biota and sediment samples from Turkish coast of the Black Sea, 1997–1998. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 250, 381–384.
- Topçuoğlu, S., Ergül, H. A., Baysal, A., Ölmez, E. and Kut, D., 2003.** Determination of Radionuclide and Heavy Metal Concentrations in Biota and Sediment Samples

from Pazar and Rize Stations in the Eastern Black Sea. Fresenius Environmental Bulletin, 12, 695-699.

**Uzun Duran, S., 2013.** Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki Kaplıçalarda ve Çevresinde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 151 s., 3, 27-28, 66-67.



## ÖZGEÇMİŞ

Gülnara İMİNOVA, 26/04/1994 tarihinde Azerbaycan'da doğdu. İlköğrenimini 2004 yılında ve Ortaöğretimini 2011 yılında Azerbaycan'da tamamladı. 2011 yılında başladığı lisans eğitimini 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.

