

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HİPERTİROİD TEDAVİSİNDE KULLANILAN I-131 RADYOİZOTOPUNUN  
AKTİVİTESİNE GÖRE KOMŞU ORGANLARIN ALDIĞI DOZUN MONTE  
CARLO YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**VEDAT AYDIN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2023**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HİPERTİROİD TEDAVİSİNDE KULLANILAN I-131 RADYOİZOTOPUNUN  
AKTİVİTESİNE GÖRE KOMŞU ORGANLARIN ALDIĞI DOZUN MONTE  
CARLO YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**VEDAT AYDIN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2023**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİPERTİROİD TEDAVİSİNDE KULLANILAN I-131 RADYOİZOTOPUNUN**  
**AKTİVİTESİNE GÖRE KOMŞU ORGANLARIN ALDIĞI DOZUN MONTE**  
**CARLO YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**VEDAT AYDIN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 18/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. İsmail Hakkı SARPÜN (Danışman)

Doç.Dr. Ramazan ŞAHİN

Doç.Dr. Hasan ÖZDOĞAN

## ÖZET

### HİPERTİROİD TEDAVİSİNDE KULLANILAN I-131 RADYOİZOTOPUNUN AKTİVİTESİNE GÖRE KOMŞU ORGANLARIN ALDIĞI DOZUN MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Vedat AYDIN

Yüksek Lisan Tezi Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

Temmuz 2023; 41 Sayfa

Hayatta iyonize edici olsun olmasın radyasyona maruz kalmanın birçok yolu vardır. İyonize olmayan radyasyonun bir zararı olmamakla beraber, özellikle tedavi veya teşhis amacıyla tıbbi uygulamalar, şiddetli maruziyetin en önemli sebebidir. Tıbbi uygulamalarda teşhis amaçlı Bilgisayarlı Tomografi taramaları ilk sırada yer alırken hem teşhis hem de tedavi amaçlı nükleer tıp ikinci sırada yer almaktadır. Tabii ki, iyonize edici radyasyona maruz kalan doku ve dolayısıyla organlar tarafından emilen doz, arttıkça sağlığa yönelik riskler de doğru orantılı olarak artmaktadır. Nükleer tıpta teşhis ve/veya tedavi amaçlı vücuda yerleştirilen radyoizotoplar nedeniyle sadece tümörün bulunduğu organ ve dokulara değil, çevredeki diğer organ ve dokular da az miktarda olsa da doz absorbe eder.

Bu tez çalışmasında yeni doğmuş, 1, 5, 10 ve 15 yaşlarındaki erkek fantomların tiroid hastalığı veya tiroid kanseri sebebiyle tedavi amacıyla tiroid bezine yerleştirilen iyot radyoizotopu (I-131)'nin farklı aktivitelerine göre büyüme olaylarında en etkili olduğu düşünülen tiroid bezi, timüs ve lenf bezlerinin aldığı dozlardaki değişim Monte Carlo-tabanlı NCINM kodu ile araştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Doz, Monte Carlo, NCINM, Nükleer tıp, Radyasyon, Radyoaktif iyot.

**JÜRİ:** Prof.Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

Doç.Dr. Ramazan ŞAHİN

Doç.Dr. Hasan ÖZDOĞAN

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF THE DOSAGE DUE TO NEIGHBORING ORGANS ACCORDING TO THE ACTIVITY OF I-131 RADIOISOTOPES USED IN HYPERTROID TREATMENT BY MONTE CARLO METHOD**

**Vedat AYDIN**

**Master Thesis, Department of Physics**

**Supervizor: Prof. Dr. İsmail SARPÜN**

**July 2023;41Pages**

There are many ways to be exposed to radiation in life, whether it is ionizing or not. Although non-ionizing radiation is not harmful; medical applications, especially for therapeutic or diagnostic purposes, are the most important cause of severe exposure for ionizing radiation. For exposed to ionizing radiation in medical applications, diagnostic Computed Tomography scans are in the first place, while nuclear medicine used for both diagnosis and treatment is in the second place. Consequently, as the dose absorbed by the tissues exposed to ionizing radiation and therefore the organs increases, the risks to health also increase in direct proportion. In nuclear medicine, due to the radioisotopes placed in the body for diagnostic and/or therapeutic purposes, not only the organs and tissues where the tumor is located, but also other neighborhood organs and tissues absorb the dose, albeit in various amounts.

In this thesis, the Monte Carlo-based NCINM code were used for evaluation of changings in the doses. For this purpose, the iodine radioisotope (I-131) was placed to thyroid gland in male phantoms aged newborn, 1, 5, 10 and 15 years in simulation. The activities of the I-131 are selected as to use it in treatment of thyroid disease and thyroid cancer. The neighborhood organs were determined as thyroid, thymus and lymph nodes which are the most effective in growth of babies.

**KEYWORDS:** Dose, Monte Carlo, NCINM, Nuclear medicine, Radiation, Radioactive iodine.

**COMMITTEE:**

Prof.Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

Doç.Dr. Ramazan ŞAHİN

Doç.Dr. Hasan ÖZDOĞAN

## ÖNSÖZ

Hipertiroid tedavisinde kullanılan I-131 radyoizotopunun aktivitesine göre komşu organların aldığı dozun Monte Carlo yöntemi ile belirlenmesi adlı bu tezimizi Akdeniz Üniversitesi Nükleer Bilimler araştırma ve Uygulama Merkezinde ve Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon onkolojisi ünitesinde yapılmıştır.

Tez çalışmam esnasında sürekli desteklerini esirgemeyen danışmanım sayın Prof.Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Emek verip zamanlarını ayıran ve bana destek veren Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi bölümünden Doç. Dr. Timur KOCA'ya ve bölüm çalışanlarına da teşekkür ederim.

Tüm Yüksek Lisans öğrenimi boyunca bana destek olan sevgili eşime, hayatımın anlamı kızlarıma da teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET                                                                        | i    |
| ABSTRACT                                                                    | ii   |
| ÖNSÖZ                                                                       | iii  |
| İÇİNDEKİLER                                                                 | iv   |
| AKADEMİK BEYAN                                                              | vi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR                                                     | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                             | viii |
| 1 GİRİŞ                                                                     | 1    |
| 1.1 Radyasyon                                                               | 1    |
| 1.1.1 Radyasyon Kaynakları                                                  | 2    |
| 1.1.2 Radyasyonun Sınıflandırılması                                         | 3    |
| 1.1.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi                                      | 3    |
| 1.1.4 Radyasyon Dozu ve Birimleri                                           | 4    |
| 1.2 Nükleer Tıp                                                             | 5    |
| 1.2.1 Radyoizotoplar                                                        | 6    |
| 1.2.2 Radyofarmasötikler                                                    | 6    |
| 2 KAYNAK TARAMASI                                                           | 8    |
| 3 MATERYAL VE METOD                                                         | 10   |
| 3.1 İyot ve İzotopları                                                      | 10   |
| 3.1.1 İyot Radyoizotoplarının Sağlık Alanında Kullanımı                     | 11   |
| 3.2 Başlıca Sağlık Etkileri                                                 | 11   |
| 3.3 NCINM (National Cancer Institute Dosimetry System for Nuclear Medicine) | 12   |
| 3.4 Hesaplamalı İnsan Fantom Serisi                                         | 14   |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.5 Grafiksel Kullanıcı Arayüzü..... | 14 |
| 3.6 NCINM Kodu.....                  | 15 |
| 4 BULGULAR.....                      | 17 |
| 5 SONUÇ.....                         | 23 |
| 6 KAYNAKLAR.....                     | 24 |
| ÖZGEÇMİŞ                             |    |



## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hipertiroid Tedavisinde kullanılan I-131 radyoizotopunun aktivitesine göre komşu organların aldığı dozun Monte Carlo yöntemi ile belirlenmesi” adlı bu çalışmanın akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir ve tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

...../...../2023

Vedat AYDIN



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### **Simgeler**

mCi : miliCurie

$\mu$ Ci : mikroCurie

Bq : Bequerel

Gy : Gray

### **Kısaltmalar**

NCINM : Nükleer Tıp için Ulusal Kanser Enstitüsü Dozimetri Sistemi

SPECT : Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi

PET : Pozitron Emisyon Tomografi

BT : Bilgisayarlı Tomografi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1.</b> Radyasyonun Çeşitleri.....                                                                                                                                                      | 1  |
| <b>Şekil 1.2.</b> Radyasyon Kaynakları.....                                                                                                                                                       | 2  |
| <b>Şekil 1.3.</b> Kararsız radyoaktif bir çekirdeğin kararlı duruma geçişi.....                                                                                                                   | 6  |
| <b>Şekil 3.1.</b> NCINM programının grafik kullanıcı arayüzü, 585 MBq $^{99m}\text{Tc}$ -ECD ile uygulanan 15 yaşındaki kadın fantom için doz hesaplama örneği .....                              | 16 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Yeni Doğmuş Bir Erkek Çocuk için NCINM Kodu Giriş Penceresi .....                                                                                                               | 17 |
| <b>Şekil 4.2.</b> 1, 5, 10 ve 15 Yaş için Fantom. ....                                                                                                                                            | 17 |
| <b>Şekil 4.3.</b> a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun tiroid bezinin aldığı dozun yaşlara göre grafiği ..... | 19 |
| <b>Şekil 4.4.</b> a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun timus'un aldığı dozun yaşlara göre grafiği .....       | 20 |
| <b>Şekil 4.5.</b> a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun lenf nodu'nun aldığı dozun yaşlara göre grafiği .....  | 22 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge 1. 1.** Radyasyon özel birimleri..... 4

**Çizelge 3. 1.**  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$  izotoplarının radyoaktif özellikleri..... 10

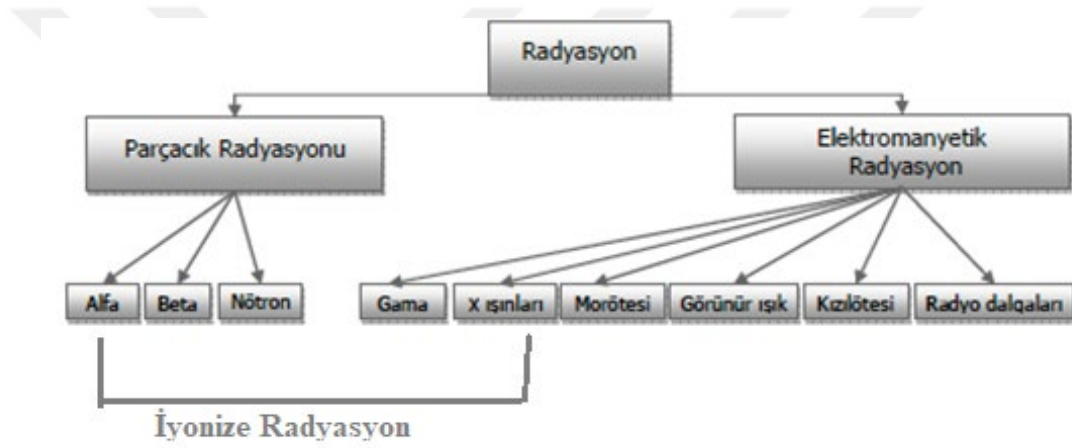


## 1 GİRİŞ

Radyasyon, atomlar tarafından iç dönüşüm geçirerek salınan enerjinin parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar şeklinde hareket etmesidir. Radyasyon, kaynağın özelliklerine bağlı olarak enerjinin parçacık veya elektromanyetik dalga formunda taşınmasını ifade eder. Atomlar iç dönüşüm geçirerek enerji salar ve bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar halinde boşlukta veya maddede yayılabilir.

Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır (Şekil 1.1).

1. Enerji (düşük veya yüksek enerjili radyasyon)
2. Tür (parçacık radyasyonu veya elektromanyetik radyasyon)
3. Kaynak (doğal veya yapay radyasyon kaynakları)



**Şekil 1.1.** Radyasyonun Çeşitleri (Barınmaz, 2009).

Nükleer tıp, radyo aktif maddelerin hastalıkların tanısı ve tedavisi maksadıyla kullanıldığı disiplinler arası bir bilim dalıdır. İnsanlardaki fizyolojik değişimi tespit etmek için radyonüklidlerin kullanıldığı nükleer tıptaki temel hedeflerden biri, en düşük radyasyon dozu ile en iyi tanıyı koyup en iyi tedaviyi uygulamaktır. Nükleer tıptaki çalışmalarda görüntüleme hastalara radyonüklidler verilerek bunlardan çıkan fotonların dedeksiyonu ile yapılır (Duman, 2007).

### 1.1 Radyasyon

Radyasyon insanoğlu var olmadan önce de vardı; çeşitli amaçlarla kullanılmaya başlandığından itibaren insanoğlunun yaşamında daima var olmaya devam edecektir. Radyasyonun tanımı özet olarak bir enerji geçişidir. Bu enerjiyi tanımlamada üç önemli parametre kullanılır. Bunlar: enerjisi (düşük ve yüksek enerjili), türü (parçacık

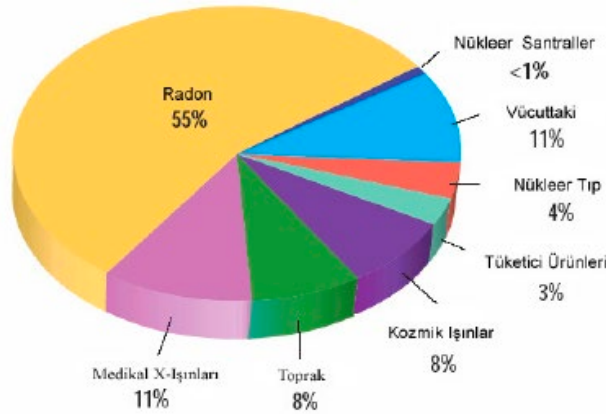
radasyonu ve elektromanyetik radyasyon) ve kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)'dır. Radyasyon iyonize edici ve iyonize edici olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. İyonize edici olmayan radyasyon Radyo dalgaları, Mikro dalgalar, Kızılötesi ışınlar, Görünür ışık ve Morötesi ışınlardan oluşmaktadır. İyonize edici radyasyon ise yine kendi içinde ikiye ayrılır; X-ışınları ve gama ışınlarını içinde barındıran dalga tipi radyasyon ve enerjetik, yüklü veya yüksüz parçacıkları içeren parçacık tipi radyasyon.

İyonize edici radyasyon olarak bilinen yüksek enerjili radyasyon, atomlardan elektron koparabilen ve dolayısıyla atomları iyonize edebilen bir tür radyasyondur. Alfa, beta, gama ve X-ışınları bu tür radyasyona örnek olarak verilebilir.

Öte yandan, düşük enerjili veya iyonize edici olmayan radyasyon, etkileştiği materyal içindeki atomları iyonize etmek için yeterli enerjiye sahip olmadığından sadece uyarma etkisine sahiptir. Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve morötesi ışık (Çok kısa dalga boyları dışında), iyonize olmayan radyasyona örnek olarak verilebilir. Elektromanyetik spektrum içinde bulunan tüm radyasyon türlerinde enerji, yüksüz ve kütleli olmayan fotonlar tarafından taşınır. Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekte yayılıyorsa buna gama ışınları, yörüngeden yayılıyorsa buna X-ışınları denir.

### 1.1.1 Radyasyon Kaynakları

Her gün maruz kaldığımız radyasyonun kaynakları suda, havada, toprakta bulunabileceği gibi insan kaynaklı yapay radyasyon ve hatta kendi vücudumuzda bile bulunabilir (Şekil 1.2).



**Şekil 1.2.** Radyasyon Kaynakları (Barınmaz, 2009).

Havadaki radyasyonun en büyük kaynağı yeraltından yeryüzüne çatlaklar aracılığıyla ya da yer altı suları ile birlikte yer yüzüne çıkan Radon gazı kaynaklı olmakla birlikte bir kısmı da uzaydan yer yüzüne ulaşan Radyoaktif ışınlar oluşturmaktadır.

Canlıların bedeninde bulunan  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  gibi Radyoaktif elementler tarafından da sürekli bir radyasyona maruz kalmaktayız. Yeraltı sularının yeryüzüne çıkarken kendisi ile birlikte getirdiği radyoaktif materyaller su kaynaklı ışımayı oluşturur. Yapay radyasyon kaynakları ise insanların gerek tıbbi gerekse de ticari amaçlı ürettiği radyasyondur. Tıbbi amaçla üretilen radyasyon hastalıkların tanısında ve tedavisinde kullanılırken ticari amaçla üretilen radyasyon gıda ürünlerinin daha uzun ömürlü olmasını sağlarken kimi yerlerde kalite kontrol amacıyla kimi yerlerde ise reaktörlerde enerji üretmek için kullanılır

### 1.1.2 Radyasyonun Sınıflandırılması

Basitçe enerji olarak tanımlanan radyasyon, sınıflandırılırken enerjisi yüksek olan iyonlaştırıcı ve enerjisi düşük olan iyonlaştırıcı olmayan radyasyon diye ikiye ayrılır.

Yüksek enerjili olan iyonlaştırıcı radyasyon atomdan elektron koparabilme yeteneğine sahiptir. İyonize radyasyonda elektromanyetik spektrumdaki x-ışınları ve gama ışınları bulunurken aynı zamanda parçacık yapıya sahip alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) parçacıkları ile yüksek hızlı elektron ( $e$ ) ve yüksek hızlı protonlar ( $p$ ) da iyonize radyasyon türündedir (Khan ve Gibbons 2014).

Düşük enerjili olan iyonlaştırıcı olmayan radyasyon ise atomdan elektron koparabilecek bir enerjiye sahip olmayan elektromanyetik dalgalardan oluşur. İyonize olmayan radyasyon elektromanyetik spektrumdaki radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızılötesi ışınlar, görünün ışık (Kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor ışık) ve ultraviyole ışıktan oluşur. Bunlar enerjisi düşük fotonlardan oluştukları için atomları iyonlaştıramazlar.

### 1.1.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Fotonlar maddeden geçerken, madde ile beş farklı şekilde etkileşimde bulunabilir:

- a) Compton Saçılması, foton elektrona çarparak enerjisinin bir kısmını verip belli bir açıyla saçılırlar. Burada foton parçacık gibi davranır (Khan ve Gibbons 2014).
- b) Foto-disintegrasyon kısaca yüksek enerjili fotonların atomun çekirdeği tarafından soğrularak geçici olarak radyoaktif olup çekirdeğinden nötron fırlatmasıdır.
- c) Fotoelektrik olay, atomda alt kabuklarda yer alan bir elektronun atoma giren fotonu absorbe ederek atomdan ayrılmasıdır.
- d) Koharent saçılma, koharent saçılmada gelen fotonun ve saçılan fotonun enerjileri ve dalga boyları aynı olmakta saçılan foton ile gelen foton arasında sadece faz farkı oluşur.

e) Çift oluşumu, çekirdeğe yakın geçen yüksek enerjili fotonların negatif bir elektron ile pozitif bir elektron oluşturması olayıdır.

#### 1.1.4 Radyasyon Dozu ve Birimleri

Foton ismi verilen enerji paketleri ile yayılan enerji veya bazı yüklü veya yüksüz hafif parçacıklar olarak karşımıza çıkan radyasyonu anlayabilmeye olanak sağlayan birimlerdir. Bunları Aktivite Birimi, Işınlama Birimi, Soğurulmuş Doz Birimi ve Doz Eşdeğer Birimi olarak sınıflandırmaktayız (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1.** Radyasyon özel birimleri

| Terim                | Klasik Sistem | SI Birimi               | Dönüşüm                                                       |
|----------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Aktivite Birimi      | Curie (Ci)    | Becquerel (Bq)          | 1 Ci=3,7x10 <sup>10</sup> Bq<br>1 Bq=2,7x10 <sup>-11</sup> Ci |
| Işınlama Birimi      | Röntgen (R)   | Coulomb/kilogram (C/kg) | 1 R=2,58x10 <sup>-4</sup> C/kg<br>1 C/kg=3876 R               |
| Soğurulan Doz Birimi | Rad           | Gray (Gy)               | 1 Rad=0,001 Gy<br>1 Gy=100 Rad<br>1 Gy=100 cGy                |
| Eşdeğer Doz Birimi   | Rem           | Sievert (Sv)            | 1 Rem=0,001 Sv<br>1 Sv=100 Rem<br>1 Sv= 1000 mSv              |

**a) Aktivite Birimi (Becquerel- Bq):** Aktivite, radyoaktif maddelerin belirli bir zaman aralığı içerisindeki bozunma miktarını anlatmaktadır. Bq, maddenin bir saniyedeki bozunma sayısını göstermektedir. Ci ise 1 g Radyum 'un bozunması olarak tanımlanmaktadır. SI birim sisteminde Bq kullanılmasına rağmen Ci birimi de çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasındaki dönüşüm Tablo 1.1'de verilmiştir.

**b) Işınlama Birimi (Röntgen- R):** Coulomb / kilogram (C/kg); normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya Gama radyasyonu miktarıdır. 1C/kg=3876 R 1R=2.58x10<sup>-4</sup> C/kg.

**c) Soğurulmuş Doz Birimi: (Gray-Gy):** Birim kütle başına depolanmış olan enerji ölçüsüne denmektedir. Bu doz her tür radyasyona uygulanabilmektedir. Soğurulmuş doz biriminin Gray-Gy olduğunu görüyoruz ve bu da 1 Joule/kg yani her kilogramda 1 joule olması anlamına gelir. Klasik birimi rad (Radiation Absorbed Dose) olmakla birlikte SI birimi olan Gray-Gy kullanılmaktadır (1 Gy = 100 rad). Soğurulmuş doz birimine bağlı olarak doz soğurma hızı olarak da SI birim sisteminde Gy/s kullanılmaktadır.

d) **Doz Eşdeğer Birimi (Rem):** Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjilerin eşit bile olsa biyolojik etkilerinin farklı olduğunu görebilmek mümkündür. Bu farklılık Rem ile ifade edilmektedir. Soğurulan doz ile kalite faktörünün çarpımı olan Doz Eşdeğer Birimi SI birimi Sievert (Sv) dir.  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ .

## 1.2 Nükleer Tıp

Nükleer tıp çeşitli radyasyon kaynaklarının hastalıkların teşhisi ve tedavisinde kullanıldığı disiplinler arası bir bilim dalıdır.

Nükleer tıpta temel amaçlardan biri de teşhis ve tedavide kullanılan radyonüklidlerin en az radyasyon dozu ile teşhisi veya tedaviyi gerçekleştirmektir. Nükleer tıp uygulamalarında görüntüleme işlemi hastaya verilen radyoaktif maddelerden çıkan fotonların dedeksiyonuna dayanmaktadır (Duman 2007). Bu doğrultuda incelenmek istenen organların ayrıntılı görüntülenmesi, hastaya verilen radyofarmasötiklerin dağılımını tam olarak yansıtabilmelidir. Bu konuda çeşitli görüntüleme cihazları kullanılır. Bunlar; tek foton emisyon tomografisi (SPECT), gama kamera, tek foton emisyon tomografisi (SPECT/BT), pozitron emisyon tomografisi (PET), pozitron emisyon tomografisi/ bilgisayarlı tomografi (PET/BT) gibi kompleks sistemlerdir (Demir 2011).

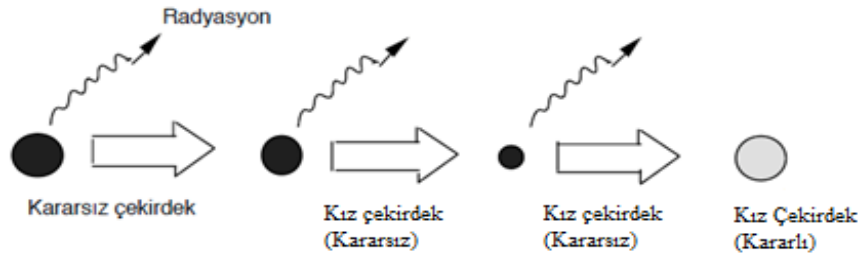
Hastalıkların teşhisinde kullanılan tetkik yöntemleri, fonksiyonel (dinamik) ve yapısal (anatomik) bilgileri elde etmek için kullanılır. Nükleer tıpta hastalıkların ve doku deformasyonlarının teşhisi için çekilen görüntülere sintigrafi diyoruz. Bu görüntü çekilirken radyoizotopların hastada amaçlanan dokuda ya da organlarda tutulumu sağlamak için biyoaktif bir ajana ihtiyaç duyulur. Kullanılan bu biyoaktif ajanlara farmasötik adı verilir. Kullanılacak radyoizotop ve biyoaktif ajanlar görüntüsü alınacak organ ve dokuya özgü olarak seçilir (Barınmaz 2009). Hasta radyofarmasötikleri aldıktan belli bir süre sonra hedef organa yerleşir. Bu radyofarmasötikler gama yayıcı ise, gama kamera ya da SPECT ile pozitron yayıcı ise PET cihazı aracılığı ile dedekte edilerek istenen görüntüler elde edilir. Bu görüntüler düzlemsel olabildiği gibi tomografikte olabilir. Çekilen bu sintigrafiler Nükleer tıp alanında eğitim almış uzmanlar tarafından incelenerek tanı koyma ya da teşhis için bir yol haritası belirler eğer uygulanan bir tedavi var ise tedavinin gidişatı hakkında bilgi alıp gerekli durumlarda tedavi yöntemini değiştirir. Radyofarmasötik; radyoizotoptan ve farmasötik kısımdan olabildiği gibi, sadece radyoizotoptan da oluşabilir (Gülsoy ve Oyar 2008). Nükleer tıpta radyofarmasötikler tanı dışında hastalıkların tedavisinde de kullanılır.

Hastalıkların tanısında kullanılan radyofarmasötikler ayrıca hastalıkların tedavisinde de kullanılmaktadır. Öncelikle hastalığın tanısı yapılarak o hastalığa özel kullanılacak radyofarmasötik seçilir. Daha sonra hastalığın bulgularına ve bulunduğu aşamaya göre radyofarmasötiğin dozu ayarlanır. Tiroid kanseri tedavisinde kullanılan  $^{131}\text{I}$  izotopunun dozu 3700-11100 MBq arasında olurken hipertiroid tedavisinde kullanılan  $^{131}\text{I}$  izotopu 900-1110 MBq arasında olmaktadır (Akan vd. 2016).

Nükleer tıbbın diğer tanı ve tedavi yöntemlerine kıyasla daha yararlı ve daha az yararlı olduğu durumlar; hastaya zarar vermeyen yöntemler olması alerjik olmaması ve yan etkilerinin en az seviyede olmasıdır. Negatif yanları ise hastalara verilen radyofarmasötik maddelerin hastada belli bir düzeyde radyasyon maruziyeti oluşturması. Tedavi yöntemi seçilirken nükleer tıp uygulamalarının yararları daha fazla ise tercih edilir (Köse 2014).

### 1.2.1 Radyoizotoplar

Tek nükleonlu hidrojen haricindeki elementlerin çekirdeklerinde proton (p) ve nötronlar (n) vardır. Periyodik tablonun sonlarındaki elementlerdeki nötronların protonlara oranı artmaktadır, Hafif izotoplarında ise bu oran 1'dir. Nötronların protonlara oranı arttıkça elementin kararsızlığı artmaktadır. Çekirdeğindeki nötron sayısı (N), proton sayısından (Z) fazla olduğunda çekirdek radyoaktif çekirdek olmaktadır. Kütle numarası en büyük kararlı elementin N/Z oranı 1,5'tir. N/Z oranı 1,5'un üzerine çıkınca çekirdekler kararsız hale gelmektedir. Radyoizotop denilen bu elementlerin çekirdeklerinde fazla enerji bulunmaktadır bu enerjiyi dışarıya radyasyon yayarak atarlar. Bu dışarıya enerji atma olayına radyoaktivite veya radyoaktif bozunma denir. Radyasyon yayınlama N/Z oranları kararlı seviyeye gelinceye kadar devam eder. Radyoaktif parçalanmaya uğrayan ilk çekirdek ana çekirdek olarak isimlendirilir. İlk çekirdeğin parçalanmasıyla ortaya çıkan çekirdek ürün çekirdek (kız çekirdek) olarak isimlendirilir (Şekil 1.3). Radyasyon yayınlama sürecince çekirdekte  $\beta$ ,  $\alpha$  ve  $\gamma$  radyasyonlarından bir ya da birkaçını yayımlayarak çekirdek kararlı hale gelir. Kararsız olma durumu bütün atomlarda olmadığından atomlar için ayırt edici bir özelliktir. (Kılınç 2017)



Şekil 1.3. Kararsız radyoaktif bir çekirdeğin kararlı duruma geçişi (Kılınç 2017).

### 1.2.2 Radyofarmasötikler

Tanım olarak yapısında radyoizotop bulunduran ve hastalıkların tanı ve tedavisinde kullanılan ilaçlara Radyofarmasötik diyebiliriz. Radyofarmasötik farklı şekillerde bulunabilir örneğin: radyoizotop tuzu olarak, radyoaktif element şeklinde ya da işaretlenmiş bileşik olarak da bulunabilir. İşaretlenmiş bileşik olan radyofarmasötikler iki kısımdan oluşur bunlar; biyoaktif bileşen ve radyoizotop kısımları. Radyofarmasötiği hazırlarken öncelikle hedef organ ya da dokuda spesifik olarak bulunan bir biyoaktif

bileşen seçilir. Kullanılacak bu biyoaktif bileşenin temiz ve güvenilir olmasına özen gösterilir. Seçilen biyoaktif bileşene bağlanacak radyoizotopun yayınladığı ışınlar ile çevresindeki hücreleri imha eden ve dışardan gözlemlenebilen bir radyoizotop olması gereklidir. Biyoaktif bileşenin radyoizotopa bağlanmasına işaretleme denir. Tedavi etkisine sahip olmayan radyofarmasötikler ise tanı amacı ile eser miktarda kullanılır. İlaçlardan farkları ise radyoaktif olmaları ve insan hayatı boyunca birkaç defa verilebilmeleri (Kılınç 2017).



## 2 KAYNAK TARAMASI

Curie’lerin yapay radyoaktiviteyi keşfetmelerinden sonra bu alanda hızlı bir gelişmeye yol açmış atom çekirdeğine ait bilgilerimizin artması sonucu olarak “Nükleer Tıp” ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde de radyoloji alanındaki çalışmalar 1890’lı yıllarda tıp öğrencisi iki Türk subayının kimya ve fizik bilimlerine olan ilgileri sayesinde başlatılmıştır. ‘La Samaine Medicale’ isimli Fransız bir gazetede X-ışınlarının bulunuşunu öğrenen Rıfat Osman ve Esat Fevzi, Gülhane Askeri Tıbbiye hastanesinde Crooks gazlı katot ışını tüpü, Ruhmkorft bobini ile yaptıkları pilleri kullanarak basit bir röntgen cihazı meydana getirmişlerdir. Sonrasında nükleer tıp alanında ilk girişimler 1953’te İstanbul’da Suphi Altunkal öncülüğünde kurulan Radyoizotop Laboratuvarında hipertiroid tedavisinde <sup>131</sup>I kullanıp olumlu sonuçlar alınması üzerine hızla yaygınlaşmıştır. 1961 yılında Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezinin kurulması ile Türkiye’de radyoizotop üretimine başlayarak, nükleer tıpta en çok kullanılan Teknesyum radyoizotopunu ilk kullanan ülkeler arasında yer almıştır. 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu kurularak bu konudaki çalışmalara destek olunmaya çalışılmıştır. 1960’ların başında ise Fevzi Renda öncülüğünde Ankara Üniversitesinde kurulan Radyobiyojoloji Enstitüsü Türkiye’de nükleer tıbbın gelişiminde hızlandırıcı bir role sahip olmuştur.

Radyofarmasötikler 1960’lerde tıp alanında yaygın kullanılmasından önce de insanlar da tanı ve tedavi amacıyla kullanılan radyoaktif ilaçlar olan radyofarmasötikler isimlendirmesi ancak 1960’lardaki tıp alanında yaygın kullanımından sonra olmuştur.

<sup>131</sup>I ilk olarak Glenn T. Seaborg ve John Livingood tarafından 1930’larda California Üniversitesinde keşfettiler. Hipertiroidi hastalığının tedavisinde küçük dozlarda <sup>131</sup>I kullanılırken, tiroid kanseri tedavisinde daha yüksek aktiviteye sahip radyoaktif iyot kullanılır (Nostrand ve Wartofsky 2007).

Hipertiroidizm tedavisi gören hastalar üzerinde yapılan büyük ölçekli bir epidemiyolojik çalışma, modele dayalı dozimetri yöntemini kullanmıştır. Ron ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada (Ron vd. 1998), organ dozlarını hesaplamak için stilize fantomlar temelli S değerleri (ICRP 1988) kullanılmıştır. Lemart vd. (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise daha önce yetişkinler için hesaplanan <sup>131</sup>I için S değeri veri tabanı genişletilmiştir. Bu genişletilmiş veri tabanı, daha geniş bir radyonüklid yelpazesini ve pediatrik hesaplamalı insan fantomlarını içermektedir.

OLINDA/EXM.1.0 (Stabin vd. 2005), IDAC (Johansson 1985) ve MIRDose (Stabin 1996) isimli hesaplama araçları NCINM’in gelişimine kadar kullanılan en yaygın dozimetre hesaplama araçlarıdır. Bu hesaplamaların doğruluk düzeyi daha çok hesaplamalı insan fantomlarının anatomik duyarlılığına bağlıdır. Stilize fantomlar (Cristy 1980) olarak adlandırılan hesaplamalı fantomlar, anatomik yapıların basit matematiksel denklemlerle tanımlandığı bir yöntemdir. Voksel ve daha sonra gelişmelerin devamında ulaşılan hibrit fantomlar sayesinde daha gerçekçi fantomlara piyasaya sürülmüştür.

Bu fantomlar kullanıldığında ise organlardaki absorbe edilen dozların daha doğru hesaplandığı gözlemlenmiştir. Gerçekçi fantomların kullanımının organ absorbe edilen dozları daha hassas bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan çalışmalar Chao ve Xu (2001), Yoriyaz vd. (2001), Zank vd. (2003), Lee vd. (2007), Lemart vd. (2011) ve Marcatili vd. (2015) olarak sıralanabilir.



### 3 MATERYAL VE METOD

Tez çalışmasında Hipertiroid tedavisinde kullanılan I-131 radyoizotopunun aktivitesine göre komşu organların aldığı radyasyon dozlarını Monte Carlo yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.

#### 3.1 İyot ve İzotopları

İyot ilk olarak Fransız kimyacı Bernard Courtois tarafından su yosunu küllerinden sodyum ve potasyumu ayrıştırırken tesadüfen keşfedildi. İyot genelde kararlı  $^{127}\text{I}$  olarak doğada bulunur. İyot alkolde ve suda çözünemediğinden dolayı en çok denizlerde ve su yosunları, süngerler gibi deniz canlılarında bulunur.

İyot süblimleşme özeliği gösteren nadir maddelerden bir tanesidir. İyot buharı gözler ve solunum yolunu tahriş eden zararlı bir gazdır. Erime noktası  $113,5^\circ\text{C}$  kaynama sıcaklığı ise  $184,3^\circ\text{C}$ 'dir. İyot doğada kolay kolay saf halde bulunmaz daha çok bileşikler halinde bulunur. Bunun nedeni kolay bir şekilde reaksiyona girmesi.

**Çizelge 3.1.**  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$  izotoplarının radyoaktif özellikleri

| İzotop           | Yarı ömür     | Belirli Aktivite (Ci/g) | Bozunma Şekli | Radyasyon Enerjisi (MeV) |                  |                   |
|------------------|---------------|-------------------------|---------------|--------------------------|------------------|-------------------|
|                  |               |                         |               | Alfa ( $\alpha$ )        | Beta ( $\beta$ ) | Gama ( $\gamma$ ) |
| $^{129}\text{I}$ | 16 milyon yıl | 0,00018                 | $\beta$       | -                        | 0,064            | 0,025             |
| $^{131}\text{I}$ | 8 gün         | 130 000                 | $\beta$       | -                        | 0,19             | 0,38              |

İyodun bir sürü izotopu vardır bunları bazıları radyo aktif iken bazıları radyoaktif değildir. En çok bulunan radyoaktif izotopları  $^{131}\text{I}$  ve  $^{129}\text{I}$ 'dur.  $^{129}\text{I}$  atmosfere giren yüksek enerjili parçacıkların ksenon ile etkileşmesi sonucu oluşur. Doğadaki kararlı  $^{127}\text{I}$ 'nin radyoaktif  $^{129}\text{I}$ 'a bulunma oranı on milyonda birden fazladır. Radyoaktif olan  $^{131}\text{I}$  ve  $^{129}\text{I}$  nükleer patlamalar ve nükleer reaktörlerde uranyumun fisyonu sonucu ortaya çıkar. Radyoaktif iyot izotoplar şu şekilde oluşur:  $^{235}\text{U}$ 'nun fisyonu sonucu kütle numarası 90 ve 140 arasında olan iki parçaya bölünürken aynı zamanda 2 veya 3 nötronda ortaya çıkabilir. Bu süreç sonunda  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$  de ortaya çıkan iki üründür. Fisyonun  $^{129}\text{I}$  verimi %1 iken  $^{131}\text{I}$ 'un verimi üç kat fazla %3'tür. Reaktörlerin kullanmış olduğu yakıtların tekrar işlenmesi ve kullanılmış nükleer atıklarda  $^{129}\text{I}$  bulunmaktadır (Çam vd. 2008).  $^{129}\text{I}$  ve  $^{130}\text{I}$  radyoizotoplarının radyoaktif özellikleri yukarıda Çizelge 3.1'de verilmiştir. Beta bozunumu yapan  $^{129}\text{I}$ 'un yarı ömrü on altı milyon yıldır. İyodun diğer radyoizotoplarının yarı ömürleri iki aydan daha kısadır. Nükleer tıpta en çok kullanılan iyot radyo izotoplarından  $^{131}\text{I}$ 'un yarı ömrü ise sekiz gündür. İyodun bazı izotopları tanıda yaygın olarak kullanılır bunlardan bazıları;  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$ 'dır. Bunların yarı ömürleri çok kısa olduğu için hedef dokuda bir sorun teşkil etmezler. Fiziksel özellik olarak radyoaktif

ve kararlı iyotlar arasında bir farklılık bulunmamakla birlikte radyoaktif iyotlar zamanla bozunur (Çam vd. 2008).

### 3.1.1 İyot Radyoizotoplarının Sağlık Alanında Kullanımı

İyot ve alkol karıştırılıp sulandırılması ile yapılan tentürdiyot, kesik tedavilerinde deriye sürülerek kullanılır.

Radyoaktif iyot, tıbbi alanda en yaygın kullanılan radyonüklidler arasında yer alır. Yaygın kullanılmasının nedeni moleküler bağlamada iyot kolaylıklar sağladığı içindir. Tanıda ve görüntülemelerde iyodun yaygın kullanılması bu avantajlarından dolayıdır. İyot vücudumuzda en çok Tiroid bezinde toplanmasından dolayı tiroid bezi hastalıklarının teşhisinde kolaylık sağlar. Tiroidteki tiroksin hormonu salınımını izlemeyi sağlayan  $^{131}\text{I}$  sekiz günlük kısa yarı ömründen dolayı doksan günde vücut tarafından dışarıya atılır.  $^{123}\text{I}$  görüntülemelerde  $^{124}\text{I}$  ise bağışıklık sisteminin tedavisinde  $^{125}\text{I}$  kanser tedavisinde kullanılırken  $^{129}\text{I}$  ise radyoaktif teşhis sayaçlarının kontrolünde kullanılır (Çam vd. 2008).

### 3.2 Başlıca Sağlık Etkileri

İnsan bedeninde bulunan iyot miktarı yaklaşık olarak 10-20 mg arasındadır bunun %90'ı tiroid bezinde bulunur. Tiroid bezi iyodu büyüme hormonu ile metabolizma düzenleyici hormonlarının üretiminde kullanır. Tiroid insan vücudu için çok önemli bir salgı bezi olmasından dolayı bu bezin çalışması ile ilgili en ufak sorunlar bile vücudumuzun genel işleyişi ile ilgili problemler oluşur.

Tiroid hormonunun yapısına katılan iyot insan vücudu için önemli bir elementtir. Guatr hastalığı iyot eksikliğinde ortaya çıkan bir rahatsızlıktır. Gaz halindeki iyot insan sağlığı için olumsuz olabilmektedir. Gaz halindeki iyot gözlerde ve akciğerde tahribata yol açabilmektedir. İyot vücuda akciğerler ve sindirim sistemi ile alınıp kana karışabilmektedir.

İyodun yüksek dozları sağlık için bir risk oluştururken  $^{131}\text{I}$ , radyoaktif olmasından dolayı yüksek enerjili beta parçacıkları ve gama ışınları yayımlar. Tiroid de biriken  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$  vücut dışından ölçülebilecek seviyelere çıkabilir. Geri kalanlar kandan idrara geçerek vücut dışına atılır. Solunun yolu ile vücuda geçen  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$  akciğerler tarafından emilerek kana geçer, kana geçen  $^{129}\text{I}$  ve  $^{131}\text{I}$ 'un %30'u tiroidde birikir. Dolaşımdaki iyodun %20'si dışkı yolu ile vücuttan uzaklaştırılırken kalan kısmı zamanla vücuttan atılır. İyodun insanların tiroidinde yarılanma ömrü yaşa bağlı olarak yetişkinlerde seksen günde iken beş yaşındaki çocuklarda yirmi üç güne düşerken beş yaş altı çocuklarda ise on bir güne kadar düşmektedir. İyodun farklı organlardaki biyolojik yarı ömürleri de farklıdır (Böbrek, dalak ve üreme organlarında yedi gün, kemikte on dört gün iken tiroid de ise yüz günü bulabilmektedir) (Çam vd. 2008).

Sağlık açısından tehlike arz eden radyoaktif iyot elementinden iyonize radyasyon ışımaları tiroid tümörü riski barındırmaktadır. Uzun süre maruz kalınan radyoaktif iyot tiroid bezi nodüllerine ve tiroid kanserine sebebiyet verebilirler. Tiroid kanseri tedavisinde yine radyoaktif iyot kullanılır (Nostrand ve Wartofsky 2007).

Hipertiroidi hastalığının tedavisinde küçük dozlarda  $^{131}\text{I}$  kullanılır. Küçük dozlardaki  $^{131}\text{I}$  tiroid bezinin çalışmasını yavaşlatarak kana daha az tiroid hormonu salınımını destekler. Vücuda enjekte edilecek sekiz gün yarı ömürlü  $^{131}\text{I}$  dışardan izlenebilmektedir. Metabolik fonksiyonun süresine bağlı olarak hastada hipertiroidi ya da yavaş çalışan tiroid bezi olduğu sonucuna varılır. Hekimler, radyoaktif iyot kullanırken hasta açısından faydaları ve olası riskleri arasındaki dengeyi gözetmeleri gerekir. Çünkü dışardan uygulanan bu ekstra düşük dozlar hastada kanser oluşumunu hızlandırabilir ya da hipertiroidi yavaşlatarak sağlıklı hale getirebilir (Çam vd. 2008).

Genellikle hipertiroidinin metabolik etkilerine yani fazlaca salınan tiroid hormonlarının dokularda oluşturduğu etkilere Tirotoksikoz denir. Daha çok hipertiroidiye bağlı gelişir. Toksik nodüller guatr (TNG) ve Graves hastalığı hipertiroidinin başlıca iki ana nedenini oluşturmaktadır (Wartofsky ve Ingbar 1991). Graves hastalığı ve TNG'a bağlı hipertiroidinin tedavisinde:

- 1) Tiroid dokusunun ablasyonu,
- 2) Yeni hormon sentez ve salınımının engellenmesi,
- 3) Tiroid hormonlarının dokulardaki tesirinin inhibisyonu ve/veya periferik tiroksin ( $\text{T}_4$ )'in ( $\text{T}_3$ )'e dönüşümünün engellenmesi hedeflenmektedir.

Bu hastalık ile mücadele yöntemleri genellikle cerrahi operasyonlar, radyasyon tedavisi ve antitiroid ilaç kullanımı şeklindedir. Gençler ve çocukların dokularının radyasyona karşı daha hassas olmasından dolayı radyoaktif iyot tedavisi daha çok erişkinlerde tavsiye edilmektedir.

$^{131}\text{I}$ , beta enerjisinin pik değeri 0,61 MeV ve yarılanma ömrü 8,04 gün olan bir radyonükliddir.  $^{131}\text{I}$ 'in tiroid bezi tarafından tutulması daha sonra tiroid hormonunun sentezlenmesinde aktif olarak katılımı hipertiroidi tedavisi için dahili seçici radyoterapi imkânı sağlar. Beta parçacığı iyonizasyon ve kromozal hasar hücrelerin replikasyon yeteneklerinin kaybına neden olur (Hans ve Frank 1995). Verilen dozun artışına bağlı olarak folikül hücreleri inhibe olup hormon üretememeye başlar. Tedavinin başarılı olması radyonüklidin tutulum miktarına, yarı ömrüne, doku içindeki dağılımına, tiroid bezinin ağırlığına ve hedef dokunun radyosensitivitesine bağlıdır (John vd. 1987).

### 3.3 NCINM (National Cancer Institute Dosimetry System for Nuclear Medicine)

Nükleer Tıp alanında PET'in CT ve SPECT'in gelişimi ile son dönemde uygulama ve yöntemlerde gelişmeler yaşanmıştır (NCRP 2009, 2019). 1980 ve 2016 tarihleri arasında nükleer tıp uygulamalarında kişi başına senelik etkili doz 0,14 mSv dan

0,32 mSv'a çıkmıştır. CT'nin Tıp alanındaki kullanımından sonra radyasyona tıbbi maruziyette ikinci sıraya yerleşmiştir (2016'da ~1,5 mSv) (NCRP 2009, 2019). Yüksek değerdeki bu maruziyetin sağlık üzerindeki etkilerinin belirlenmesi açısından radyasyona karşı hassas organların maruz kaldığı radyasyon dozunun doğru tahmin etmeyi gerektirir. MIRD (Medical Internal Radiation Dosimetry) yaklaşımına dayanan iki yaklaşım geliştirilmiştir bunlar hastaya ait görüntülerinin bulunması ve dozimetrede ihtiyaç olunan doğruluğa bağlıdır (Loevinger vd. 1991).

Birinci yaklaşım modele dayalı dozimetri yöntemi isimli yaklaşım, bu yaklaşımda Monte Carlo radyasyon taşıma yöntemleri ile birleştirilmiş hesaplamalı hasta fantomlarından hesaplanan, S değerleri şeklinde isimlendirilen organ doz dönüşüm katsayıları ile verilen radyofarmasötüğün biyokinetik verilerini ihtiva eder. Bilimsel ve klinik çevrede en çok kullanılan model tabanlı dozimetri yaklaşımının OLINDA/EXM.1.0 (Stabin vd. 2005), IDAC (Johansson 1985) ve MIRDose (Stabin 1996) hesaplama araçlarıdır. Bu yaklaşımın doğruluk düzeyi daha çok hesaplamalı insan fantomlarının anatomik duyarlılığına bağlıdır. Stilize fantomlar (Cristy 1980) olarak adlandırılan hesaplamalı fantomlar, anatomik yapıların basit matematiksel denklemlerle tanımlandığı bir yöntemdir. Ancak voksel ve daha sonra hibrit fantomların geliştirilmesiyle birlikte, gerçekçi fantomlar kullanıldığında organlardaki absorbe edilen dozların stilize fantomlara kıyasla önemli ölçüde daha doğru hesaplandığı gözlemlenmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar, gerçekçi fantomların kullanımının organ absorbe edilen dozları daha hassas bir şekilde tahmin edilmesini sağlamıştır (Chao ve Xu 2001; Yoriyaz vd. 2001; Zank vd. 2003; Lee vd. 2007; Lemart vd. 2011; Marcatili vd. 2015).

Özetlemek gerekirse fonksiyonel ve anatomik görüntüleme kullanarak Monte Carlo simülasyonunu tamamlamak, karmaşık bir süreçtir, geniş bir zaman ve uzmanlık gerektirir. Bu yöntem doğru dozimetri sonuçlarını elde etmek ve dahili radyasyon dozlarını daha kesin bir şekilde değerlendirmek için ileri düzey araştırmalar ve uygulamalar için kullanılmaktadır. Hastaların anatomik veya fonksiyonel görüntülerine erişimde yaşanan zorluklar nedeniyle, hastaya özgü dozimetri yöntemi, büyük ölçekli doz rekonstrüksiyonunu gerektiren radyasyonla ilişkili sağlık risklerinin epidemiyolojik çalışmalarında uygun olmayabilir. Hipertiroidizm tedavisi gören hastalar üzerinde yapılan büyük ölçekli bir epidemiyolojik çalışma, modele dayalı dozimetri yöntemini kullanmıştır. Ron ve arkadaşları tarafından yapılan orijinal çalışmada (Ron vd. 1998), organ dozlarını hesaplamak için stilize fantomlar temelli S değerleri (ICRP 1988) kullanılmıştır. Lemart vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, daha önce yetişkinler için hesaplanan <sup>131</sup>I için S değeri veri tabanı genişletilmiştir. Bu genişletilmiş veri tabanı, daha geniş bir radyonüklid yelpazesini ve pediatrik hesaplamalı insan fantomlarını içermektedir. Pediatrik ve yetişkin S değerlerinin birleştirilmesiyle, Ulusal Kanser Enstitüsü Nükleer Tıp Dozimetri Sistemi (NCINM) adında bir grafik kullanıcı ara yüzü tabanlı yazılım geliştirilmiştir, böylece organ doz hesaplamaları daha kolay bir hale gelmiştir.

NCINM, MIRD formalizmine dayanan ve yaygın olarak kabul gören bir programdır (Loevinger vd. 1991). Bu program, üç aşamada geliştirilmiştir. İlk olarak, çeşitli pediatrik ve yetişkin hesaplamalı insan fantomları içindeki kaynak ve hedef

bölgelerin kombinasyonları için kapsamlı bir spesifik absorbe edilmiş fraksiyonlar (SAF) kütüphanesi, Monte Carlo radyasyon taşıma koduyla birleştirilerek hesaplanmıştır. İkinci olarak, SAF'lerden ve ICRP Yayını 107'den (ICRP 2008a) elde edilen nükleer bozunma verilerinden oluşan bir S değerleri kitaplığı oluşturulmuştur. Son olarak, dozimetri sürecini kolaylaştırmak amacıyla grafik kullanıcı arayüzü (GUI) tabanlı bir program geliştirilmiştir.

### 3.4 Hesaplamalı İnsan Fantom Serisi

Fantom serisi, yeni doğmuş, 1, 5, 10, 15 yaşındaki çocukları ve yetişkinleri temsil eden erkek ve dişi pediatrik ve yetişkin fantomlarını içermektedir. Fantomların anatomisi, ICRP Yayını 89'dan (ICRP 2002) elde edilen referans verilerle ve ICRP Yayın 100'den (ICRP 2006) elde edilen referans verileriyle uyumlu olarak tasarlanmıştır. Doku yoğunlukları ve element bileşimleri, Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) tarafından ICRP Yayını 89 ve Rapor 46'da (1992) bildirilen referans verilerinden elde edilmiştir. Orijinal fantomlar, tek biçimli olmayan rasyonel B-spline (NURBS) ve çokgen örgü formatında oluşturulmuştur ve Monte Carlo radyasyon taşıma simülasyonları için voksel formatına dönüştürülmüştür.

### 3.5 Grafiksel Kullanıcı Arayüzü

Geliştirilen arayüz, kullanıcının parametreleri girmesini ve hedef bölge dozunun hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. Kullanıcı giriş verileri arasında şunlar bulunmaktadır.

- Hastanın cinsiyetinin seçimi: erkek veya kadın;
- Hastanın yaşının seçimi: 0, 1, 5, 10, 15 yaş veya yetişkin;
- 299'dan radyonüklid seçimi;
- Uygulanan aktivitenin MBq veya mCi cinsinden manuel girişi;
- 68 bölgeden kaynak bölgelerin seçimi;
- Biyokinetik verilerin manuel girişi: kalma süresi (saat) veya kümülatif faaliyetler (MBq-s).

Aşağıdaki çıktı gerçek zamanlı olarak görüntülenecektir:

- Kullanıcı arayüzünde listelenen tüm hedef bölgeler için uygulanan birim aktivite başına absorbe edilen dozlar (mGy/MBq) ve absorbe edilen dozlar (mGy);
- ICRP Yayını 60 (ICRP, 1991) ve 103'e (ICRP, 2007) dayalı iki etkili doz (mSv),
- Hedef bölge kütlesi,
- Seçilen kaynak ve hedef bölgeler, seçilen fantom ve seçilen radyonüklid (metin formatında indirilebilir) için S değerleri (mGy/MBq.s)

Absorbe doz katsayısı aşağıdaki Denklem (2.1) ile hesaplanmaktadır. Burada Denklem (2.1) de hedef bölge  $r_T$ 'ye uygulanan birim aktivite başına absorbe dozlar (mGy/MBq);

$$\frac{D(r_T)}{A_0} = \sum_{r_S} \frac{\dot{A}(r_S)}{A_0} S(r_T \leftarrow r_S) \quad (2.1)$$

şekilinde hesaplanır. Burada;  $\frac{\dot{A}(r_S)}{A_0}$ , kaynak doku  $r_S$ 'de uygulanan birim aktivite (s) başına kümülatif aktivitedir ve  $S(r_T \leftarrow r_S)$ , kaynak bölgesi  $r_S$  ve hedef bölge  $r_T$  için S değeridir. Farklı kullanıcı tercihlerine ve uygulamalara uyacak şekilde üç otomatik birim dönüştürme programlanmıştır: MBq ve mCi arasında uygulanan aktivite; kalma süresi (saat) ile kalma süresinden türetilen kümülatif aktivite (MBq-s) ve uygulanan aktivite arasında ve uygulanan aktiviteden (MBq) türetilen soğurulan doz (mGy) ile uygulanan aktivite başına soğurulan doz (mGy/MBq) arasındadır. Doz hesaplama işleminin verimliliğini artırmak için tek bir pencerede giriş ve çıkış için iki panel düzenlenmiştir. Ayrıca birçok hasta için toplu modda absorbe edilen dozu otomatik olarak hesaplamak için bir modül oluşturulmuştur. Kullanıcıların doz hesaplamalarında hastaya özel organ kütlelerini hesaba katabilmeleri için bir organ kütlesi ölçekleme seçeneği eklenmiştir. Hedef organın kütlesi ancak kaynak olarak aynı organ seçildiğinde değiştirilebilir. MIRD yayınında (Snyder vd. 1975), foton SAF'leri kütlenin üçte iki gücüyle ve elektron SAF'leri kütlenin ters gücüyle ölçeklendirmeyi önerir. SAF'lerin bu şekilde ölçeklendirilmesi, yazılımın performansını yavaşlatacaktır, bu nedenle elektron katkısının potansiyel olarak küçümsenmesine rağmen, önceden hesaplanmış S değerlerinin kütlenin üçte iki gücüyle doğrudan ölçeklendirilmesi uygulanmıştır:

$$S(r_T \leftarrow r_S)_{hasta} = S(r_T \leftarrow r_S)_{fantom} \times \left( \frac{m_{T_{fantom}}}{m_{T_{hasta}}} \right)^{2/3} \quad (2.2)$$

$S(r_T \leftarrow r_S)_{hasta}$  belirli bir hasta için ölçeklenmiş bir S değeridir,  $S(r_T \leftarrow r_S)_{fantom}$  karşılık gelen bir fantomdan önceden hesaplanmış bir S değeridir,  $m_{T_{fantom}}$  fantomun hedef organ kütlesidir ve  $m_{T_{hasta}}$  hastanın hedef organ kütlesidir.

### 3.6 NCINM Kodu

Şekil 3.1, NCINM programının grafik kullanıcı arayüzünü göstermektedir. Bu arayüz, enerji spektrumlarıyla birleştirilmiş kapsamlı bir S değerleri kütüphanesini içerir,

bu da toplam 299 radyonüklid için NCI fantom serisinden türetilmiştir. Sol panelde, 585 MBq  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD'nin bir 15 yaşındaki kadına uygulandığı bilgiler yer almaktadır (otomatik olarak 15,8 mCi'ye dönüştürülür). Orta panelde ise biyokinetik veriler gösterilmekte ve sağ panelde ise hedef organ dozları (mGy) ve uygulanan aktivite başına düşen doz (mGy/MBq), 55 hedef bölgenin kütlesiyle birlikte sunulmaktadır. Sağ panelin altında, ICRP Yayınları 60 ve 103'e dayalı iki etkili doz gösterilmektedir. Kullanıcılar, orta panelin altında yer alan 'S değerlerini dışa aktar' düğmesini kullanarak seçilen kaynak bölgeler için S değerlerini dışa aktarabilirler.

**INPUT PANEL**

NCI Data

NCI Phantom Gender: ☐ Male ☒ Female

NCI Phantom Age: ☐ 0-year ☐ 1-year ☐ 5-year ☒ 10-year ☐ 15-year ☐ Adult

Radionuclide:

Administered activity (MBq):

Administered activity (mCi):

**Source region**

| Source region         | S value | Residence Time (h) | Cumulated Activity (MBq-s) |
|-----------------------|---------|--------------------|----------------------------|
| Bronchi               |         |                    |                            |
| Colon L C             | 0.325   |                    | 6.844e+5                   |
| Colon L W             |         |                    |                            |
| Colon R C             | 0.4118  |                    | 8.673e+5                   |
| Colon R W             |         |                    |                            |
| Colon Rect C          | 0.1232  |                    | 2.593e+5                   |
| Colon Rect W          |         |                    |                            |
| Cortical Bone Marrow  |         |                    |                            |
| Cortical Bone Mineral |         |                    |                            |
| Esophagus Fast        |         |                    |                            |
| ET2                   |         |                    |                            |
| Gall Bladder C        | 0.19    |                    | 4.001e+5                   |
| Gall Bladder W        |         |                    |                            |
| Gonads                |         |                    |                            |
| Heart Wall            |         |                    |                            |
| Kidney L              |         |                    |                            |
| Kidney L Cortex       |         |                    |                            |
| Kidney L Medulla      |         |                    |                            |
| Kidney L Pelvis       |         |                    |                            |
| Kidney R              |         |                    |                            |
| Kidney R Cortex       |         |                    |                            |
| Kidney R Medulla      |         |                    |                            |
| Kidney R Pelvis       |         |                    |                            |
| Kidney RL             | 0.13    |                    | 2.730e+5                   |
| Lenses of Eye         |         |                    |                            |
| Liver                 | 0.27    |                    | 5.688e+5                   |
| Lung L                |         |                    |                            |
| Lung R                |         |                    |                            |
| Lung RL               | 0.082   |                    | 1.777e+5                   |
| Lymph Nodes ET        |         |                    |                            |
| Lymph Nodes but ET/Th |         |                    |                            |
| Lymph Nodes Thoracic  |         |                    |                            |
| Muscle                |         |                    |                            |
| Nasal Anterior        |         |                    |                            |
| Nasal Posterior       |         |                    |                            |

**OUTPUT PANEL**

| Target region              | Organ Mass (g) | Organ Dose (mGy) | Dose per administered activity (mGy/MBq) |
|----------------------------|----------------|------------------|------------------------------------------|
| Kidney medulla L           | 43.24          | 5.815e+0         | 9.94e-3                                  |
| Kidney medulla R           | 43.24          | 6.237e+0         | 1.066e-2                                 |
| Kidney pelvis L            | 17.97          | 9.926e+0         | 1.673e-2                                 |
| Kidney pelvis R            | 17.97          | 6.398e+0         | 1.094e-2                                 |
| Lenses of eye              | 0.39           | 7.701e-1         | 1.316e-3                                 |
| Liver                      | 1652           | 3.616e+0         | 6.181e-3                                 |
| Lung                       | 1142.7         | 1.295e+0         | 2.221e-3                                 |
| Lung L                     | 560.37         | 1.419e+0         | 2.419e-3                                 |
| Lung R                     | 652.26         | 1.626e+0         | 2.729e-3                                 |
| Lymph nodes ET             | 13.02          | 9.819e-1         | 1.679e-3                                 |
| Lymph nodes but ET&Th      | 111.13         | 2.185e+0         | 3.741e-3                                 |
| Lymph nodes thoracic       | 12.93          | 2.19e+0          | 3.742e-3                                 |
| Muscle                     | 17120          | 1.033e+0         | 1.786e-3                                 |
| Nasal passage Ant          | 0.51           | 5.179e-1         | 8.853e-4                                 |
| Nasal passage Post-pharynx | 9.26           | 1.407e+0         | 2.405e-3                                 |
| Oesophagus                 | 47.49          | 1.263e+0         | 2.158e-3                                 |
| Oral mucosa                | 8.36           | 9.314e-1         | 1.592e-3                                 |
| Pancreas                   | 121.07         | 3.028e+0         | 5.178e-3                                 |
| Pituitary gland            | 0.5            | 3.112e+0         | 5.319e-3                                 |
| Prostate or Uterus         | 30.05          | 1.174e+1         | 2.008e-2                                 |
| Salivary glands            | 63.35          | 9.258e-1         | 1.583e-3                                 |
| Sigmoid-rectum W           | 55.9           | 6.435e+0         | 1.1e-2                                   |
| Skin                       | 1816.6         | 7.085e-1         | 1.208e-3                                 |
| Small intestine W          | 652.96         | 4.934e+0         | 8.434e-3                                 |
| Spinal cord                | 54.24          | 1.425e+0         | 2.435e-3                                 |
| Spleen                     | 176.4          | 1.335e+0         | 2.283e-3                                 |
| Stomach W                  | 137.69         | 2.313e+0         | 3.954e-3                                 |
| Thymus                     | 30.12          | 9.133e-1         | 1.581e-3                                 |
| Thyroid                    | 14.12          | 4.168e+0         | 7.126e-3                                 |
| Tongue                     | 53             | 8.958e-1         | 1.538e-3                                 |
| Tonsils                    | 3              | 1.101e+0         | 1.882e-3                                 |
| Ureters                    | 5.18           | 5.168e+0         | 8.835e-3                                 |
| Urinary bladder W          | 34.96          | 1.924e+1         | 3.288e-2                                 |
| Active Marrow              | 1250.9         | 4.603e+0         | 7.877e-3                                 |
| Shallow Marrow             | 414.96         | 3.644e+0         | 6.229e-3                                 |

Effective dose ICRP60 (mSv): **8.649e+0**

Effective dose ICRP103 (mSv): **7.589e+0**

**Şekil 3.1.** NCINM programının grafik kullanıcı arayüzü, 585 MBq  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD ile uygulanan 15 yaşındaki kadın fantom için doz hesaplama örneği (Violling vd. 2020)

#### 4 BULGULAR

Bu çalışmada, 666 MBq veya 18 mCi aktivitesine sahip olan  $^{131}\text{I}$  radyoizotopu, farklı yaşlardaki bir çocuk fantomunun tiroid bezine yarım saat boyunca yerleştirilmiştir. Bu aktivite seviyesi, hipertiroidi tedavisi için genellikle tercih edilen bir aralıktır. Hesaplamalar, tiroid bezi, timus ve lenf düğümleri tarafından absorbe edilen dozları belirlemek ve bunları birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Seçilen fantom, yeni doğmuş bir çocuğa aittir ve Şekil 4.1'deki parametrelerin girildiği bir giriş penceresinde kullanılmıştır.

**INPUT PANEL**

NCI data ICRP data

NCI Phantom Gender: ☒ Male ☐ Female

NCI Phantom Age: ☒ 0-year ☐ 1-year ☐ 5-year ☐ 10-year ☐ 15-year ☐ Adult

Radionuclide: I-131

Administered activity (MBq): 666

Administered activity (mCi): 18

**OUTPUT PANEL**

| Target region              | Organ Mass (g) | Organ Dose (mGy) | Dose per administered activity (mGy/MBq) |
|----------------------------|----------------|------------------|------------------------------------------|
| Kidney medulla L           | 4.24           | 6.584e-1         | 9.885e-4                                 |
| Kidney medulla R           | 4.24           | 5.999e-1         | 8.953e-4                                 |
| Kidney pelvis L            | 1.61           | 6.351e-1         | 9.536e-4                                 |
| Kidney pelvis R            | 1.61           | 5.782e-1         | 8.682e-4                                 |
| Lenses of eye              | 0.13           | 3.665e+0         | 5.502e-3                                 |
| Liver                      | 158.56         | 1.625e+0         | 2.441e-3                                 |
| Lung                       | 89.34          | 6.237e+0         | 9.366e-3                                 |
| Lung L                     | 46.22          | 6.073e+0         | 9.119e-3                                 |
| Lung R                     | 46.85          | 6.388e+0         | 9.591e-3                                 |
| Lymph nodes ET             | 1.39           | 5.57e+1          | 8.364e-2                                 |
| Lymph nodes but ET&Th      | 11.86          | 2.148e+0         | 3.225e-3                                 |
| Lymph nodes thoracic       | 1.4            | 9.366e+0         | 1.406e-2                                 |
| Muscle                     | 960.62         | 4.878e+0         | 7.324e-3                                 |
| Nasal passage Ant          | 0.09           | 4.249e+0         | 6.38e-3                                  |
| Nasal passage Post+pharynx | 0.69           | 5.365e+0         | 8.055e-3                                 |
| Oesophagus                 | 3.41           | 2.389e+1         | 3.587e-2                                 |
| Oral mucosa                | 0.74           | 7.272e+1         | 1.092e-1                                 |
| Pancreas                   | 7.72           | 8.122e-1         | 1.22e-3                                  |
| Pituitary gland            | 0.11           | 5.288e+0         | 7.94e-3                                  |
| Prostate or Uterus         | 0.8            | 1.467e-1         | 2.203e-4                                 |
| Salivary glands            | 6              | 3.548e+1         | 5.328e-2                                 |
| Sigmoidrectum W            | 2.98           | 2.498e-1         | 3.751e-4                                 |
| Skin                       | 125.8          | 1.877e+0         | 2.819e-3                                 |
| Small intestine W          | 40.69          | 4.26e-1          | 6.397e-4                                 |
| Spinal cord                | 6.45           | 1.486e+0         | 2.124e-3                                 |
| Spleen                     | 13.52          | 1.425e+0         | 2.139e-3                                 |
| Stomach W                  | 8.43           | 1.131e+0         | 1.698e-3                                 |
| Thyroid                    | 12.88          | 2.637e+1         | 3.96e-2                                  |
| Tonsils                    | 1.47           | 2.367e+4         | 3.554e+1                                 |
| Tongue                     | 3.52           | 5.914e+1         | 8.88e-2                                  |
| Trabecular Bone Marrow     | 0.11           | 4.868e+1         | 7.309e-2                                 |
| Trabecular Bone Mineral    | 0.35           | 4.051e-1         | 6.083e-4                                 |
| Ureters                    | 3.99           | 1.998e-1         | 3e-4                                     |
| Urinary bladder C          | 70.88          | 9.948e+0         | 1.494e-2                                 |
| Urinary bladder W          | 39.15          | 1.128e+1         | 1.694e-2                                 |
| Active Marrow              |                |                  |                                          |
| Shallow Marrow             |                |                  |                                          |

Effective dose ICRP60 (mSv): 1.189e+3

Effective dose ICRP103 (mSv): 9.539e+2

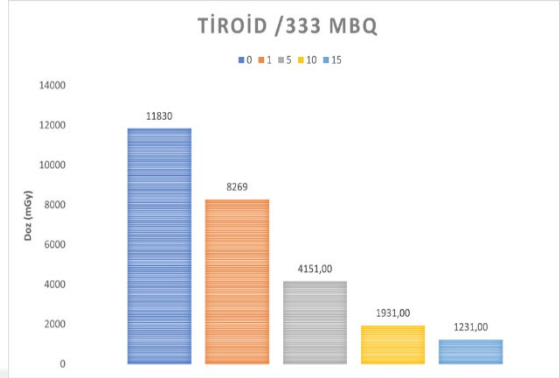
Şekil 4.1. Yeni Doğmuş Bir Erkek Çocuk için NCINM Kodu Giriş Penceresi

Four screenshots of the NCINM software interface showing the selection of different age groups (0-year, 1-year, 5-year, 10-year, 15-year, Adult) for the phantom. Each screenshot shows a 3D model of the phantom and the input fields for radionuclide and activity.

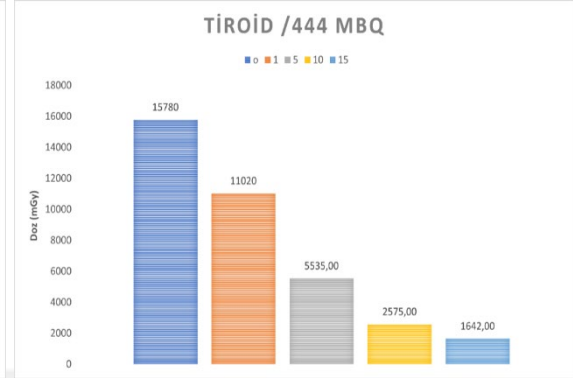
Şekil 4.2. 1, 5, 10 ve 15 Yaş için Fantom.

Şekil 4.2'te ise farklı yaşlardaki, yani 1, 5, 10 ve 15 yaşlarındaki, erkeklerin fantomları seçilerek gösterilmektedir. Şekil 4.2'te görüldüğü gibi iç organlar, kemik ve

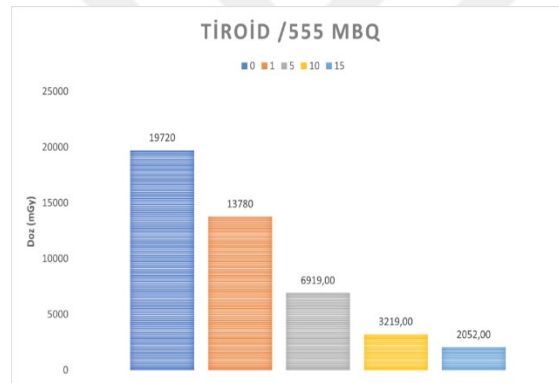
doku yapısı eski fantomlara göre daha gerçekçi bir görünüme sahip olup yaşlar arasındaki vücutta gelişimleri de gösterilmektedir. Tiroid bezine yerleştirilen 333, 444, 555, 666, 1850, 3700, 5550 ve 7400 MBq aktiviteye sahip I-131 radyoizotopu için Tiroid bezinin aldığı dozlar yaşa bağlı olarak Şekil 4.3’de grafik ile gösterilmiştir.



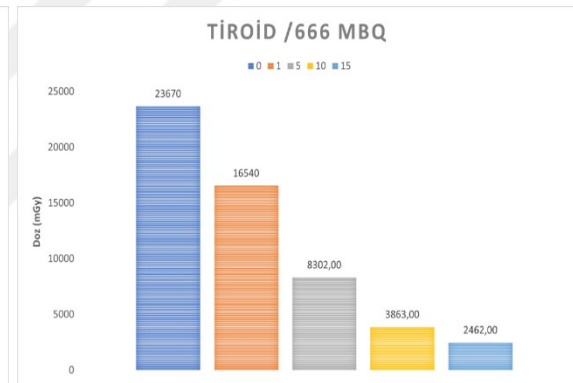
a)



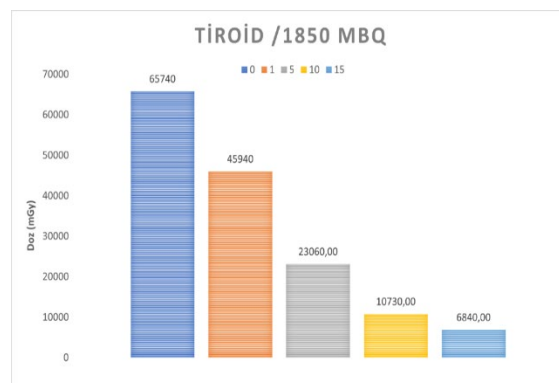
b)



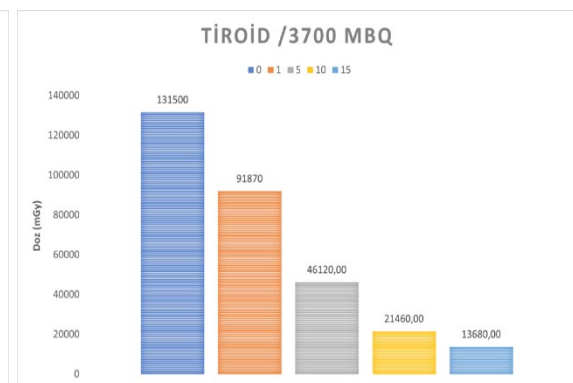
c)



d)



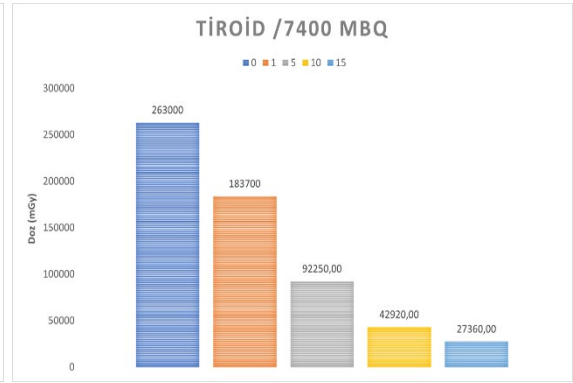
e)



f)



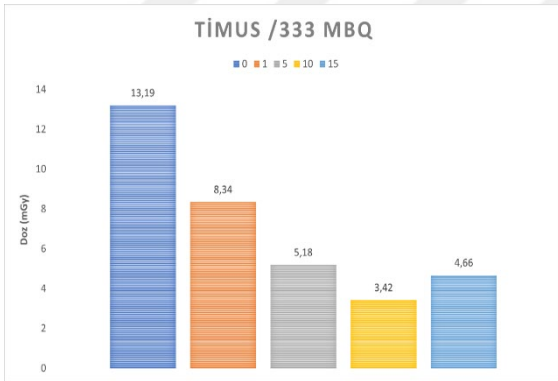
g)



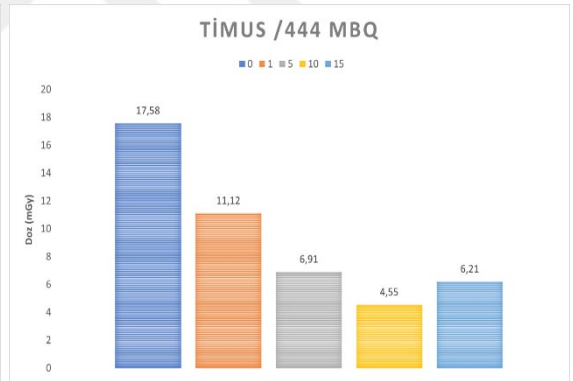
h)

**Şekil 4.3.** a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun tiroid bezinin aldığı dozun yaşlara göre grafiği

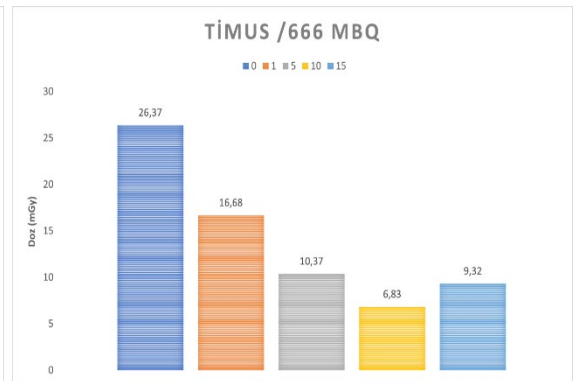
Şekil 4.4’de ise aynı şekilde tiroid bezine yerleştirilen 333, 444, 555, 666, 1850, 3700, 5550 ve 7400 MBq aktiviteye sahip I-131 radyoizotopu için Timus’un aldığı dozlar yaşa bağlı olarak grafik ile gösterilmiştir.

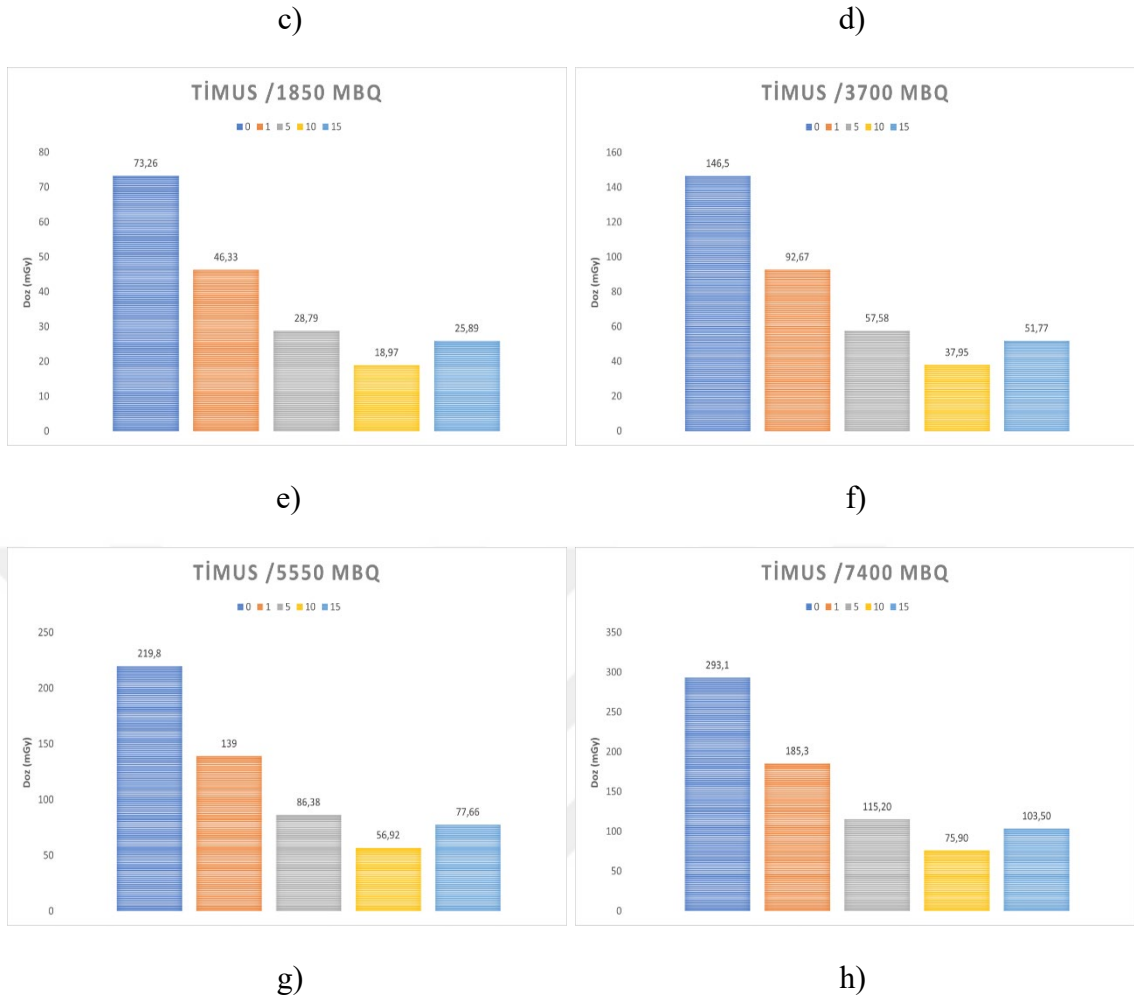


a)



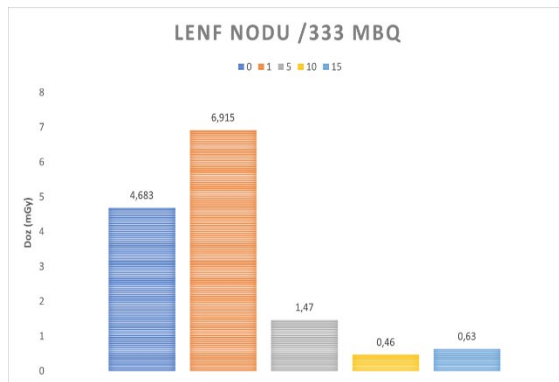
b)



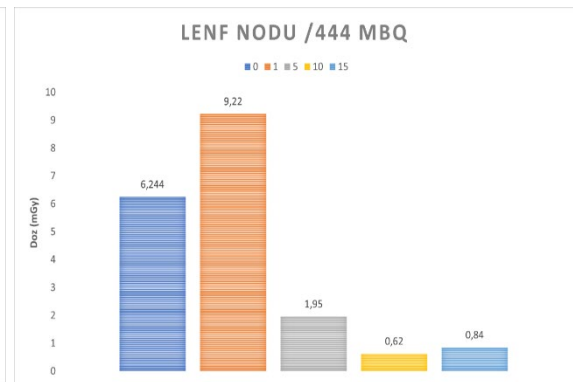


**Şekil 4.4.** a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun timus'un aldığı dozun yaşlara göre grafiği

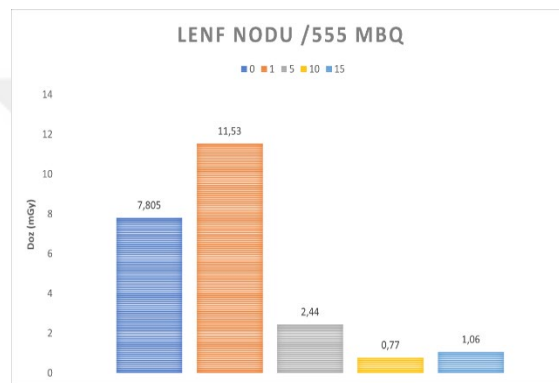
Şekil 4.5'de Tiroid bezine yerleştirilen 333, 444, 555, 666, 1850, 3700, 5550 ve 7400 MBq aktiviteye sahip I-131 radyoizotopu için Lenf nodülünün aldığı dozlar yaşa bağlı olarak grafiksel olarak gösterilmiştir.



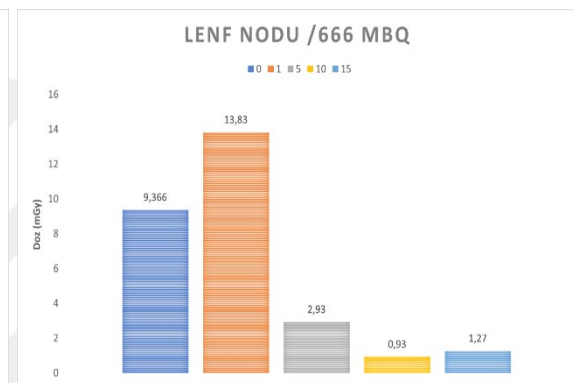
a)



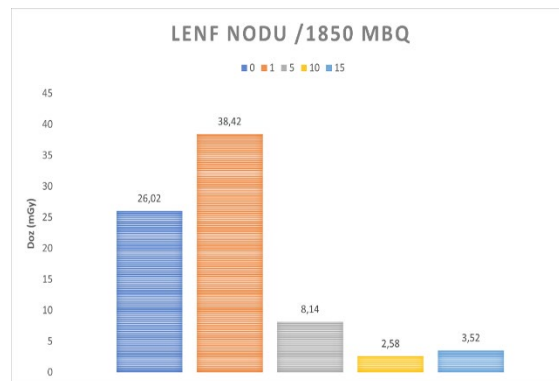
b)



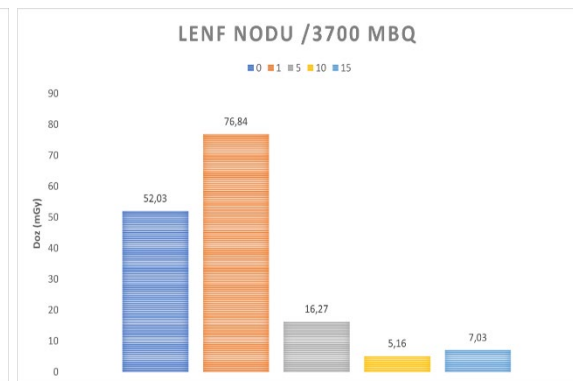
c)



d)



e)



f)



g)

h)

**Şekil 4.5.** a) 333, b) 444, c) 555, d) 666, e) 1850, f) 3700, g) 5550 ve h) 7400 MBq aktiviteye sahip Tiroid bezindeki radyoizotopun lenf nodu'nun aldığı dozun yaşlara göre grafiği

## 5 SONUÇ

Bu tez çalışmasında NCINM kodunda hazır olarak bulunan referans pediatrik hesaplama fantomlarını kullanarak, tiroid bezi, timus ve lenf düğümleri tarafından alınan dozları Monte Carlo bazlı NCINM kodu ile hesaplanmıştır.

Beş farklı yaştaki erkek fantom (yeni doğan, 1, 5, 10 ve 15 yaş) için tiroid bezine yarım saat süreyle yerleştirilen farklı aktiviteye sahip  $^{131}\text{I}$  radyoizotop için organ doz katsayıları hesaplanmıştır. Burada kullanılan aktiviteler 333, 444, 555, 666, 1850, 3700, 5550 ve 7400 MBq olup bu aktivitelerde. 333-666 MBq arasındaki aktiviteler tiroid hastalığının tedavisinde ve daha yüksek aktiviteye sahip olanlar, yani 1850-7400 MBq arası, ise Tiroid kanserinin tedavisinde kullanılmaktadır.

Şekil 4.3’de I-131 radyoizotopu direkt tiroid bezine yarım saat süreyle uygulandığı için bu bölgede alınan dozlar yaş ile düzgün bir azalmaya sahip oldukları görülmektedir. Burada yaş ile organ hacminin büyümesi alınan dozlarda azalmaya yol açmaktadır.

Şekil 4.4’de I-131 radyoizotopu direkt timüs bölgesine uygulanmadığı için bu bölgede alınan dozlar yaş ile timüs bezinin büyümesinden dolayı düzgün bir azalmaya sahip olsa da 15 yaşından itibaren küçülmeye başlaması sebebi ile 15 yaşındaki fantomda önceki yaşlara göre artma olduğu görülmektedir. Burada Timusun 15 yaşında küçülmeye başlaması aldığı dozun artma nedenidir.

Şekil 4.5’de Radyoizotop direkt lenf nodları bölgesine uygulanmadığı için bu bölgede alınan dozlar yaşa bağlı azalma eğilimlerine sahip olsa da çocuklarda Lenf nodları 2-10 yaş arası gelişim gösterdiğinden dolayı 2-10 yaş arası Lenf nodlarının aldığı dozlar düzgün bir azalma gösterirken yine 15 yaşındaki fantomda Lenf nodunun küçülmesinden dolayı aldığı doz artış göstermiştir.

Kritik organların aldığı dozların yaş ile ters orantılı olduğunu ve genç yaşta alınan bu dozların son derece önemli olduğunu bu sonuçlar göstermiştir. Beklendiği gibi, x-ışınına maruz kalan bölge geometrisi, organ dozlarının yaşa bağlı bağımlılığında ve ardından etkili dozda önemli bir rol oynar. Elde edilen veriler, hesaplama sürecini karşılaştırmak için MCNPX tabanlı doz hesaplaması için pediatrik referans fantomları kullanan diğer kullanıcılar için yararlı olacaktır.

## 6 KAYNAKLAR

- Akan, L., Coşkun M.F., Yıldırım, E., Demir, Ö.D., Gençoğlu, E.A., 2016, “Diferansiye Tiroid Kanserli Olgularda Radyoaktif İyot-131 Tedavisinin Etkinliğinin Değerlendirilmesi”.
- Barınmaz, D., 2009, “Nükleer Tıp Uygulamalarında Radyasyon Doz Dağılımının Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Canbaz, F., Başoğlu, T., Şahin, M., 1999, Hipertiroidide İyot-131 Tedavisi, O.M.Ü. Tıp Dergisi, 16(3): 248-257.
- Chao T C and Xu X G 2001 Specific absorbed fractions from the image-based VIP-Man body model and EGS4-VLSI Monte Carlo code: int
- Cristy M 1980 Mathematical Phantoms Representing Children of Various Ages for Use in Estimates of Internal Dose(Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory)
- Çam, Ş., Ereş, F.S. ve Hiçsönmez, Ü. 2008. Nükleer tehlikelerde tehlikelerde radyoaktif iyot ve korunma, TSK koruyucu hekimlik bülteni 7 (5): 449-454
- Demir, F.G., 2011, “Birleşik Pozitron Emisyon ve Bilgisayarlı Tomografi Sistemlerinin Kalite Kontrol Testlerinin Uygulanması ve Bulunduğu Ünitenin Zırhlama Hesapları” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Duman, Ç., 2007, “Bilgisayarlı Tek Foton Emisyonlu Sistemlerde MTF ve DQE bulunması”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Gülsoy, K.U., Oyar, O., 2008, “Tıbbi Görüntüleme Fiziği”, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını, Isparta, 5-60, 483-524.
- Hans, J.B., Frank, G., 1995, Endocrinological Applications in Nuclear Medicine, Seminars in Nuc Med; 25 (2): 92-110.
- ICRP 1988 Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals ICRP Publication 53. Ann. ICRP 18 1–4
- ICRP 1991 1990 recommendations of the international commission on radiological protection ICRP publication 60, Ann. ICRP 21 1–201
- ICRP, 1998, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals (addendum to ICRP publication 53). ICRP publication 80, ICRP Publication 80, Ann., ICRP, 28: 1-126.
- ICRP, 2002, Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values ICRP publication 89, Ann., ICRP, 32: 5-265.

- ICRP, 2006, Human alimentary tract model for radiological protection ICRP publication 100, Ann. ICRP, 37: 1-332.
- ICRP, 2007, The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection ICRP publication 103, Ann. ICRP, 37: 1-332.
- ICRP, 2008a, Nuclear decay data for dosimetric calculations ICRP publication 107, Ann. ICRP, 38: 7-96.
- ICRP, 2008b, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals addendum 3 to ICRP publication 53 ICRP Publication 106, Ann. ICRP, 38: 1-197.
- ICRP, 2016, The ICRP computational framework for internal dose assessment for reference adults: specific absorbed fractions ICRP Publication 133, Ann. ICRP, 45: 1-74.
- ICRU, 1992, Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues (Bethesda, MD: International Commission on Radiation Units and Measurements).
- Johansson L 1985 Patient Irradiation in Diagnostic Nuclear Medicine: Assessment of Absorbed Dose and Effective Dose Equivalent Dosimetry (Gothenburg, Sweden: Gothenburg University)
- John, C.H., James, S.R., Kathryn, D.H., 1987, Nuclear Medicine Therapy, New York, Thieme Medical Publishers, 10-11.
- Judith, M.B., Howard, J.D., 1996, Therapy of Hyperthyroidism. In: Robert, E., H., Mark, A.B., Cary L.D., et al., Nuclear Medicine, Vol 1, Missouri, Mosby, 1549-1556.
- Khan, F.M. and Gibbson, J., P., 2014, Khan's the physics of radiation therapy, 5<sup>th</sup> edition, Lippincott Williams and Wilkins, USA, 586 p.
- Kılınç, 2017, "Nükleer Tıp Uygulamalarında Kullanılan Bazı Radyoizotopların Nükleer Reaksiyonlarının Teorik İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Koca, T., Sarpın, İ.H., Yıldırım, Ü., Türk Çakır, İ., Şahin, S., 2021, Erkek Çocuklarda I-131 Radyoizotopunun Vücut Dozunun Yaşa Göre Değişimi, AKU J. Eng. App. Sci., Vol 4(2), 78-82
- Köse, M., 2014, "Nükleer Tıp Uygulamalarında Kullanılan Radyoizotopların Eksternal Doz Dağılımı", Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Lamart, S., Simon, S.L., Bouville, A., Moroz, B.E., Lee, C., 2016, S values for <sup>131</sup>I based on the ICRP adult voxel phantoms, Radiat. Prot. Dosim., 168: 92-110.

- Lamarti S., Bouville, A., Simon, S., L., Eckerman, K.F., Melo, D., Lee, C., 2011, Comparasion of internal dosimetry factors for three classes of adult computational phantoms with emphasis on I-131 in the thyroid, *Phys. Med. Biol.*, 56: 7317-35.
- Lee, C., Park, S., and Lee, J.K., 2007, Spesific absorbed fraction for Korean adult voxel phantom from internal photon source *Radist. Prot. Dosim.*, 123: 360-8.
- Loevinger, R., Budinger, T.F., Thomas, F., Watson, E.E., 1991, *MIRD Primer for Absorbed Dose Calculations Revised Edition* (New York: Society of Nuclear Medicine).
- Marcatili, S., Villoing, D., Mauxion, T., McParland, B., J., and Bardies, M., 2015, Model-based versus spesific dosimetry in diagnostic context: comparison of three dosimetric approaches, *Med. Phys.*, 42: 1288-96.
- NCRP, 2009, Report No. 160, *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States* (Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements).
- NCRP, 2019, Report No. 184, *Medical Radiation Exposure of Patients in the United States* (Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements).
- Nostrand, D., V., Wartofsky, L., 2007, "Radioiodine in the Treatmement of Thyroid Cancer", *Endocrinology & Metabolism Clinics of North America*, 36(3): 807-822.
- Ron E et al 1998 Cancer mortality following treatment for adult hyperthyroidism. Cooperative thyrotoxicosis therapy followup study group *JAMA*. 280 347–55
- Snyder, W., S., Ford., M., R., Warner, G., G., and Watson, E., E., 1975, *MIRD, Pamphlet No. 11 (revised): 'S' Absorbed Dose Per Unit Cumulated Activity for Selected Radionuclides and Organs* (New York, NY: Society of Nuclear Medicine).
- Stabin, M., G., 1996, *MIRDose: personal computer software for internal dōşe assessment in nuclear medicine*, *J. Nucl. Med.*, 37: 538-46.
- Stabin, M., G., Spark, R., B. and Crowe, E., 2005, *OLINDA/EXM: the second-generation personal computer software for internal dōşe assessment in nuclear medicine*, *J. Nucl. Med.*, 46: 1023-7.
- Violling, D., Cuthbert, T., A., Kithara, C., M., Lee, C., 2020, *NCINM: organ dōşe calculator for patients undergoing nuclear medicine procedures*, *Biomed. Phy. Eng. Express*: 6:055010.
- Warttovsky, L., Ingbar, S.H., 1991, Diseases of thyroid. In: Wilson JD (ed.) *Harrison's Principles of Internal Medicine*. (12 th ed), New York, Mc Graw-Hill Inc., 1672-1712.

- Yoriyazi H., Stabin, M.G., dos Santos, A., 2001, Monte Carlo MNCP-4b-based absorbed dose distribution estimates for patient-specific dosimetry, J Nucl Med, 42: 662-9.
- Zankl, M., Petoussi-Henss, N., Fill, U., Regulla, D., 2003, The application of voxel phantoms to the internal dosimetry of radionuclides, Radiat. Prot. Dosimetry, 105: 539-48.



## ÖZGEÇMİŞ

**VEDAT AYDIN**

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

|                            |                                                                                             |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yüksek Lisans<br>2020-2023 | Akdeniz Üniversitesi<br>Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı0,<br>Antalya           |
| Yüksek Lisans<br>2005-2007 | Akdeniz Üniversitesi<br>Fen Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Alanlar<br>Tezsiz Yüksek Lisans |
| Lisans<br>2002-2005        | Akdeniz Üniversitesi<br>Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Antalya                                |
| Lisans<br>2013-2015        | Anadolu Üniversitesi<br>İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi                                     |
| Ön Lisans<br>2010-2013     | Anadolu Üniversitesi<br>Yerel Yönetimler Ön Lisans                                          |

## MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

|                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Uzman Öğretmen<br>2010-Devam Ediyor | Göynük Fen Lisesi, Antalya |
|-------------------------------------|----------------------------|

## ESERLER

### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1-Sarpün İ.H., Özsoy C., Aydın V., Koca T. Variation of the Dose by the Weight of the Patient in CT Scanning 4(2) (2021) December (83-86pp)  
DOI:10.53448/akuumubd.984623

2-Koca T., Sarpün İ.H., Özsoy C., Aydın V., Şahin S (2021). Effect of I-131 Radioisotope Activities on Organ Dose Used in Nuclear Medicine 4(2) (2021) December (87-92 s)  
DOI:10.53448/akuumubd.986161

### Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Özsoy C., Sarpün İ.H., Aydın V., Koca T. Variation Of The Dosage Taken By Patients In Ct Scanning According To The Weight Of The Patient. 5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS) August 02-06 2021 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

2- Özsoy C., Sarpün İ.H., Aydın V., Koca T., Turan S. The Effect Of Activities Of Radioisotopes Used In Nuclear Medicine On Organ Dose. 5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS) August 02-06 2021 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

3- Yıldırım Ü., Aydın V., Özsoy C., Sarpün İ.H. Effects of Level Density Models on  $^{165}\text{Ho}(\alpha, xn)$  Reaction Cross Section. XV. International Conference on Nuclear Structure Properties, Kırıkkale University, 28-30 June 2022