

T.C.
YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONTE CARLO SİMÜLASYON METODU İLE
ERİŞKİNLERDE ORGANLARIN SOĞURDUĞU
DOZLARIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz EROL

SAĞLIK FİZİĞİ PROGRAMI

Ankara, 2016

T.C.
YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTE CARLO SİMÜLASYON METODU İLE ERİŞKİNLERDE ORGANLARIN
SOĞURDUĞU DOZLARIN BELİRLENMESİ

Yavuz EROL

Yüksek Lisans Tezi

16.03.2016

Danışman

Prof. Dr. S. Yavuz SANİSOĞLU

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. S. Yavuz SANİSOĞLU

Prof. Dr. Aytünç ATEŞ

Doç. Dr. S. Kenan KÖSE

Okuduğumuz ve Savunmasını dinlediğimiz bu tezin bir Yüksek Lisans derecesi için gereken
tüm kapsam ve kalite şartlarını sağladığını beyan ederiz.

Prof. Dr. Özen ÖZENSOY GÜLER

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm şartları sağladığını tasdik ederim.

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tezde kullanılmış olan tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Tarih 16.03.2016

İmza

Yavuz EROL

TEŐEKKÜR

Araştırmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen, akademik olarak gelişmeme katkı sağlayan, verdiği destek ve güvenle beni cesaretlendiren değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. S. Yavuz SANISOĞLU'na,

Sevgilerini her zaman hissettiğim, hayatımın her aşamasında beni cesaretlendiren, sabır ve sevgi gösteren sevgili aileme,

İçtenlikle teőekkür ederim.

Yavuz EROL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLO DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özetleri	2
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. X-Işınlarnn Oluşumu.....	6
2.2. X-ışnlarının Madde ile Etkileşimleri.....	7
2.2.1. Fotoelektrik Olay	7
2.2.2. Koherent Saçılma.....	9
2.2.3. Compton Saçılması.....	10
2.2.4. Çift Oluşumu	11
2.3. Dozimetrik Birimler	12
2.3.1 Soğurulan Doz (Absorbed Dose).....	13
2.3.2 Radyasyon Ağırlıklı Doz	13
2.3.3 Etkin Doz	13
2.3.4 Hava Kerma (Incident Air Kerma, INAK)	14
2.3.5 Giriş Yüzey Hava Kerma (Entrance Surface Air Kerma, ESAK).....	14
2.3.6 Hava Kerma Alan Bileşkesi (Air Kerma-Area Product)	14
2.4. Monte Carlo (MC) Simülasyon Yöntemi.....	14
2.5. Bilgisayar	18
2.5.1. Monte Carlo (MC) Caldose X Algoritması	19
2.5.2. Monte Carlo (MC) PCXMC Algoritması	22
2.6. Radyasyon Doz Ölçümlerinin Hesaplanması.....	24
2.7. İstatistiksel Analiz.....	24
3. BULGULAR.....	25
3.1. Caldose X Algoritması ile Organların Soğurduğu Radyasyon Dozları	27

3.2. PCXMC 2.0 Algoritması ile Organların Soğurduğu Radyasyon Dozları	43
3.3. Algoritma Verilerine göre Etkin Risk ve Diğer Doz Değerlerinin Bulguları .	59
3.4. Algoritma Verilerine göre İstatistiksel Analiz Bulguları	68
4. TARTIŞMA	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
6. KAYNAKLAR	74
7. EKLER.....	78
Ek-1. Özgeçmiş Formu	78

ÖZET

Monte Carlo Simülasyon Metodu ile Erişkinlerde Organların Soğurduğu Dozların Belirlenmesi

İyonlaştırıcı radyasyon 1900'lü yıllardan beri tıbbi uygulamalarda bir tanı ve tedavi yöntemi olarak kullanılmaktadır. İyonize radyasyonun tıbbi görüntülemelerde birçok avantaj sağlamasının yanı sıra sağlıklı doku ve organlara enerji aktararak birtakım zararlar vermektedir. Bu çalışmada Monte Carlo Simülasyon metodu kullanılarak medikal X-ışını görüntüleme muayenelerinde organların soğurduğu radyasyon dozlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Doku ve organların soğurduğu dozların belirlenmesinde MASH ve FASH vücut modellerini temel alarak hesaplamalar yapan Caldose X ve matematiksel hermafrodit vücut modeli temel alarak hesaplamalar yapan PCXMC yazılımları kullanılmıştır. Standart radyografi prosedürleri olarak cranium, toraks, abdomen, pelvis ve toraks+lumbar tetkikleri belirlenmiştir. Belirlenen prosedürler doğrultusunda 176 cm boyunda 73 kg ağırlığında yetişkin erkek ve 163 cm boyunda 60 kg ağırlığında yetişkin kadın bireyler için toplamda 148 farklı parametre üzerinden simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar sonucu doku ve organlara ait soğurulan doz, etkin doz miktarları ve risk değerlendirmeleri her bir simülasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Doku ve organların soğurdukları doz miktarlarının tetkikin uygulama yönüyle dâhi azımsanamayacak kadar farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir, bunun bir sonucu olarak gereksiz doz maruziyetinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Yapılan risk değerlendirmesinde, kadın bireylerde toraks sebep olduğu akciğer kanseri, abdomen sebep olduğu göğüs kanseri, erkek bireylerde toraks sebep olduğu akciğer kanseri ve pelvis sebep olduğu kolon kanseri ile en riskli muayene alanları olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Doz Ölçümleri, Monte Carlo Simülasyonu, Organ Dozları, Radyasyon

ABSTRACT

Determination of Absorbed Doses of Organs in Adults with Monte Carlo Simulation Method

The ionizing radiation has been using as a diagnostic and therapeutic methods of medical applications since 1900s. It is fact that ionizing radiation provides many benefits in medical imaging on the other hand it gives some damage by transferring energy to healthy tissues and organs. The aim of this study is determining of radiation absorbed organ doses using Monte Carlo Simulation method in medical X-ray imaging examinations.

In determining of absorbed tissue and organ doses used the Caldose X software which calculations based on MASH and FASH phantoms and the PCXMC software which calculations based on mathematical hermaphrodite phantom. Cranium, thorax, abdomen, pelvis, thorax + lumbar examinations were determined as standard radiography procedures. In accordance with the determined procedures, simulations of a total of over 148 different parameters were performed for an adult male in size of 176 cm tall 73 kg in weight and for an adult female in size of 163 cm tall 60 kg in weight. As a result of this, absorbed doses, effective doses and risk assessments are calculated separately for each simulation.

Even by the application direction of the examination, the quantity of absorbed tissue and organ doses observed different results that can not be underestimated. Because of that, it is need to prevent the unnecessary dose exposure. In the risk assessment, torax with the risk of exposure-induced lung cancer and abdomen with the risk of exposure-induced breast cancer for females and torax with the risk of exposure-induced lung cancer and pelvis with the risk of exposure-induced colon cancer for males has been identified as the most risky examinations.

KEY WORDS: Dose Measurements, Monte Carlo Simulation, Organ Doses, Radiation

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
cm ³	: Santimetre Küp
Cu	: Bakır
GB	: Giga Bayt
GHz	: Gigahertz
Gy	: Gray
J	: Joule
keV	: Kiloelektron Volt
kg	: Kilogram
kV	: Kilovolt
Li ₂ B ₄ O ₇	: Lithium Tetraborate
MeV	: Megaelektron Volt
MeV/g	: Megaelektron Volt/Gram
MV	: Megavolt
mGy	: Miligray
m	: Metre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
mm ³	: Milimetre Küp
mSv	: Milisievert
AP	: Anterior – Posterior
BEIR	: Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations
Bsc.	: Back Scattered
BSF	: Back Scatter Factor
CPU	: Central Processing Unit
CT	: Computed Tomography
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
EGS	: Electron Gamma Shower
EM	: Elektromanyetik

ENIAC	: Electronic Numerical Integrator and Computer
ESAK	: Entrance Surface Air Kerma
FASH	: Female Adult Mesh
FDD	: Focus to Detector Distance
FLUKA	: Fluktuierende Kaskade
GEANT	: Geometry and Tracking
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
ICRU	: International Commission on Radiation Units
INAK	: Incidence Air Kerma
ISKR	: Işınlama Sebepli Kanser Riski
ISÖR	: Işınlama Sebepli Ölüm Riski
LANL	: Los Alamos National Laboratory
LINAC	: Linear Particle Accelerator
MASH	: Male Adult Mesh
MC	: Monte Carlo
MCNP	: Monte Carlo N-Particle Transport Code
MCSP	: Monte Carlo Simulation Program
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MIRD	: Committee on Medical Internal Radiation Dose
OAR	: Organs at Risk
PA	: Posterior – Anterior
PDD	: Yüzdellik Derin Doz
PTV	: Planned Tumour Volume
RAM	: Random Access Memory
Rbm.	: Red Bone Marrow
SS	: Standart Sapma
SSD	: Source Surface Distance
TLD	: Termoluminesans Dozimetre
vb.	: ve benzeri
VIP-Man Model	: Image-Based Tomographic Adult Male Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. X-ışın tüpü diyagramı (A:tungsten anot, B: cam muhafaza, C: katot, D: rotör).....	7
Şekil 2.2. Fotoelektrik olay	8
Şekil 2.3. Rayleigh saçılması	9
Şekil 2.4. Compton Saçılması.....	10
Şekil 2.5. Çift oluşumu	11
Şekil 2.6. Medikal X-ışını görüntüleme dozimetrik birimlerin şematik gösterimi (30).....	12
Şekil 2.7. Monte Carlo Simülasyonunda bir foton öyküsünün örneği (39).....	18
Şekil 2.8. MASH (erkek) fantom görünüşleri ve belirlenen çekim şeması.....	20
Şekil 2.9. FASH (kadın) fantom görünüşleri ve belirlenen çekim şeması.....	21
Şekil 2.10. Cristy ve Eckerman (1987) tanımlanan hermafodit fantom görünüşleri ve çekim şeması.....	23
Şekil 3.1. Erkek organları için cranium ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	60
Şekil 3.2. Erkek organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	60
Şekil 3.3. Erkek organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS.....	61
Şekil 3.4. Erkek organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS.....	62
Şekil 3.5. Erkek organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS..	62
Şekil 3.6. Erkekler bireylerde ölüm oranı grafisi (%).....	63
Şekil 3.7. Kadın organları için cranium risk analiz grafisi ve SS	64
Şekil 3.8. Kadın organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	64
Şekil 3.9. Kadın organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	65
Şekil 3.10. Kadın organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	65
Şekil 3.11. Kadın organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS	66
Şekil 3.12. Kadın bireylerde ölüm oranı grafisi (%).....	67

TABLO DİZİNİ

Tablo 3.1. Çalışma alanlarının kısa kodları ve FDD (Focus to Detector Distance), mAs (miliamper saniye), kVp (kilovoltaj), DA (dedektör alanı) değerleri	26
Tablo 3.2. Erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	27
Tablo 3.3. Erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	28
Tablo 3.4. Erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	29
Tablo 3.5. Erkek organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	30
Tablo 3.6. Erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	31
Tablo 3.7. Erkek organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	32
Tablo 3.8. Erkek organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	33
Tablo 3.9. Erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	34
Tablo 3.10. Kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	35
Tablo 3.11. Kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	36
Tablo 3.12. Kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	37
Tablo 3.13. Kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%).....	38
Tablo 3.14. Kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	39
Tablo 3.15. Kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	40
Tablo 3.16. Kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	41
Tablo 3.17. Kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	42
Tablo 3.18. Erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	43
Tablo 3.19. Erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	44
Tablo 3.20. Erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	45

Tablo 3.21. Erkek organların Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	46
Tablo 3.22. Erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	47
Tablo 3.23. Erkek organlarının ThLu-1,2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	48
Tablo 3.24. Erkek organların ThLu-4,5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	49
Tablo 3.25. Erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	50
Tablo 3.26. Kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	51
Tablo 3.27. Kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	52
Tablo 3.28. Kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	53
Tablo 3.29. Kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%).....	54
Tablo 3.30. Kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	55
Tablo 3.31. Kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	56
Tablo 3.32. Kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	57
Tablo 3.33. Kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)	58
Tablo 3.34. Erkek ve kadınlara ait alanların ISKR ve ISÖR ortalamaları	59
Tablo 3.35. Erkek ve kadınlara ait alanların ISÖR ortalama ve SS değerleri	59
Tablo 3.36. PCXMC algoritması ile alanlardan elde edilen cinsiyete göre ortalama doz (mGy) ve absorpsiyon (%) değerleri	68
Tablo 3.37. Erkek ve kadınlara ait alanların ISÖR Mann-Whitney U testi	68

1.GİRİŞ

İyonlaştırıcı radyasyon türleri kanser veya diğer bazı hastalıkların tedavisinde 1900'lü yıllardan beri, tek başına yada kemoterapi ve cerrahi yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Radyoterapi olarak adlandırılan bu uygulamada iyonlaştırıcı radyasyonun doku ortamında yaratacağı biyolojik ve fiziksel etkilerden yararlanılarak kanserli dokular yok edilmeye çalışılır. Temel amaç, önceden hastalıklı olarak tanımlanmış bir doku hacmini radyasyon dozuna maruz bırakarak tümörlü hücrelerin çalmasını veya bölünmesini engellemek ve bu işlemi normal dokulara minimum hasar verecek şekilde gerçekleştirmektir. Bu yönüyle radyoterapi, tümörlü dokuya komşu organ ve dokuların korunmasını sağlayarak fonksiyon kaybını önlediğinden tercih edilmektedir (1).

Bu çalışmada Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak organlarda doz miktarlarının belirlenmesi araştırılmıştır. Monte Carlo yöntemleri yinelenen rastgele örneklemeyle dayanan bir hesaplama algoritmaları bütünüdür. Genellikle fiziksel ve matematiksel olayları simüle etmekte kullanılır. Kesin sonucun deterministik olarak hesaplanmasının mümkün olmadığı problemlerde rastgele sayılara ve istatistiksel olasılıklara dayanan bu yöntemler işe koşulur. Monte Carlo yöntemlerinin finanstan nükleer fiziğe kadar birçok uygulaması vardır ve her bir uygulama kullanılacağı alana göre farklılıklar gösterir. Genellikle radyasyonun madde içerisinden geçişini simüle etmede kullanılan Monte Carlo yöntemleri medikal fizikte yapılan çalışmalarda her zaman önemli bir yer tutmuş ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yapılan çalışmaların sayısı son 50 yılda her beş yılda bir katlanarak artmıştır (2). Bu çalışma için seçilen Monte Carlo Algoritması PCXMC ve CALDOSE X simülasyon kodlarıdır. Monte Carlo simülasyon kodları medikal fiziğin birçok aktif araştırma alanında kullanılmaktadır (3,4). Monte Carlo bir hastadaki doz dağılımını hesaplamanın en doğru yöntemidir (1).

Çoğunlukla tanısal amaçlı görüntülemeye yönelik olan tıpta, hastaya uygulanan radyofarmasötüğün yayacağı radyasyonların hangi organları etkileyeceği

ve hasta için toplam radyasyon riskinin tespiti önemli bir konudur (5). Şüpheli altındaki organa verilecek radyasyon dozunun, diğer sağlıklı doku ve organlar üzerinde hasar oluşturmaması istenir. Bu bilginin pratikte klinik ölçümlerle belirlenmesi mümkün olmadığından, bilgisayar ortamında oluşturulmuş vücut benzeri modeller kullanılarak hesaplanır. Bu modeller, 1970'li yıllarda geliştirilen ve organ ile doku hacimlerinin basit geometrik şekillerle temsil edildiği matematiksel modeller olabileceği gibi, 1990'lı yılların sonlarına doğru geliştirilen ve gerçek vücut görüntülerine dayanan tomografik modeller de olabilir (6).

Ayrıca, dozimetri ve ikincil kanser riskini hesaplama için kullanılan modeller oldukça kısıtlıdır. Dokulardan elektron taşınımını daha gerçekçi bir gösterimi için Monte Carlo yöntemlerini kullanan yeni dozimetri modelleri çalışılmaktadır (7).

Monte Carlo matematiksel problemleri çözmek için kullanılan istatistiksel temelli sayısal bir yöntemdir. Böyle olduğu için pek çok bilimsel alana uygulanmıştır. Ancak, yük taşınımını meselesinde ise Boltzmann eşitliğinin çözümü için kullanılacak istatistiksel sayısal yaklaşım, kristal içerisindeki yük taşıyıcı dinamiklerinin direkt bir simülasyonu olacağını ortaya koymaktadır. Böylece eşitliklerin çözümü kurulmakta iken gerekli olan herhangi bir fiziksel bilgi kolaylıkla elde edilebilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, verilen bir problemin sayısal bir çözümü sağlandığında, incelenmekte olan süreçlerin anlaşılması bakımından onu takip eden fiziksel yorumunun da hala çok önemli olduğu dikkatlerden kaçmamalıdır. Deneylerde ulaşılmaz olan belli fiziksel durumların simülasyonunu veya çalışılmakta olan süreçlerin kendine has özelliklerini vurgulamak için kullanılan, gerçek olmayan materyallerin araştırılmasını mümkün kıldığı için Monte Carlo yöntemi bu amaca ulaşmada çok faydalı bir araç olduğunu kanıtlamaktadır. Monte Carlo yönteminin bu kullanımı deneysel bir tekniğe benzer bir özellik taşır. Aslında simüle edilen deney analitik olarak formüle edilmiş teoriyle karşılaştırılabilir (8, 9).

1.1. Literatür Özetleri

Demarco ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada MCNP4A kodu kullanılarak 6 MV'luk nokta kaynak ile $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ lük voxellerden oluşan örgü

geometrisi ile $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ 'lük su fantomu merkezlenerek doz değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada 5 mm^3 voxel biriminden oluşan 470 adet dedektör kullanılmıştır. Homojen ve heterojen hesaplamaların karşılaştırılmasında standart su fantomu ile dūřuk ve yūysek yoğunluklu heterojen fantomlarda ölçūmler kıyaslanmıştır (10).

Xu ve arkadařları tarafından yapılan çalıřmada fantom olarak kullanılan ū boyutlu tūm vūcut modeli VIP-Man'in nasıl elde edildięi anlatılmıřtır. Anatmik insan modellerinin radyasyon dozimetrisinde Monte Carlo yōntemi ile kullanılması vazgeçilmezdir. MIRD tabanlı matematiksel fantomların bilgisayarlaraya aktarılması ve standardizasyonunun kolay olmasına raęmen çok basit kalmakta ve insan vūcudunu kaba bir řekilde ifade etmektedir. Foton, elektron, nōtron ve proton etkileřimlerini kapsayan Monte Carlo yōntemiyle organ dozu hesaplamaları için Amerika Ulusal Tıp Kūtūphanesinden Gōrūnūr İnsan Projesi (VHP)'den elde edilen renkli fotoęraflarla tūm vūcut modeli VIP-Man'in yōnteminden bahsedilmıřtir. Ayrıca bu modelin EGS4, MCNP4B ve MCNPX Monte Carlo kodlarına uyarlanma modelleri ōrnekler ile anlatılmıřtır (11).

Schneider ve arkadařları tarafından Paul Scherrer Enstitūsünde yapılan çalıřmada noktasal tarama sistemi kullanılarak yaklařık 4 mSv Gy^{-1} deęerindeki H/D deęerleri raporlanmıřtır. Bu raporlarda Monte Carlo Simūlasyon ve ölçūmleri birlikte kullanılmıřtır (12).

Wang ve arkadařları tarafından yapılan çalıřmada adjoint Monte Carlo metodu ū boyutlu anatmik bir model olan VIP-Man'e uyarlanmıřtır. Őncelikle prostat (PTV) ile rektum ve mesane (OAR) için adjoint akıları merkezi PTV'nin orijininde olacak řekilde seçilen 1 m yarıçaplı kūre yūzeyi ile ölçūlmūřtur. Seçilen her ışın açısı için oluřturulan demetin PTV dozları OAR dozlarına bōlūnerek ōnemli bir oran elde edilmiřtir (13).

Sisterson tarafından yapılan çalıřmada, Derin tūmōr tedavilerinde, 10 mGy Gy^{-1} ūzerindeki her bir doz bařına maximum soęurulan nōtron doz miktarını hesaplamak için Monte Carlo modeli kullanılmıřtır (14).

Polf ve Newshauser yaptıkları çalışmada Monte Carlo simülasyonlarını kullanarak Harvard Büyük Alan Enjektör ölçümlerini doğrulamışlardır (15).

Yorulmaz ve Bozkurt tarafından yapılan çalışmada, hastanın, incelenen organ/doku dışındaki diğer organları da radyasyona maruz kalacağından, hayati öneme sahip veya radyasyon duyarlılığı olan organ ve dokuların ne kadar doz aldıklarının bilinmesi, radyasyon riski açısından önemlidir. Bir insanın gerçek anatomisine dayanılarak oluşturulmuş görüntüsel bir vücut modeli ve MCNP Monte Carlo programı yardımıyla, nükleer tıpta kullanılan bazı gama enerjileri (0.01, 0.015, 0.02, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1 MeV) ve tanı/tedavi prosedürleri için vücuttaki organ ve dokuların soğuracakları radyasyon dozları hesaplanmıştır. Bu değerler daha sonra radyasyon ağırlık faktörleri ve organ ağırlık faktörleri ile birlikte kullanılarak her bir tanısal uygulama için söz konusu olabilecek etkin doz değeri belirlenmiştir (6).

Balos ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, toprak hacmine düzgün dağıtılmış varsayılan izotropik bir kaynaktan yayımlanan tek enerjili fotonların matematiksel bir vücut modeli içerisinde oluşturduğu organ dozları (kaynak parçacık başına) MCNP Monte Carlo programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu değerler daha sonra radyasyon ağırlık faktörleri ve organ ağırlık faktörleri ile birlikte kullanılarak 100 keV-3 MeV enerji aralığındaki fotonlar için söz konusu olabilecek etkin doz değerleri ve buradan da birim özgül aktivite başına havadaki doz hızları belirlenmiştir (16).

Tartar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, sudaki doz dağılımlarında Siemens Primus klinik lineer hızlandırıcılardan (LINAC) fotonların fiziksel parametrelerinin etkileri için yeni bir Monte Carlo Simülasyon Programı (MCSP) geliştirilmiştir. MCSP, fotonların madde ile etkileşimleri dikkate alınarak Compton saçılması ve fotoelektrik olay incelenmiştir. Simülasyonun doğruluğunu ve performansını incelemek için, ölçülen (deneysel) ve hesaplanan (MCSP) yüzde derin doz eğrileri ve doz profilleri, karşılaştırılmış ve birbirleriyle iyi bir uyum gösterdiği belirtilmiştir (17).

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, CT (Computed Tomography) uygulamalarında doz hesaplamaları için hızlı bünyesindeki Monte

Carlo aracı kullanılmıştır. Çalışmada Monte Carlo yazılım paketi kullanılarak üç boyutlu olarak dozun hızlı olarak hesaplanması sağlanmıştır. CT özel uygulama alanlarında herhangi bir türü için pratik bir araç olarak kullanılabilceğini belirtmiştir (18).

Long ve arkadaşları tarafından yapılan Monte Carlo yöntemi çalışmasında yetişkin ve pediatrikte CT kullanımı ve Monte Carlo simülasyonları ile uygulamalarında fiziksel fantom ile birlikte organ dozlarının doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm sınıflarda ve CT için ölçülebilir ve simüle organı dozları arasında iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (19).

Aydın ve Aydın tarafından yapılan çalışmada, dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağlılığını veren verileri elde etmek için deneysel yöntemler kullanıldığında oldukça güçtür ve büyük hata değerleriyle birlikte ölçülebilmektedir. Bu dedektörler, bilgisayar ortamında modellendiğinde ayrıntılı bilgi almak mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, Cu ile katkılanmış TLD olarak kullanılan $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ malzemesi modellenmiştir. Yönlü foton kaynaklarından, farklı uzaklıklardaki farklı dozimetrelerin dedektör cevap fonksiyonlarının enerjiye bağlılığı MCNP Monte Carlo simülasyon yöntemi ile bulunmuştur (20).

Günümüz teknolojisinin getirdiği yenilikler sayesinde birçok hastalığın önceden teşhisi ve tedavisinde X-ışınlarından faydalanılmaktadır. Teşhis ve tedavi süreci için X-ışınlarının gerekliliği tartışılmaz önemdedir. Ayrıca, X-ışınları iyonize etme özelliğine sahip olmalarından dolayı vücut hücreleri içerisinde DNA kırılımlarına sebep olarak bazı mutasyon ve hasarlara sebep olmaktadır. Hücrelerin yapısında oluşan değişimler bir takım deformasyonlar ve hastalıklar olarak kendilerini gösterirler. Radyasyonun deterministik etkileri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda, vücut hücrelerinin aldığı radyasyon dozunun miktarı ile oluşan hasar doğru orantılı olarak artmaktadır. Monte Carlo simülasyon yöntemi, X-ışınlarının miktarı ve şiddeti önceden belirlenerek, bilgisayar teknolojisi yardımıyla vücut hücrelerinde oluşturacağı etkilerin önceden tahmin edilmesi için bize birçok bilgi verebilmektedir. Bu çalışmada bilgisayar teknolojisi ile tıp bilimi birlikte, etkin bir biçimde kullanılarak, radyasyonun öngörülebilir etkilerinin tahmini sağlanacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

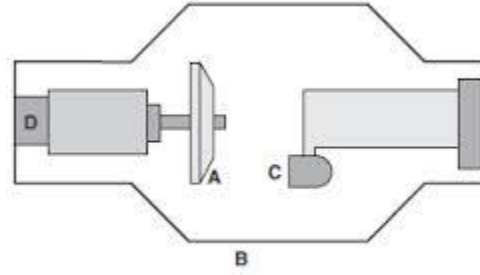
Bu çalışmada X-ışını ve elektronların madde ile etkileşiminin olasılık ve istatistiklerini hesaplamada Monte Carlo (MC) simülasyon yöntemini temel alan PCXMC 2.0 ve CalDose X 5.0 yazılımları bir medikal görüntüleme yöntemi olan radyografi tetkiklerini simüle etmek amacıyla kullanılmıştır.

2.1. X-Işınlının Oluşumu

X-ışınları ilk kez 1895'te Wilhelm Röntgen tarafından, hızlı elektronlar maddenin üstüne düştüğünde parlama oluşması sonucu bulunmuştur. Kısa zamanda X-ışınlarının doğru çizgiler üzerinde yol aldıkları, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmedikleri, saydam malzemedan kolaylıkla geçtikleri, fosfor gibi flüoresans özelliğe sahip maddelerin ışıldamasına neden oldukları ve fotoğraf plâkalarında iz bıraktıkları bulunmuştur. Başlangıçtaki elektronlar ne kadar hızlıysa, oluşan X-ışınları da o kadar girici ve X-ışını demetinin şiddeti o kadar fazla olabilmektedir. Bu keşiften kısa zaman sonra X-ışınlarının elektromanyetik dalgalar (EM) olduğu açıklığa kavuşmuştur. EM kuram, ivmeli bir elektrik yükünün EM dalgalar yayımlamasını öngörmektedir. Aniden durdurulan hızlı bir elektron hızla potansiyel kazanarak bu potansiyelden kurtulmak adına enerji salınımı gerçekleştirecektir. Bu şartlarda oluşturulan ışınımlara Almanca'da "frenleme" anlamına gelen bremsstrahlung adı verilir. Elektronların bremsstrahlungdan dolayı enerji kaybı, ağır parçacıklara göre daha fazladır, çünkü elektronlar yolları üzerindeki çekirdeklerin yakınından geçerken daha fazla ivmelenirler. Elektronun enerjisi ve etkileştiği çekirdeklerin atom sayısı arttıkça frenleme radyasyonunun enerjisi artar. Dalga boyları 0.01 ile 10 nm civarına kadar olan elektromanyetik radyasyonlar, X-ışınları kategorisine girer. Elektromanyetik spektrumda bu kategorinin sınırları keskin değildir: kısa dalga boyu ucu gama ışınları ile uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışınla karışır (21).

Şekil 2.1'de tipik bir X-ışın tüpünün diyagramı gösterilmektedir. Anot ile katot arasına uygulanan yüksek voltaj, katotun ısınarak termoiyonik salınım yolu ile metal anot tarafına elektronları hızlandırır. Vakumlanmış cam muhafaza içinde en az

etkileşim ile anot ile hızlandırılan elektronların çarpışması sonucu belli bir açı doğrultusunda ilerleyen X-ışınları oluşmaktadır.



Şekil 2.1. X-ışın tüpü diyagramı (A:tungsten anot, B: cam muhafaza, C: katot, D: rotör)

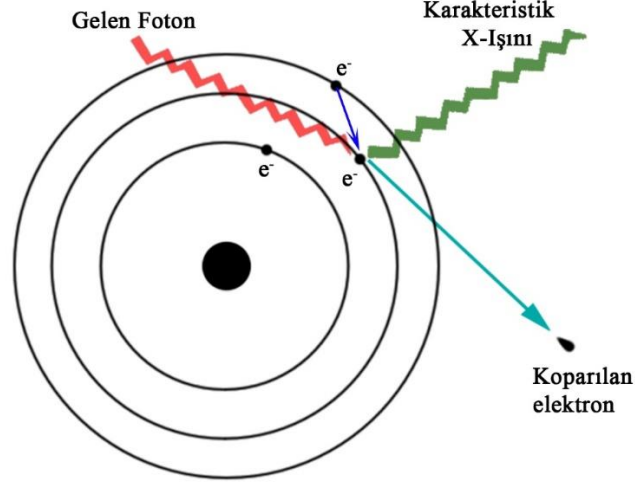
2.2. X-ışınlarının Madde ile Etkileşimleri

X-ışınları madde ile etkileşmesi durumunda birkaç farklı olay meydana gelmektedir. Bunlardan en önemlileri:

- Fotoelektrik Olay
- Koherent Saçılma
- Compton Saçılımı
- Çift Oluşumu

2.2.1. Fotoelektrik Olay

Işığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren olaylardan biri de fotoelektrik olaydır. Bu olay ilk defa 1887 yılında H. Hertz tarafından gözlenmiştir. 1905 yılında ise Einstein tarafından formülize edilmiştir. Genellikle düşük enerjilerde (yaklaşık 0,01 MeV-0,5 MeV'e kadar) fotoelektrik olay baskındır. Işığa duyarlı bir yüzeyin bir fotonla bombardıman edilmesi sonucu o yüzeyden elektronun sökülmesi ve tüm enerjisini elektrona vererek bu elektronu atomun bağlı yörüngesinden ayırıp serbest hale getirmesi olayına fotoelektrik olay, sökülen elektrona ise fotoelektron denir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Fotoelektrik olay

Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır:

$$h\nu = E_{bağlanma} + E_{kinetik} \quad (1)$$

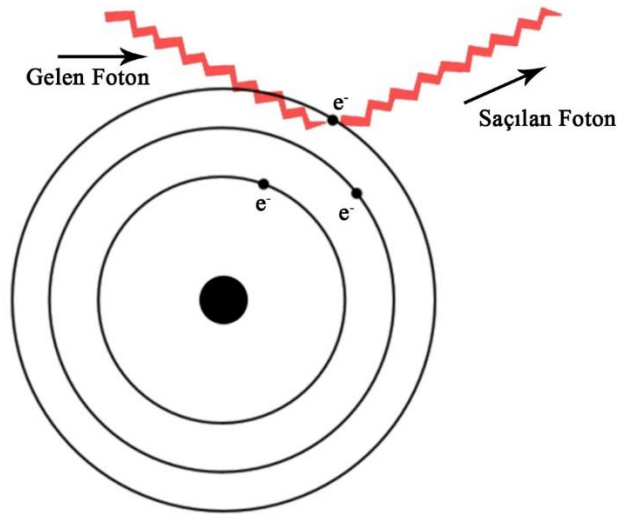
Burada; $E_{kinetik}$ elektronun kazandığı kinetik enerji, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi ve $E_{bağlanma}$ ise elektronun bağlanma enerjisidir. Serbest haldeki bir elektronda enerji ve momentumun ikisi birden korunumlu olmayacağından, böyle bir elektronun foton soğurması mümkün değildir. Fakat bağlı elektronlarda durum böyle değildir. Atom geri tepme ve böylece momentumun korunması sağlanır. Atomun kütlesi çok büyük olduğundan geri tepme enerjisi çok küçüktür ve bu yüzden de kinetik enerji ifadesi ihmal edilmiştir (22).

Fotoelektrik olayı atomun çevresinde tüm yörüngelerde meydana gelebilir. Foton enerjisinin yüksek olduğu durumlarda bu olayın iç yörüngelerde olma olasılığı artmaktadır.

Buna göre fotoelektrik olay, düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde ise iç yörüngelerde meydana gelmektedir. Foton enerjisi herhangi bir yörüngenin bağ enerjisine eşit olduğu durumda etkileşme o yörüngede yoğunluk kazanmaktadır (23).

2.2.2. Koherent Saçılma

Gelen foton ile saçılan foton arasında, enerji farkı olmadan meydana gelen saçılmaya koherent saçılma denir (Şekil 2.3). Bu olayda gelen fotonla saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Gelen foton ile saçılan foton arasında bir faz ilişkisi olup, bu ilişkiden dolayı saçılan dalgalar arasında girişim meydana gelebilir. Böylece atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı ile bulunur. Çoğu zaman Thomson, Delbrück, Rayleigh ve Nükleer Rezonans saçılmaları koherent saçılma olarak da bilinir. Bir atomdan saçılma için genlikler, bu dört tip saçılmadan olan katkıların toplamı gibi yazılabilir (24).



Şekil 2.3. Rayleigh saçılması

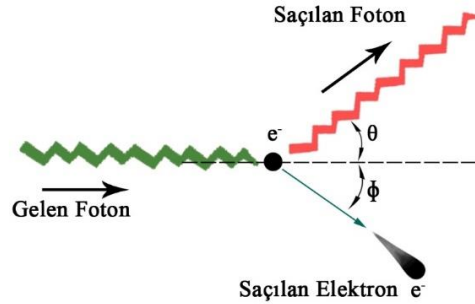
Koherent saçılma (bağlı elektrondan rezonans saçılma), fotonların atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Bu olay; gelen bir foton, bağlı bir elektron üzerine düştüğünde elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde

meydana gelir. Bu yüzden, bu saçılma düşük enerjilerde ve büyük atom numaralı ağır elementlerde meydana gelmektedir (25).

2.2.3. Compton Saçılması

Işığın tanecikli yapıda olduğu gösteren olaylardan biri de Compton saçılmasıdır. Bu olay, gama fotonunun atomun dış yörüngesindeki zayıf bağlı bir elektrona çarparak enerjisinin bir kısmını o elektrona vermesi ve geliş doğrultusu ile θ açısı yaparak saçılması ile oluşur.

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi rölativistik enerjisi E_0 ve momentumu P_0 olan bir foton, durgun kütle enerjisi m_0c^2 olan durgun bir elektron üzerine gönderilmiştir. Gelen foton, duran elektronla θ açısı yaparak saçılırken elektron da çarpışmadan sonra, K kinetik enerjisi ve P momentumu ile ϕ açısı yaparak geri tepmektedir. Bu olayda gelen foton, saçılan foton ve geri tepen elektron aynı düzlemedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Compton Saçılması

Enerjinin ve momentum korunumundan gelen ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki fark,

$$\Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i = \lambda_c (1 - \cos \theta) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade Compton ifadesi olarak bilinir. Burada,

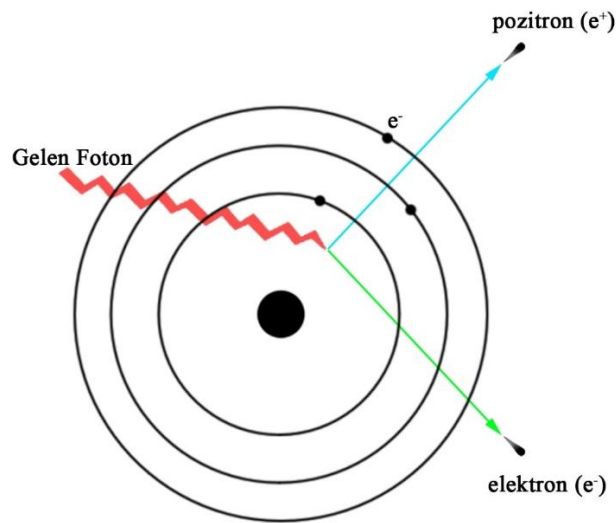
$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2,426.10^{-12} \text{ m} \quad (3)$$

Compton dalga boyu olarak adlandırılır. c 'nin değeri ise deneysel değeri ile çok iyi uyuşmaktadır (26).

2.2.4. Çift Oluşumu

Rölativistik enerjinin bir şekilden bir başka şekle dönüşmesi olaylarından biri de çift oluşumdur. Gelen fotonun enerjisi 1,022 MeV'lik bir enerjiden daha büyük olursa çift oluşumu meydana gelir. Çekirdeğin etki alanına giren yüklü bir parçacık veya foton, bir elektron ve bir pozitrona dönüşmesi olayına çift oluşumu denir. Elektronun ve pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise zıt işaretlidir. Çift oluşumu bir çekirdek etrafında veya yüklü bir parçacık etrafında meydana gelebilir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Sonuçta; bu olay meydana gelirken yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur (27, 28) (Şekil 2.5).

$$\gamma \text{ fotonu} \rightarrow e^- + e^+ \quad (4)$$

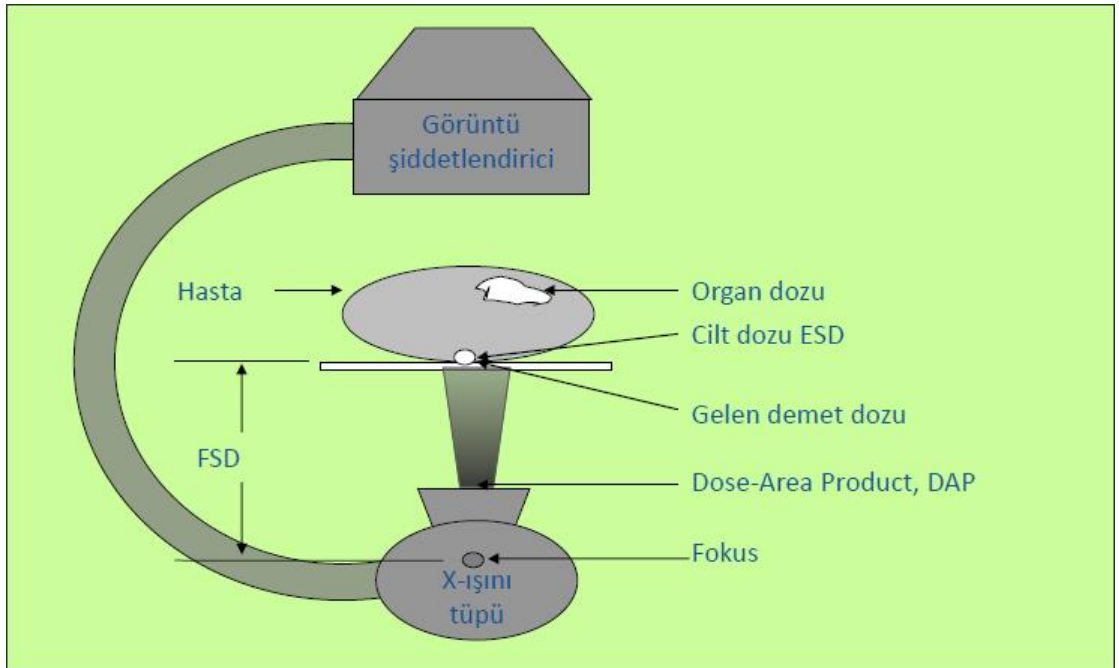


Şekil 2.5. Çift oluşumu

2.3. Dozimetrik Birimler

Radyasyondan korunmanın genel amacı insanları ve yaşam alanını hem iç hem de dış ışınlama kaynaklı iyonize radyasyonun zararlı etkilerinden korumaktır. Bu durum radyasyon alanlarının ve maruziyetin miktarlarının belirlenmesini gerektirir (29). Dozimetrik birimler ICRU (International Commission on Radiation Units & Measurements) tarafından tanımı yapılan ve belirlenen medikal X-ışını görüntülemelerde hasta doz miktarlarının ölçüm birimleridir (Şekil 2.6), bunlardan en önemlileri:

- Işınlama (Exposure)
- Soğurulan Doz (Absorbed Dose)
- Radyasyon-ağırlıklı doz (Radiation Weighted Dose)
- Etkin Doz (Effective Dose)
- Hava Kerma (Incident Air Kerma, INAK)
- Giriş Yüzey Hava Kerma (Entrance Surface Air Kerma, ESAK)
- Hava Kerma Alan Bileşkesi (Air Kerma-Area Product)(43)



Şekil 2.6. Medikal X-ışını görüntülemelerde dozimetrik birimlerin şematik gösterimi (30)

2.3.1 Soğurulan Doz (Absorbed Dose)

Soğurulan doz, D , fiziksel bir miktarı nitelendirir. İyonize radyasyonun her çeşidi ve ışınlama geometrileri için kullanılan bir birimdir. Soğurulan doz, birim ortalama enerjinin $d\bar{\epsilon}$, birim kütleli hacim elemanı dm ile oranı olarak tanımlanır, birimi gray (Gy) dir (29).

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (5)$$

2.3.2 Radyasyon Ağırlıklı Doz

Koruma birimleri (radyasyon-ağırlıklı doz ve etkin doz) doz değerlerini tanımlamak, stokastik sağlık etkilerini kabul edilebilir bir seviyenin altında tutmak, mesleki ışınlama maruziyetinden kaçınmak için tanımlanmıştır. Ortalama soğurulan doz, $D_{T,R}$, radyasyon tipi (R) ve belirli bir organ ya da dokunun hacim ortalaması (T) olarak tanımlanır. Doku veya organ için radyasyon-ağırlıklı doz (eski adıyla eşdeğer doz), H_T ,

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (6)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada $D_{T,R}$, T dokusu tarafından soğurulan R türündeki radyasyonun ortalama miktarını, W_R ise R tipli radyasyonun ağırlık faktörünü ifade etmektedir. Radyasyon ağırlıklı dozun birimi $J kg^{-1}$ ve özel birimi sievert (Sv) olarak verilir (29).

2.3.3 Etkin Doz

Etkin doz, E , radyasyon-ağırlıklı doz ile doku ağırlık faktörünün çarpılmasıyla elde edilen bir koruma birimidir. Etkin doz,

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} \quad (7)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada W_T , T dokusunun ağırlık faktörü, W_R , R radyasyonunun ağırlık faktörü ve $D_{T,R}$, T dokusu tarafından soğurulan R türündeki radyasyonun ortalama miktarı olarak verilir. Etkin doz birimi $J\ kg^{-1}$ ve özel birimi sievert (Sv) olarak verilir (29).

2.3.4 Hava Kerma (Incident Air Kerma, INAK)

Hava kerma, merkezi X-ışını ekseninde deriye giriş alanını kapsayan havadaki kerma değeridir, hasta ya da fantom üzerine gelen birincil radyasyon demetini içermektedir ve geri saçılan radyasyon içermez (29).

2.3.5 Giriş Yüzey Hava Kerma (Entrance Surface Air Kerma, ESAK)

Giriş yüzey hava kerma değeri merkezi X-ışını ekseninde hasta ya da fantomun içerisine girdiği noktadaki hava kerma değeridir. Geri saçılan radyasyon katkısı dâhildir (29).

2.3.6 Hava Kerma Alan Bileşkesi (Air Kerma-Area Product)

Hava kerma alan bileşkesi radyasyon demeti eksenine dik bir düzlem içindeki X-ışınının boşluktaki hava kerma değerinin integralidir (29).

2.4. Monte Carlo (MC) Simülasyon Yöntemi

Bir deneyin ya da fiziksel bir olgunun bilgisayarlar yardımı ile modellenmesi olayına simülasyon adı verilir. Oluşturulan model bazen bir denklem veya denklemler grubu olabileceği gibi bazen de bir rastgele gruplar içerebilir. Bir sayısal analiz yöntemi olan Monte Carlo (MC), fiziksel ölçümlerin ya çok zor ya da imkânsız olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılan, genellikle bir olayı veya deneyi çeşitli istatistik teknikler kullanarak sayısal olarak betimlemeye çalışan bir modelleme tekniğidir. Bu yöntemi diğer sayısal analiz yöntemlerinden ayıran özellik,

problemin çözümü için rastgele örnekleme metodu kullanması ve uygun olasılık dağılımlarına dayanarak değişkenler üzerine stokastik bir model kurmasıdır (31).

Monte Carlo tekniğinin temelini oluşturan rastgele örnekleme yöntemi ilk kez 1777 yılında Comte de Buffon tarafından ileri sürülmüştür. Radyasyon etkileşmelerinin tayininde ilk olarak Enrico Fermi tarafından nötron yayılımı hesaplamalarında kullanılmıştır. İlk elektronik bilgisayar ENIAC'ın geliştirilmesinin ardından Amerika Los Alamos Ulusal Laboratuvarında (LANL) Stanislaw Ulam ve John von Neumann adlı iki matematikçi tarafından, bu rastgele örnekleme metodu bilgisayarlara uygulanmıştır (32, 33).

İyonize radyasyon ile ilgili birçok alanda maddeden radyasyon taşınımının üç boyutlu olarak hesaplanması önemlidir. Boltzman denklemi radyasyon parçacıklarının taşınımının bir diferansiyel denklem tanımını verir. Bununla birlikte Boltzman taşınım denkleminin genel bir analitik çözümü olmayıp nümerik çözümleri mevcuttur. Bunlar sıklıkla fiziksel kesinlik ile yapılabirlik arasında karşılıklı ödün vererek uzlaşya dayanan yaklaşık metotlardır. Bugüne kadar iki farklı yaklaşım geliştirilmiştir: deterministik yöntemler ve stokastik yöntemler yani Monte Carlo (MC) yöntemleri rastgele örneklemeyle dayalı nümerik yöntemlerdir. MC yöntemlerinin çözüm yolu bilgisayarın ürettiği rastgele sayıları fiziksel olaylarla, mümkün etkileşmelerin olasılık yoğunluğu fonksiyonlarıyla yani tesir kesiti (cross-section) değerleri aracılığıyla ilişkilendirmektir. Bundan dolayı, MC kodları taşıdığı madde ile etkileşen bir parçacığın olasılığını hesaplamak için tesir kesiti kütüphanelerini içermek zorundadır. Her bir etkileşim için tesir kesiti gelen parçacığa, onun enerjisine ve yol aldığı maddeye bağımlıdır (34, 35, 36).

MC simülasyon yazılımları doğal uygulamalarını, fizik deneylerinde, hızlandırıcılarda, nükleer fizikte, ağır iyonlarda, radyasyondan korunma hesaplamalarında, uzay radyasyon ortamında, uydular için radyasyondan korunma zırhlamalarında, kozmik ışın uygulamalarında, astrofizikte, tıbbi görüntüleme, dozimetride, radyoterapi tedavi planlamada kullanılır (37). MC tekniği fotonların ve parçacıkların her bir etkileşiminin olasılık dağılımlarını belirlemek için fiziğin temel yasalarını kullanır. Simüle edilen parçacıkların sayısı (simülasyon öyküsü) arttıkça, dağılımlarını doğru tahmin etme olasılığı da artar. Bununla birlikte simüle edilen

parçacıkların sayısının artmasıyla hesaplama zamanı oldukça artacaktır. Bundan dolayı bir MC kodu yazmadaki en büyük zorluk demetteki parçacıkların ortalama davranışını tahmin etmede rastgele seçilmiş kısmen az sayıda parçacığı kullanabilmektir. Doz dağılımı ortama enerji verilmesine yol açan iyonlaşma olaylarının voksellerde biriktirilmesiyle (scoring) hesaplanır. Yeterli kesinlikte bir radyoterapi tedavi planlaması için birkaç yüz milyon ile bir milyar simülasyon öyküsünün gerektiği tahmin edilmektedir (1).

Radyasyon etkileşimlerinin Monte Carlo yöntemi ile simülasyonunda kullanılan farklı bilgisayar programları (EGS, EGSnrc, GEANT4, CALDOSE X, PCXMC, FLUKA, MCNP vb.) bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan PCXMC ve CALDOSE X programları ile foton ve elektron etkileşimlerinin simülasyonu yapılabilmektedir.

Monte Carlo simülasyonu her bir parçacık izini, istatistiksel bir anlamda, bilinen fiziksel yasalar ışığında; saçılma ve absorpsiyon tesir-kesitlerini kullanarak, aslına uygun bir şekilde yeniden oluşturur (38). Simüle edilen parçacıklar, enerji kaybettikçe, diğer parçacıkları ürettikçe takip edilir ve eninde sonunda ilgilenilen geometriden dışarı çıktıklarında ya da enerjileri verilen bir eşik değerin altına düştüğünde yok edilir. Bu süreçte, akı ya da absorbe edilen doz gibi nicelikler sayılabilir (score). Sayılan nicelikler tahminlerdir ve belli olasılıklara karşılık gelen aralıklarla sıralanırlar. Sonuç ile ilgili belirsizlik simüle edilen parçacık sayısının bir fonksiyonudur. Daha fazla simülasyon öyküsü yürütülmesiyle belirsizlik daha küçük hale gelir (36). Günümüzün genellikle Linux altında çalışan güçlü bilgisayarlar, Monte Carlo hesaplama üniteleri olarak etkin bir şekilde iş görürler. Teori ve hesaplama yeteneğinin bu kesişme noktası Monte Carlo yöntemlerini özellikle araştırma ile ilgilenen medikal fizikçilerin standart araçlarından biri haline getirmiştir (38).

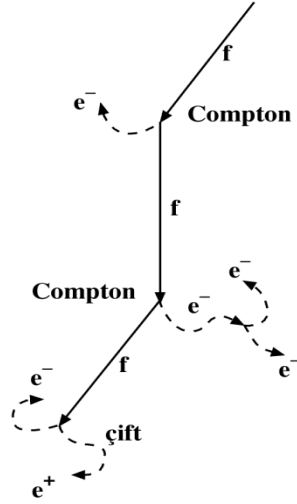
Rastgele sayılar rastgele sayı üreticileri (random number generators) denen bilgisayar algoritmaları tarafından sağlanır. Bu rastgele sayılar gerçekte rastgele değildir, çünkü rastgele sayı üreticinin verilen bir durumda üretici tarafından üretilen rastgele sayılar serisi önceden tanımlanmıştır. Bununla birlikte, yüksek nitelikli bir rastgele sayı üretici ilişkisiz (uncorrelated) sayılar üretmelidir; bundan

dolayı, bu sayılar sıklıkla sanki rastgele (pseudo-random) sayılar olarak adlandırılır (39).

Rastgele sayı ξ için $f(\xi)$ fonksiyon değerinin $(b-a)$ aralık uzunluğu ile çarpımı bir ilk ve çok kaba bir tahmin ile gerçek integrali verir. Fakat bu tekrarlanabilir. Oldukça fazla miktarda rastgele sayıyı örnek olarak deneyebiliriz. Bunlara karşılık gelen dikdörtgenlerin alanlarını hesaplayabilir ve ortalamasını alabiliriz. Bu ortalama değer sonsuz rastgele sayı denemesi limitinde gerçek integrale diğer bir deyişle gerçek alana yakınsar. Gerçekte sonsuz sayıda rastgele sayıyı deneyemeyiz ve istenen doğruluğu elde ettiğimizde bu işlemi sonlandırırız (39).

Monte Carlo integrasyonu problemin boyutları çok fazla ise ya da boyutlar sonsuza yaklaşıyor ise önem kazanır. Bu özellikle bir hastada iyonize edici radyasyonun oluşturduğu doz dağılımını hesaplama durumunda karşımıza çıkar. Bu amaç için çözülmesi gereken taşınım denklemi her bir hasta için farklıdır. Taşınım denklemi ayrıca örneğin radyoterapide demet yönelimi, alan boyutları, enerji vb. gibi tedavi koşullarına da bağlıdır. Fakat birçok sayıda parçacık öyküsünü simüle ederek MC yöntemiyle taşınım denklemini nümerik olarak çözebiliriz. Bu bağlamda bir parçacığın öyküsü, tüm enerji absorbe edilene kadar ya da parçacık ve tüm ikincil parçacıklar ilgilenilen hacmi terk edene kadar hesaplama geometrisine giren bir fotonun ya da bir elektronun izlediği yol tarafından belirlenir (Şekil 2.7). Şekil 2.7'deki örnekte bir f fotonu ilgi alanına girmekte ilk Compton etkileşimi yerine taşınmaktadır. Burada foton saçılmakta ve atom iyonize olmaktadır.

Compton elektronu e^- , etkileşim yerini terk etmekte ve enerjisini kaybedene kadar taşınmaktadır. Saçılan foton çift oluşum süreci gibi daha birçok etkileşime girebilir. Birincil ya da ikincil her parçacık tüm enerji absorbe edilene kadar ya da geometrik ilgi bölgesini terk edene kadar simüle edilmelidir. Bu yolda, doku molekülleri ile etkileşim süreçleri nedeniyle parçacıkların enerjileri ve momentumları değişebilir ve ikincil parçacıklar meydana gelebilir. Bu süreçlerin özellikleri toplam ve diferansiyel etkileşim kesitleri tarafından verilen olasılık dağılımları tarafından belirlenir. Bu olasılık dağılımlarından süreç parametrelerini rastgele olarak örnekleme radyasyon fiziğinde MC simülasyonlarının temellerini oluşturur (39).



Şekil 2.7. Monte Carlo Simülasyonunda bir foton öyküsünün örneği (39)

2.5. Bilgisayar

Yapılan çalışmada araştırmacının kişisel bilgisayarını kullanılmıştır. 2.2 GHz frekansında çalışan 4 çekirdekli bir CPU'ya ve 6 GB RAM (Random Access Memory) 'e sahip bu bilgisayar her bir tetkik adına X-ışını tüpünden yayılan 1 000 000 foton öyküsü için yapılan simülasyon işlemini ve bu işlem sonucu verileri elde etme işlemini 30 dakika ile 40 dakikalık bir süre aralığında yerine getirebilmektedir. Bu nedenle daha güçlü bir bilgisayar ya da Monte Carlo hesaplamalarında genelde kullanıldığı gibi Beowulf benzeri paralel bağlı bilgisayar sistemleri kullanımına gerek kalmamıştır.

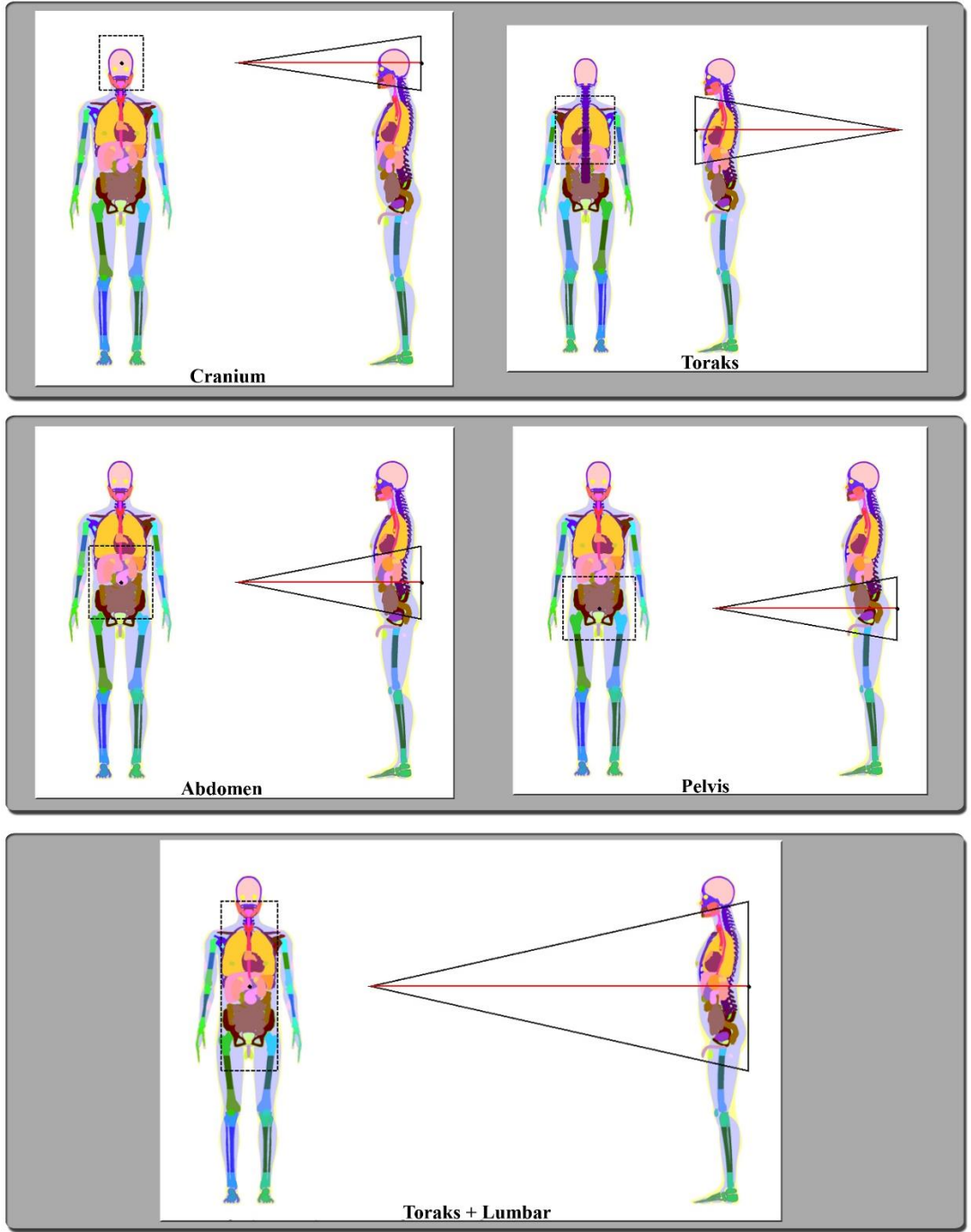
Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarların işlem hızlarının artması vücut modeli oluştururken basit geometrilerle temsil edilme sınırlandırmasını kaldırmıştır. Ayrıca bilgisayarlı tomografi (CT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi üç boyutlu gelişmiş görüntüleme teknikleri ile insan vücudunun iç yapısının dijital görüntüleri elde edilebilmiştir. Bu gelişmeler sayesinde az sayıda görüntü tabanlı tüm vücut modelleri oluşturulmuştur (11).

2.5.1. Monte Carlo (MC) Caldose X Algoritması

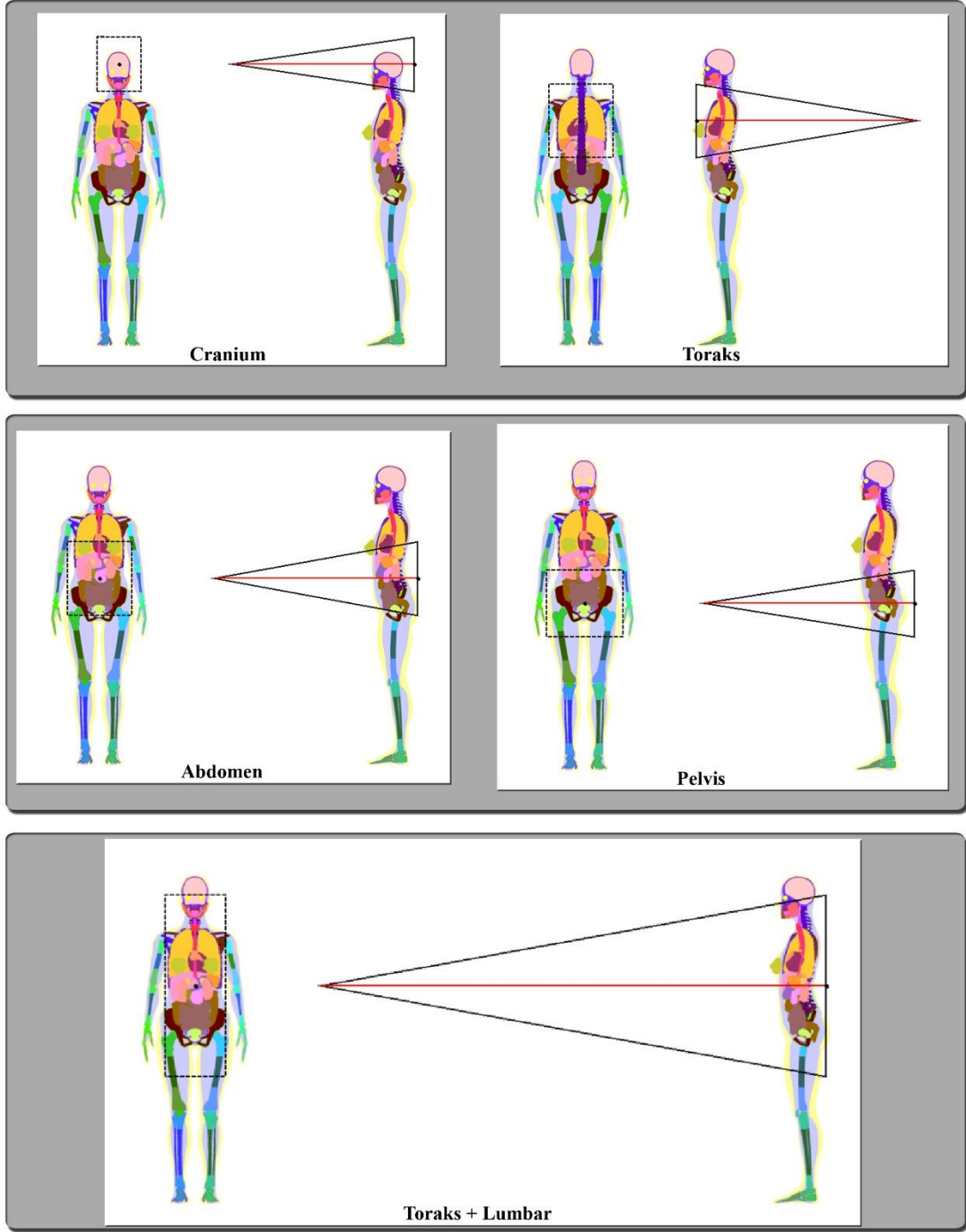
Caldose X, X-ışını tüpü çıkış eğrisini baz alarak hava kerma (incident air kerma, INAK) değerini hesaplayan ve bu değeri geri saçılma faktörü (back scatter factor, BSF) ile çarparak giriş yüzeyi kermasını (entrance surface air kerma, ESAK) hesaplayan bir yazılım aracıdır. Bunun yanı sıra, sıkça kullanılan medikal X-ışını görüntüleme uygulamalarında organ ve dokuların soğurulan doz değerlerini ve efektif doz değerlerini postüre özgü yetişkin erkek ve kadın fantomlar için hesaplayabilmektedir. Ayrıca, Caldose X kullanıcı tarafından seçilen uygulama parametreleri için kanser görülme risk oranı ve kanser mortalite risk oranını belirlenebilmektedir.

Bu uygulamada, ICRP89 tarafından belirlenen anatomik referans verilerine dayanarak organ ve doku kütleleri dâhil olmak üzere oluşturulmuş mesh tabanlı MASH (erkek) ve FASH (kadın) yetişkin fantomları kullanılmaktadır. Şekil 2.8'de görülen MASH ve Şekil 2.9'da görülen FASH fantomları duruşa özgü medikal X-ışını görüntüleme protokollerine ve Monte Carlo hesaplarının yapılmasına uygun olacak bir biçimde modellenmiştir.

Caldose X uygulaması ayakta ve sırtüstü pozisyonlar için 2.5 mmAl standart filtrelemeli 24 farklı uygulama çeşidini kapsar. Odak-dedektör mesafesi (focus-to-detector, FDD) belirli bir aralık için kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Uygulamada bulunan ve standart olan X-ışını tetkik parametreleri ve pozisyon çeşitleri X-ışını pratisyenleri için ders kitapları ve röntgen birimlerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır.



Şekil 2.8. MASH (erkek) fantom görünüşleri ve belirlenen çekim şeması



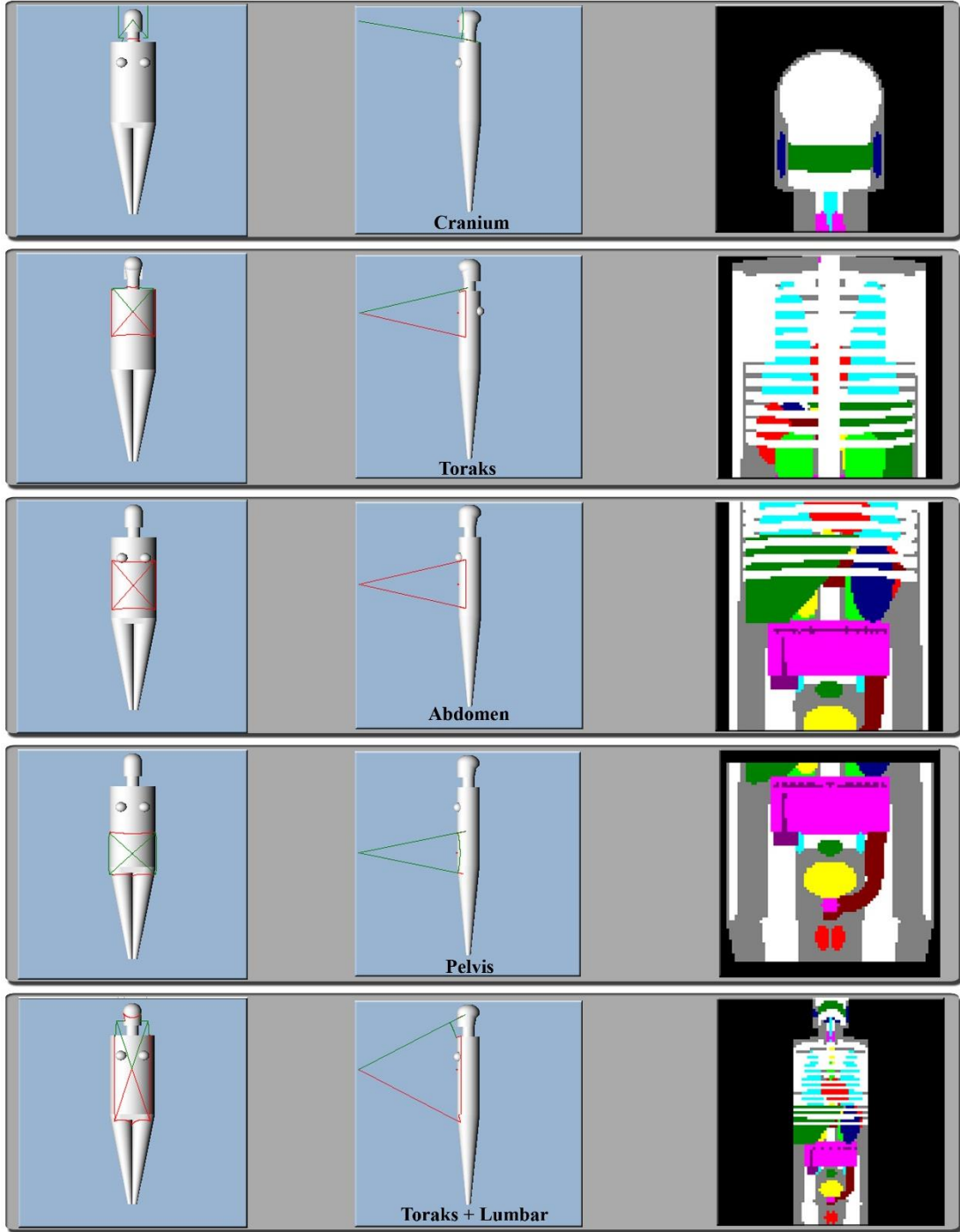
Şekil 2.9. FASH (kadın) fantom görünüşleri ve belirlenen çekim şeması

2.5.2. Monte Carlo (MC) PCXMC Algoritması

PCXMC medikal görüntüleme tetkiklerinde (radyografi ve floroskopi) hastanın organ dozlarını ve efektif dozlarını hesaplayan bir yazılım aracıdır. Organ dozları 29 farklı organ ve doku için hesaplanabilmektedir. Yazılımın içerdiği doku ve organlar; aktif kemik iliği, böbrek üstü bezleri, beyin göğüs, kolon (üst ve alt kalın bağırsak), solunum yolu, safra kesesi, kalp, böbrekler, karaciğer, akciğer, lenf düğümleri, kas, yemek borusu, ağız mukozası, yumurtalıklar, pankreas, prostat, tükürük bezleri, iskelet, deri, ince bağırsak, dalak, mide, testis, timus, tiroid, mesane ve rahim dir. PCXMC, yeni ICRP 103 (2007) ve eski ICRP 60 (1991) doku ağırlık faktörlerini kullanarak efektif doz hesabı yapabilmektedir. Yazılım ayarlanabilir boyutlu pediatrik ve yetişkin hasta modelleri ile kullanıcı tarafından belirlenen X-ışını muayene teknikleri içermektedir.

İyonize radyasyon maruziyetinden doğan kanser riskini hesaplamak adına bir çok matematiksel model geliştirilmiştir. PCXMC BEIR VII komisyonu (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, BEIR 2006) tarafından geliştirilen modeli kullanmaktadır. Yazılım hastanın ölüm riskini, BEIR VII komisyonu (BEIR 2006) tarafından belirlenen cinsiyet ve yaşa bağlı radyasyon kaynaklı kanser risk modellemesi ile belirleyebilmektedir.

Doku ve organ dozlarının hesabında anatomik vücut modeli olarak Cristy ve Eckerman (1987) tarafından tanımlanan matematiksel hermafrodit fantom, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek adına iyileştirilerek kullanılmıştır. Yazılım matematiksel fantom için 1, 5, 10, 15 ve yetişkin olmak üzere 6 farklı yaş grubu ve kullanıcı tarafından belirlenen keyfi boy-kilo değerleri üzerinden hesap yapabilmektedir. Aynı zamanda X-ışını projeksiyonu ve diğer muayene parametreleri yine kullanıcının seçimine sunulmuştur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Cristy ve Eckerman (1987) tanımlanan hermafodit fantom görünüşleri ve çekim şeması

2.6. Radyasyon Doz Ölçümlerinin Hesaplanması

Radyoterapi uygulamalarında, önceden hastalıklı olarak tanımlanmış bir doku hacmi radyasyon dozuna maruz bırakılırken, aynı esnada hastanın hayati açıdan risk taşıyan diğer organlarının (gözler, yumurtalıklar, kırmızı kemik iliği vb.) ne kadar doz aldıklarının bilinmesi, radyasyon riskinin analizi açısından büyük önem taşır. Bu tür sağlık fiziği uygulamalarında doz tayini, genel olarak belirli organ ve dokularda biriken doz miktarının ölçülmesiyle yapılır. Ancak vücudun farklı organ ve dokularında birikecek radyasyon dozunun ölçülmesi genellikle zor ya da imkânsız olup, organ ve dokularda soğurulan dozlar genellikle vücut modelleri (fantom) kullanılarak bilgisayarlarla hesaplanır. Gelişen bilgisayar teknolojilerine paralel olarak 1970'li yılların başlarından beri radyasyondan korunma amaçlı birçok vücut modeli geliştirilmiştir (40, 41). Monte Carlo programları ile birlikte kullanıldığında bu vücut modelleri herhangi bir radyasyon ortamı içerisinde organ ve dokuların soğuracakları doz miktarının hesaplanmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır (42).

Radyoterapide hesaplanan dozun bırakılmak istendiği doku hacmi planlanan hedef hacim (Planned Tumour Volume, PTV) olarak adlandırılır. Vücuttaki organ ve dokuların yoğunluk, büyüklük ve bileşimlerinin farklılık göstermesi nedeniyle organların ve dokuların aynı radyasyon maruziyetine verdiği tepkiler farklıdır. PTV'nin etrafında bulunan ve ışınlama alanı içine giren radyasyon hassasiyeti yüksek organlar riskli organlar (Organs at Risk, OAR) olarak adlandırılır. Riskli organlar, ışınlama hacmi içerisinde radyasyon hassasiyetinden dolayı tedavi planlamasını ve bırakılmak istenilen dozu sınırlandıran organlardır (1).

2.7. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada iki cinsiyet grubu arasında karşılaştırmalar için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Çalışmada çift kuyruklu olarak $p \leq 0.05$ anlamlı kabul edilmiştir. Ayrıca ISÖR ve ISKR değerleri için ortalama ve standart sapmalar belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada kullanılan Caldose X ve PCXMC algoritmaları ile medikal X-ışını tetkiki simüle edilirken kaynak olarak tungsten anot, filtrasyon 2.5 mmAl, anot açısı 17 derece, erkek için boy 176 cm, kilo 73 kg, kadın için boy 163 cm kilo 60 kg, ICRP'nin belirlediği referans yetişkin yaşı olarak 35 (yıl) her bir simülasyon için sabit tutulmuştur. Caldose X ve PCXMC algoritmalarında ön tanımlı olarak belirlenmiş olan X-ışın tüpü spektrumlarına müdahale edilmemiştir. Çalışmada değiştirilemeyen bazı parametreler kıyasa engel teşkil ettikleri için sabit tutulmak zorunda kalmıştır. Bu durum tartışma bölümünde daha detaylı olarak incelenecektir.

Çalışma alanları olarak diagnostik radyolojide tetkikinde sıkça başvuru alan standart Cranium, Thoraks, Abdomen, Pelvis, Thoraks+Lumbar çekimleri belirlenmiştir. Çekim alanları belirlenirken her alan için Tablo 3.1'de gösterilen kodlamalar yapılmıştır. FDD (focus-to-detector) değerleri olarak Cranium için 110, Thoraks için 170, Abdomen için 110, Pelvis için 110, Thoraks+Lumbar için ise 250 olarak belirlenmiştir.

Örnek olarak standart abdomen uygulamasında yetişkin bir erkek için çekim pozisyonu olarak AP(anterior-posterior), kaynak dedektör mesafesi (focus-to-detector, FDD) 110 cm, tüp potansiyeli 75 kV ve tüp akımı 20 mAs olarak belirlenmiştir. Bu değerler baz alındığında çekim pozisyonu ve dedektör mesafesi sabit tutularak tüp potansiyeli 60-75-90 kV değerleri için tüp akımı ise 20-30 mAs için simülasyon kombinasyon bulguları elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen simülasyonda yetişkin bireyleri temsilen FASH (Kadın) ve MASH (Erkek) fantomlarının organ ve doku kütleleri ile ağırlık faktörleri ICRP89 tarafından referans edilmiş ve Caldose X uygulamasınca ön tanımlı olarak kullanıcıya sunulmuştur. PCXMC uygulamasında ön tanımlı olarak sunulan hermafrodit fantom Cristy ve Eckerman (1987) tarafından CT görüntüleri baz alınarak matematiksel benzetimi yapılmıştır.

Tablo 3.1. Çalışma alanlarının kısa kodları ve FDD (Focus to Detector Distance), mAs (miliamper saniye), kVp (kilovoltaj), DA (dedektör alanı) değerleri

Bölgeler	Kod	mAs	kVp	DA
Cranium (AP)	Cr-1	20	60	24 cm x 30 cm
	Cr-2	20	70	
	Cr-3	20	80	
	Cr-4	30	60	
	Cr-5	30	70	
	Cr-6	30	80	
Thoraks (PA)	Th-1	20	60	35 cm x 40 cm
	Th-2	20	80	
	Th-3	20	100	
	Th-4	20	120	
	Th-5	20	150	
	Th-6	30	60	
	Th-7	30	80	
	Th-8	30	100	
	Th-9	30	120	
	Th-10	30	150	
Abdomen (AP)	Ab-1	20	60	35 cm x 40 cm
	Ab-2	20	75	
	Ab-3	20	90	
	Ab-4	30	60	
	Ab-5	30	75	
	Ab-6	30	90	
Pelvis (AP)	Pe-1	20	60	40 cm x 35 cm
	Pe-2	20	80	
	Pe-3	20	100	
	Pe-4	30	60	
	Pe-5	30	80	
	Pe-6	30	100	
Thoraks + Lumbar (AP)	ThLum-1	20	60	30 cm x 90 cm
	ThLum-2	20	80	
	ThLum-3	20	100	
	ThLum-4	30	60	
	ThLum-5	30	80	
	ThLum-6	30	100	
	ThLum-7	40	60	
	ThLum-8	40	80	
	ThLum-9	40	100	

3.1. Caldose X Algoritması ile Organların Soğurduğu Radyasyon Dozları

Tablo 3.2. Erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	Cr-1		Cr-2		Cr-3		Cr-4		Cr-5		Cr-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	1.840	0.86	2.496	0.91	3.164	0.96	2.760	0.86	3.750	0.91	4.758	0.96
Beyin	0.109	0.27	0.200	0.25	0.332	0.23	0.163	0.27	0.301	0.25	0.499	0.23
Ağız Mukozası	0.143	1.05	0.245	1.00	0.397	0.93	0.214	1.05	0.368	1.00	0.597	0.93
Gözler	1.238	0.70	1.747	0.73	2.346	0.74	1.857	0.70	2.624	0.73	3.528	0.74
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	1.847	0.86	2.520	0.91	3.218	0.96	2.770	0.86	3.786	0.91	4.840	0.96
Tükrük Bezleri	0.450	0.51	0.652	0.52	0.907	0.53	0.676	0.51	0.979	0.52	1.364	0.53
Tiroid	0.003	9.98	NA		0.013	9.21	0.005	9.98	NA		0.020	9.21
Solunum Yolu	0.232	0.65	0.379	0.62	0.567	0.61	0.347	0.65	0.570	0.62	0.853	0.61
Lenf Düğümleri	NA		NA		0.003	4.63	NA		NA		0.004	4.63
İskelet	0.191	0.07	0.296	0.07	0.429	0.08	0.287	0.07	0.445	0.07	0.646	0.08
Maksimum Rbm.	0.199	0.97	0.339	0.92	0.537	0.86	0.299	0.97	0.509	0.92	0.808	0.86
Maksimum Bsc.	0.240	0.98	0.409	0.93	0.670	0.87	0.360	0.98	0.614	0.93	1.007	0.87
Ağırlıklı Mash Dozu	0.011	0.47	0.019	0.68	0.027	0.91	0.017	0.47	0.029	0.68	0.041	0.91

Tablo 3.2'de erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 13 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada cranium alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.3. Erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Th-1		Th-2		Th-3		Th-4		Th-5	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.792	1.19	1.301	1.31	2.134	1.39	2.962	1.45	4.587	1.47
Böbreküstü	0.075	2.82	0.205	2.49	0.440	2.24	0.721	2.12	1.317	1.96
Beyin	NA		NA		0.003	2.95	0.004	2.61	0.012	2.27
Ağız Mukozası	0.004	5.42	0.015	4.19	0.034	3.60	0.063	3.34	0.118	3.03
Kolon Duvarı	0.002	3.82	0.006	2.94	0.013	2.47	0.026	2.24	0.048	2.02
Göğüs	0.010	8.63	0.035	6.73	0.082	5.65	0.142	5.25	0.281	4.65
Böbrekler	0.063	0.67	0.166	0.61	0.328	0.58	0.540	0.55	0.960	0.52
Karaciğer	0.022	0.49	0.071	0.40	0.156	0.36	0.274	0.34	0.510	0.32
Akciğer	0.095	0.27	0.240	0.24	0.491	0.23	0.816	0.22	1.447	0.21
Yemek Borusu	0.055	1.95	0.174	1.60	0.369	1.44	0.644	1.33	1.199	1.23
Pankreas	0.011	2.49	0.036	1.97	0.079	1.73	0.144	1.59	0.269	1.47
İnce Bağırsak	NA		0.003	3.12	0.007	2.59	0.014	2.27	0.030	2.02
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.794	1.19	1.414	1.31	2.198	1.39	3.077	1.45	4.817	1.47
Dalak	0.047	1.12	0.133	0.99	0.276	0.89	0.469	0.85	0.858	0.80
Mide	0.016	1.88	0.053	1.53	0.118	1.34	0.211	1.23	0.402	1.12
Tükrük Bezleri	0.004	4.71	0.014	3.89	0.029	3.51	0.055	3.20	0.097	2.95
Timüs	0.022	3.85	0.076	3.07	0.178	2.65	0.323	2.40	0.580	2.24
Tiroid	0.046	3.05	0.132	2.63	0.290	2.32	0.485	2.19	0.900	2.03
Solunum Yolu	0.005	4.19	0.015	3.39	0.034	2.94	0.061	2.70	0.115	2.48
Kalp	0.047	0.75	0.142	0.64	0.300	0.58	0.524	0.54	0.954	0.50
Lenf Düğümleri	0.021	1.05	0.063	0.89	0.134	0.80	0.225	0.75	0.414	0.70
Safra Kesesi	NA		NA		0.034	9.40	0.061	8.73	0.118	7.60
İskelet	0.096	0.10	0.231	0.10	0.423	0.10	0.662	0.10	1.090	0.10
Maksimum Rbm.	0.107	1.13	0.283	1.01	0.569	0.45	0.960	0.43	1.736	0.40
Maksimum Bsc.	0.143	2.05	0.386	1.83	0.798	1.06	1.346	1.00	2.395	0.95
Ağırlıklı Mash Dozu	0.029	0.54	0.081	0.41	0.168	0.43	0.284	0.49	0.516	0.42

Tablo 3.3'de erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 26 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.4. Erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	Th-6		Th-7		Th-8		Th-9		Th-10	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	1.194	1.19	1.945	1.31	3.194	1.39	4.435	1.45	6.866	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.113	2.82	0.306	2.49	0.658	2.24	1.079	2.12	1.971	1.96
Beyin	NA		NA		0.004	2.95	0.006	2.61	0.018	2.27
Ağız Mukozası	0.006	5.42	0.022	4.19	0.051	3.60	0.094	3.34	0.176	3.03
Kolon Duvarı	0.003	3.82	0.009	2.94	0.020	2.47	0.040	2.24	0.072	2.02
Göğüs	0.015	8.63	0.052	6.73	0.123	5.65	0.213	5.25	0.420	4.65
Böbrekler	0.094	0.67	0.249	0.61	0.491	0.58	0.809	0.55	1.437	0.52
Karaciğer	0.034	0.49	0.107	0.40	0.233	0.36	0.410	0.34	0.764	0.32
Akciğer	0.143	0.27	0.358	0.24	0.735	0.23	1.222	0.22	2.165	0.21
Yemek Borusu	0.084	1.95	0.260	1.60	0.552	1.44	0.964	1.33	1.794	1.23
Pankreas	0.016	2.49	0.053	1.97	0.119	1.73	0.216	1.59	0.402	1.47
İnce Bağırsak	NA		0.004	3.12	0.011	2.59	0.021	2.27	0.045	2.02
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	1.198	1.19	2.113	1.31	3.289	1.39	4.609	1.45	7.209	1.47
Dalak	0.071	1.12	0.198	0.99	0.414	0.89	0.702	0.85	1.284	0.80
Mide	0.024	1.88	0.080	1.53	0.176	1.34	0.316	1.23	0.601	1.12
Tükrük Bezleri	0.006	4.71	0.021	3.89	0.044	3.51	0.082	3.20	0.145	2.95
Timüs	0.034	3.85	0.114	3.07	0.266	2.65	0.483	2.40	0.868	2.24
Tiroid	0.069	3.05	0.197	2.63	0.433	2.32	0.727	2.19	1.347	2.03
Solunum Yolu	0.007	4.19	0.022	3.39	0.051	2.94	0.091	2.70	0.172	2.48
Kalp	0.070	0.75	0.212	0.64	0.449	0.58	0.784	0.54	1.428	0.50
Lenf Düğümleri	0.032	1.05	0.095	0.89	0.200	0.80	0.337	0.75	0.619	0.70
Safra Kesesi	NA		NA		0.051	9.40	0.091	8.73	0.176	7.60
İskelet	0.145	0.10	0.345	0.10	0.634	0.10	0.991	0.10	1.632	0.10
Maksimum Rbm.	0.162	1.13	0.423	1.01	0.851	0.45	1.438	0.43	2.599	0.40
Maksimum Bsc.	0.215	2.05	0.577	1.83	1.195	1.06	2.016	1.00	3.584	0.95
Ağırlıklı Mash Dozu	0.044	0.54	0.121	0.41	0.251	0.43	0.426	0.49	0.773	0.42

Tablo 3.4'de erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 26 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.5. Erkek organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Ab-1		Ab-2		Ab-3		Ab-4		Ab-5		Ab-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	2.307	1.07	3.540	1.16	4.942	1.24	3.460	1.07	5.311	1.16	7.399	1.24
Böbreküstü Bezleri	0.103	3.75	0.243	3.28	0.499	2.87	0.155	3.75	0.365	3.28	0.747	2.87
Mesane	0.055	2.78	0.133	2.41	0.258	2.14	0.083	2.78	0.200	2.41	0.387	2.14
Kolon Duvarı	0.482	0.33	0.919	0.32	1.540	0.31	0.722	0.33	1.379	0.32	2.306	0.31
Göğüs	0.012	9.95	0.041	9.15	0.071	8.61	0.018	9.95	0.061	9.15	0.106	8.61
Böbrekler	0.120	0.76	0.287	0.67	0.545	0.61	0.181	0.76	0.430	0.67	0.816	0.61
Karaciğer	0.559	0.14	1.073	0.14	1.791	0.14	0.838	0.14	1.609	0.14	2.682	0.14
Akciğer	0.048	0.60	0.108	0.55	0.191	0.52	0.072	0.60	0.161	0.55	0.286	0.52
Yemek Borusu	0.033	3.95	0.077	3.52	0.156	3.08	0.049	3.95	0.115	3.52	0.233	3.08
Testisler	NA		0.013	9.16	0.028	7.81	NA		0.019	9.16	0.042	7.81
Pankreas	0.392	0.61	0.829	0.57	1.451	0.55	0.588	0.61	1.244	0.57	2.173	0.55
İnce Bağırsak	0.375	0.29	0.758	0.28	1.313	0.26	0.562	0.29	1.137	0.28	1.966	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	2.313	1.07	3.589	1.16	5.059	1.24	3.470	1.07	5.384	1.16	7.574	1.24
Dalak	0.335	0.65	0.676	0.62	1.168	0.60	0.503	0.65	1.014	0.62	1.749	0.60
Mide	0.643	0.45	1.239	0.44	2.067	0.43	0.965	0.45	1.859	0.44	3.095	0.43
Timüs	0.019	6.43	0.049	5.60	0.092	5.05	0.028	6.43	0.073	5.60	0.138	5.05
Prostat	0.014	9.56	0.038	7.74	0.085	6.45	0.021	9.56	0.058	7.74	0.127	6.45
Kalp	0.060	1.05	0.138	0.94	0.258	0.87	0.090	1.05	0.207	0.94	0.387	0.87
Lenf Düğümleri	0.215	0.50	0.430	0.48	0.747	0.45	0.322	0.50	0.645	0.48	1.118	0.45
Safra Kesesi	0.953	1.40	1.733	1.40	2.793	1.39	1.429	1.40	2.600	1.40	4.182	1.39
İskelet	0.091	0.17	0.202	0.16	0.368	0.15	0.137	0.17	0.303	0.16	0.551	0.15
Maksimum Rbm.	0.055	1.45	0.143	1.17	0.287	1.03	0.083	1.45	0.215	1.17	0.429	1.03
Maksimum Bsc.	0.069	2.15	0.187	1.57	0.379	1.41	0.103	2.15	0.280	1.57	0.567	1.41
Ağırlıklı Mash Dozu	0.200	0.73	0.392	1.08	0.666	0.93	0.299	0.73	0.588	1.08	0.996	0.93

Tablo 3.5’de erkek organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata y%zdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan y%ksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada abdomen alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.6. Erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata y%zdeleri (%)

Alanlar	Pe-1		Pe-2		Pe-3		Pe-4		Pe-5		Pe-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	2.391	1.05	4.175	1.16	6.282	1.23	3.594	1.05	6.262	1.16	9.430	1.23
Mesane	0.233	1.32	0.644	1.15	1.325	1.05	0.350	1.32	0.966	1.15	1.988	1.05
Kolon Duvarı	0.403	0.36	0.936	0.35	1.719	0.34	0.605	0.36	1.404	0.35	2.580	0.34
B%brekler	0.016	2.08	0.054	1.67	0.124	1.46	0.024	2.08	0.080	1.67	0.186	1.46
Karaciğer	0.020	0.80	0.060	0.69	0.128	0.63	0.030	0.80	0.089	0.69	0.193	0.63
Akciğer	NA		NA		0.004	3.35					0.007	3.35
Testisler	0.592	1.01	1.183	1.04	2.016	1.05	0.890	1.01	1.775	1.04	3.026	1.05
Pankreas	0.088	1.34	0.247	1.18	0.501	1.09	0.132	1.34	0.371	1.18	0.751	1.09
İnce Bağırsak	0.451	0.26	1.094	0.24	2.082	0.23	0.678	0.26	1.640	0.24	3.126	0.23
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	2.400	1.05	4.246	1.16	6.472	1.23	3.607	1.05	6.370	1.16	9.716	1.23
Dalak	0.007	5.02	0.021	3.98	0.049	3.41	0.011	5.02	0.031	3.98	0.073	3.41
Mide	0.034	2.02	0.101	1.71	0.208	1.57	0.051	2.02	0.152	1.71	0.313	1.57
Prostat	0.140	2.92	0.426	2.50	0.895	2.24	0.210	2.92	0.639	2.50	1.343	2.24
Kalp	NA		NA		0.009	5.91					0.013	5.91
Lenf D%đ%mleri	0.233	0.48	0.548	0.46	1.019	0.44	0.350	0.48	0.822	0.46	1.530	0.44
Safra Kesesi	0.093	4.69	0.256	4.16	0.501	3.94	0.140	4.69	0.384	4.16	0.751	3.94
İskelet	0.125	0.14	0.340	0.13	0.669	0.12	0.188	0.14	0.510	0.13	1.004	0.12
Maksimum Rbm.	0.131	1.85	0.396	1.51	0.837	1.35	0.196	1.85	0.595	1.51	1.257	1.35
Maksimum Bsc.	0.156	2.17	0.501	1.77	1.085	1.58	0.234	2.17	0.751	1.77	1.629	1.58
Ağırlıklı Mash Dozu	0.125	0.49	0.292	0.50	0.540	0.64	0.188	0.49	0.438	0.50	0.811	0.64

Tablo 3.6’da erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata y%zdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 20 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan y%ksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada pelvis alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.7. Erkek organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-1		ThLu-2		ThLu-3	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.323	1.25	0.553	1.40	0.865	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.019	3.74	0.060	3.07	0.141	2.68
Mesane	0.034	1.50	0.095	1.31	0.195	1.21
Beyin	NA		0.002	2.30	0.003	1.89
Ağız Mukozası	0.042	1.14	0.108	1.04	0.214	0.99
Kolon Duvarı	0.078	0.36	0.180	0.34	0.337	0.34
Göğüs	0.179	1.34	0.340	1.40	0.545	1.45
Böbrekler	0.021	0.80	0.063	0.67	0.137	0.60
Karaciğer	0.090	0.16	0.211	0.16	0.395	0.15
Akciğer	0.058	0.23	0.140	0.22	0.266	0.21
Yemek Borusu	0.039	1.53	0.105	1.38	0.209	1.29
Testisler	0.171	0.77	0.336	0.81	0.565	0.83
Pankreas	0.061	0.68	0.159	0.62	0.314	0.58
İnce Bağırsak	0.067	0.30	0.167	0.28	0.325	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.324	1.25	0.562	1.40	0.890	1.47
Dalak	0.057	0.68	0.142	0.63	0.274	0.61
Mide	0.099	0.50	0.232	0.48	0.434	0.47
Tükrük Bezleri	0.052	0.92	0.111	0.92	0.195	0.93
Timüs	0.078	1.39	0.198	1.28	0.376	1.22
Tiroid	0.181	1.00	0.365	1.03	0.613	1.06
Solunum Yolu	0.028	1.12	0.065	1.08	0.125	1.03
Prostat	0.022	3.22	0.066	2.71	0.139	2.45
Kalp	0.055	0.47	0.144	0.43	0.285	0.39
Lenf Düğümleri	0.066	0.39	0.154	0.38	0.290	0.37
Safra Kesesi	0.141	1.60	0.310	1.57	0.545	1.56
İskelet	0.055	0.09	0.137	0.09	0.263	0.09
Maksimum Rbm.	0.119	1.00	0.267	0.97	0.488	0.94
Maksimum Bsc.	0.148	1.77	0.339	1.72	0.641	1.66
Ağırlıklı Mash Dozu	0.087	0.20	0.190	0.18	0.340	0.17

Tablo 3.7’de erkek organlarının ThLu-1, 2 ve 3 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 29 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lomber alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.8. Erkek organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	ThLu-4		ThLu-5		ThLu-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.484	1.25	0.829	1.40	1.282	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.029	3.74	0.089	3.07	0.209	2.68
Mesane	0.051	1.50	0.142	1.31	0.289	1.21
Beyin	NA		0.002	2.30	0.004	1.89
Ağız Mukozası	0.063	1.14	0.162	1.04	0.317	0.99
Kolon Duvarı	0.117	0.36	0.270	0.34	0.500	0.34
Göğüs	0.268	1.34	0.509	1.40	0.809	1.45
Böbrekler	0.031	0.80	0.095	0.67	0.204	0.60
Karaciğer	0.136	0.16	0.317	0.16	0.587	0.15
Akciğer	0.087	0.23	0.211	0.22	0.395	0.21
Yemek Borusu	0.059	1.53	0.157	1.38	0.311	1.29
Testisler	0.257	0.77	0.505	0.81	0.838	0.83
Pankreas	0.091	0.68	0.238	0.62	0.466	0.58
İnce Bağırsak	0.101	0.30	0.251	0.28	0.481	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.486	1.25	0.843	1.40	1.321	1.47
Dalak	0.086	0.68	0.212	0.63	0.407	0.61
Mide	0.149	0.50	0.347	0.48	0.643	0.47
Tükrük Bezleri	0.078	0.92	0.166	0.92	0.289	0.93
Timüs	0.117	1.39	0.298	1.28	0.558	1.22
Tiroid	0.272	1.00	0.547	1.03	0.910	1.06
Solunum Yolu	0.042	1.12	0.098	1.08	0.186	1.03
Prostat	0.033	3.22	0.100	2.71	0.206	2.45
Kalp	0.083	0.47	0.217	0.43	0.423	0.39
Lenf Düğümleri	0.099	0.39	0.231	0.38	0.431	0.37
Safra Kesesi	0.211	1.60	0.466	1.57	0.808	1.56
İskelet	0.082	0.09	0.206	0.09	0.390	0.09
Maksimum Rbm.	0.178	1.00	0.400	0.97	0.724	0.94
Maksimum Bsc.	0.222	1.77	0.508	1.72	0.951	1.66
Ağırlıklı Mash Dozu	0.131	0.20	0.284	0.18	0.505	0.17

Tablo 3.8’de erkek organlarının ThLu-4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 29 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lomber alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.9. Erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-7		ThLu-8		ThLu-9	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.645	1.25	1.106	1.40	1.715	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.038	3.74	0.119	3.07	0.280	2.68
Mesane	0.069	1.50	0.190	1.31	0.387	1.21
Beyin	NA		0.003	2.30	0.006	1.89
Ağız Mukozası	0.084	1.14	0.216	1.04	0.424	0.99
Kolon Duvarı	0.156	0.36	0.360	0.34	0.669	0.34
Göğüs	0.358	1.34	0.679	1.40	1.082	1.45
Böbrekler	0.041	0.80	0.126	0.67	0.273	0.60
Karaciğer	0.181	0.16	0.422	0.16	0.784	0.15
Akciğer	0.117	0.23	0.281	0.22	0.528	0.21
Yemek Borusu	0.079	1.53	0.210	1.38	0.415	1.29
Testisler	0.343	0.77	0.673	0.81	1.121	0.83
Pankreas	0.122	0.68	0.318	0.62	0.624	0.58
İnce Bağırsak	0.135	0.30	0.334	0.28	0.644	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.648	1.25	1.124	1.40	1.766	1.47
Dalak	0.114	0.68	0.283	0.63	0.544	0.61
Mide	0.199	0.50	0.463	0.48	0.860	0.47
Tükrük Bezleri	0.104	0.92	0.222	0.92	0.387	0.93
Timüs	0.156	1.39	0.397	1.28	0.746	1.22
Tiroid	0.362	1.00	0.730	1.03	1.216	1.06
Solunum Yolu	0.056	1.12	0.130	1.08	0.249	1.03
Prostat	0.044	3.22	0.133	2.71	0.275	2.45
Kalp	0.110	0.47	0.289	0.43	0.565	0.39
Lenf Düğümleri	0.132	0.39	0.308	0.38	0.576	0.37
Safra Kesesi	0.281	1.60	0.621	1.57	1.081	1.56
İskelet	0.110	0.09	0.274	0.09	0.521	0.09
Maksimum Rbm.	0.237	1.00	0.534	0.97	0.969	0.94
Maksimum Bsc.	0.296	1.77	0.678	1.72	1.272	1.66
Ağırlıklı Mash Dozu	0.174	0.20	0.379	0.18	0.675	0.17

Tablo 3.9’da erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 29 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lomber alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.10. Kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Cr-1		Cr-2		Cr-3		Cr-4		Cr-5		Cr-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	1.914	0.850	2.522	0.910	3.243	0.950	2.870	0.850	3.783	0.910	4.864	0.950
Beyin	0.122	0.270	0.218	0.250	0.359	0.240	0.182	0.270	0.328	0.250	0.539	0.240
Ağız Mukozası	0.165	1.080	0.273	1.030	0.439	0.970	0.247	1.080	0.409	1.030	0.658	0.970
Göğüs	NA		NA		0.003	8.770	NA		NA		0.004	8.770
Akciğer	NA		0.002	2.710	0.005	2.440	NA		0.003	2.710	0.008	2.440
Gözler	1.328	0.680	1.844	0.720	2.450	0.740	1.992	0.680	2.766	0.720	3.675	0.740
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	1.920	0.850	2.547	0.910	3.298	0.950	2.880	0.850	3.821	0.910	4.948	0.950
Tükrük Bezleri	0.410	0.590	0.598	0.600	0.838	0.600	0.614	0.590	0.898	0.600	1.257	0.600
Tiroid	0.008	9.440	0.015	8.330	0.027	7.430	0.012	9.440	0.022	8.330	0.040	7.430
Solunum Yolu	0.267	0.650	0.422	0.630	0.633	0.620	0.401	0.650	0.633	0.630	0.950	0.620
Lenf Düğümleri	NA		0.002	8.440	0.003	4.790	NA		0.003	8.440	0.004	4.790
İskelet	0.232	0.080	0.361	0.090	0.521	0.090	0.348	0.080	0.542	0.090	0.782	0.090
Maksimum Rbm.	0.218	1.070	0.374	1.000	0.591	0.940	0.326	1.070	0.561	1.000	0.886	0.940
Maksimum Bsc.	0.261	1.070	0.447	1.010	0.718	0.950	0.391	1.070	0.671	1.010	1.077	0.950
Ağırlıklı Fash Dozu	0.013	1.000	0.021	1.060	0.029	1.010	0.019	1.000	0.032	1.060	0.044	1.010

Tablo 3.10'da kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 15 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada cranium alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.11. Kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Th-1		Th-2		Th-3		Th-4		Th-5	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.744	1.23	1.256	1.37	2.015	1.46	2.867	1.5	4.333	1.53
Böbreküstü Bezleri	0.164	1.97	0.379	1.88	0.709	1.8	1.167	1.72	2.052	1.65
Beyin	NA		0.002	3.16	0.006	2.59	0.01	2.32	0.017	2.11
Ağız Mukozası	0.008	4.2	0.027	3.47	0.059	3.07	0.101	2.88	0.192	2.66
Kolon Duvarı	0.006	2.02	0.018	1.72	0.039	1.55	0.065	1.46	0.119	1.35
Göğüs	0.024	1.32	0.07	1.11	0.148	0.99	0.26	0.91	0.484	0.86
Böbrekler	0.149	0.46	0.333	0.46	0.599	0.45	0.94	0.44	1.576	0.43
Karaciğer	0.066	0.32	0.171	0.29	0.338	0.28	0.563	0.27	0.996	0.26
Akciğer	0.17	0.22	0.392	0.21	0.715	0.21	1.14	0.2	1.941	0.19
Yemek Borusu	0.067	1.91	0.199	1.61	0.418	1.46	0.718	1.35	1.313	1.25
Pankreas	0.032	1.53	0.086	1.36	0.177	1.24	0.304	1.18	0.546	1.11
İnce Bağırsak	0.002	2.94	0.007	2.19	0.015	1.91	0.029	1.7	0.057	1.55
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.746	1.23	1.277	1.37	1.976	1.46	2.84	1.5	4.31	1.53
Dalak	0.118	0.75	0.289	0.71	0.542	0.68	0.881	0.66	1.531	0.63
Mide	0.048	1.13	0.132	1	0.268	0.92	0.455	0.86	0.812	0.81
Tükrük Bezleri	0.008	3.99	0.023	3.4	0.048	3.09	0.082	2.85	0.147	2.69
Timüs	0.039	3.34	0.117	2.77	0.244	2.5	0.414	2.35	0.77	2.16
Tiroid	0.052	3.15	0.151	2.68	0.312	2.43	0.52	2.3	0.948	2.15
Solunum Yolu	0.007	3.87	0.02	3.16	0.043	2.82	0.082	2.54	0.147	2.39
Rahim	NA		NA		NA		NA		0.011	9.7
Kalp	0.085	0.64	0.223	0.58	0.447	0.54	0.741	0.51	1.322	0.49
Lenf Düğümleri	0.036	0.9	0.094	0.81	0.184	0.75	0.306	0.71	0.538	0.67
Safra Kesesi	0.015	8.49	0.05	6.71	0.106	6.02	0.189	5.56	0.342	5.03
İskelet	0.147	0.09	0.329	0.09	0.584	0.1	0.896	0.1	1.438	0.1
Maksimum Rbm.	0.183	1.48	0.418	1.42	0.752	1.38	1.217	1.33	2.063	1.29
Maksimum Bsc.	0.228	2.52	0.539	2.4	0.995	2.34	1.601	2.28	2.728	2.19
Ağırlıklı Fash Dozu	0.051	0.55	0.129	0.43	0.251	0.55	0.414	0.51	0.73	0.59

Tablo 3.11’de kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 27 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.12. Kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Th-6		Th-7		Th-8		Th-9		Th-10	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	1.116	1.23	1.877	1.37	3.022	1.46	4.293	1.5	6.507	1.53
Böbreküstü Bezleri	0.245	1.97	0.567	1.88	1.064	1.8	1.747	1.72	3.081	1.65
Beyin	NA		0.003	3.16	0.008	2.59	0.014	2.32	0.026	2.11
Ağız Mukozası	0.013	4.2	0.04	3.47	0.089	3.07	0.152	2.88	0.289	2.66
Kolon Duvarı	0.009	2.02	0.026	1.72	0.058	1.55	0.097	1.46	0.178	1.35
Göğüs	0.036	1.32	0.104	1.11	0.221	0.99	0.389	0.91	0.727	0.86
Böbrekler	0.223	0.46	0.498	0.46	0.898	0.45	1.407	0.44	2.367	0.43
Karaciğer	0.098	0.32	0.256	0.29	0.507	0.28	0.844	0.27	1.496	0.26
Akciğer	0.255	0.22	0.585	0.21	1.072	0.21	1.707	0.2	2.915	0.19
Yemek Borusu	0.1	1.91	0.297	1.61	0.627	1.46	1.075	1.35	1.972	1.25
Pankreas	0.048	1.53	0.129	1.36	0.265	1.24	0.455	1.18	0.82	1.11
İnce Bağırsak	0.003	2.94	0.01	2.19	0.023	1.91	0.043	1.7	0.085	1.55
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	1.12	1.23	1.908	1.37	2.964	1.46	4.253	1.5	6.473	1.53
Dalak	0.177	0.75	0.432	0.71	0.814	0.68	1.318	0.66	2.299	0.63
Mide	0.071	1.13	0.197	1	0.402	0.92	0.681	0.86	1.22	0.81
Tükrük Bezleri	0.012	3.99	0.035	3.4	0.072	3.09	0.123	2.85	0.221	2.69
Timüs	0.058	3.34	0.175	2.77	0.366	2.5	0.621	2.35	1.156	2.16
Tiroid	0.078	3.15	0.225	2.68	0.468	2.43	0.778	2.3	1.424	2.15
Solunum Yolu	0.01	3.87	0.031	3.16	0.064	2.82	0.123	2.54	0.221	2.39
Kalp	0.127	0.64	0.334	0.58	0.671	0.54	1.11	0.51	1.985	0.49
Lenf Düğümleri	0.054	0.9	0.14	0.81	0.275	0.75	0.458	0.71	0.807	0.67
Safra Kesesi	0.023	8.49	0.075	6.71	0.159	6.02	0.283	5.56	0.514	5.03
İskelet	0.221	0.09	0.492	0.09	0.876	0.1	1.341	0.1	2.159	0.1
Maksimum Rbm.	0.274	1.48	0.625	1.42	1.128	1.38	1.822	1.33	3.098	1.29
Maksimum Bsc.	0.343	2.52	0.806	2.4	1.492	2.34	2.397	2.28	4.097	2.19
Ağırlıklı Fash Dozu	0.076	0.55	0.193	0.43	0.377	0.55	0.621	0.51	1.096	0.59

Tablo 3.12’de kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 26 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.13. Kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	Ab-1		Ab-2		Ab-3		Ab-4		Ab-5		Ab-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	2.214	1.1	3.444	1.18	4.85	1.25	3.314	1.1	5.165	1.18	7.275	1.25
Böbreküstü Bezleri	0.108	3.85	0.266	3.3	0.508	2.96	0.161	3.85	0.399	3.3	0.762	2.96
Mesane	0.065	2.85	0.155	2.54	0.294	2.28	0.098	2.85	0.232	2.54	0.441	2.28
Kolon Duvarı	0.544	0.31	1.026	0.31	1.69	0.3	0.815	0.31	1.539	0.31	2.535	0.3
Göğüs	0.264	0.62	0.457	0.63	0.705	0.64	0.395	0.62	0.686	0.63	1.057	0.64
Böbrekler	0.135	0.76	0.312	0.67	0.588	0.62	0.203	0.76	0.468	0.67	0.882	0.62
Karaciğer	0.551	0.16	1.048	0.16	1.74	0.16	0.825	0.16	1.572	0.16	2.61	0.16
Akciğer	0.08	0.52	0.162	0.49	0.284	0.47	0.12	0.52	0.243	0.49	0.426	0.47
Yemek Borusu	0.047	3.53	0.109	3.11	0.21	2.84	0.071	3.53	0.163	3.11	0.316	2.84
Yumurtalıklar	0.217	2.94	0.457	2.74	0.802	2.61	0.325	2.94	0.686	2.74	1.202	2.61
Pankreas	0.422	0.64	0.862	0.6	1.496	0.58	0.632	0.64	1.292	0.6	2.244	0.58
İnce Bağırsak	0.443	0.27	0.874	0.26	1.49	0.26	0.664	0.27	1.31	0.26	2.234	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	2.222	1.1	3.49	1.18	4.967	1.25	3.326	1.1	5.234	1.18	7.45	1.25
Dalak	0.39	0.64	0.753	0.62	1.263	0.61	0.583	0.64	1.129	0.62	1.894	0.61
Mide	0.647	0.46	1.232	0.45	2.034	0.45	0.969	0.46	1.848	0.45	3.051	0.45
Timüs	0.034	5.49	0.077	4.94	0.147	4.43	0.051	5.49	0.116	4.94	0.22	4.43
Rahim	0.14	1.38	0.31	1.26	0.568	1.16	0.21	1.38	0.465	1.26	0.852	1.16
Kalp	0.129	0.82	0.264	0.77	0.468	0.73	0.193	0.82	0.396	0.77	0.701	0.73
Lenf Düğümleri	0.227	0.54	0.457	0.51	0.788	0.49	0.339	0.54	0.686	0.51	1.182	0.49
Safra Kesesi	0.978	1.55	1.716	1.57	2.796	1.55	1.464	1.55	2.574	1.57	4.193	1.55
İskelet	0.142	0.17	0.305	0.16	0.544	0.15	0.212	0.17	0.457	0.16	0.817	0.15
Maksimum Rbm.	0.09	1.25	0.218	1.08	0.417	0.97	0.134	1.25	0.327	1.08	0.626	0.97
Maksimum Bsc.	0.112	1.7	0.278	1.47	0.548	1.32	0.168	1.7	0.417	1.47	0.822	1.32
Ağırlıklı Fash Dozu	0.266	0.98	0.511	0.81	0.855	0.67	0.398	0.98	0.766	0.81	1.283	0.67

Tablo 3.13’de kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada abdomen alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.14. Kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Pe-1		Pe-2		Pe-3		Pe-4		Pe-5		Pe-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	2.35	1.06	4.151	1.17	6.293	1.25	3.538	1.06	6.227	1.17	9.432	1.25
Böbreküstü Bezleri	NA		NA		0.044	9.78	NA		NA		0.066	9.78
Mesane	0.338	1.22	0.873	1.11	1.77	1.02	0.509	1.22	1.31	1.11	2.653	1.02
Kolon Duvarı	0.502	0.33	1.141	0.32	2.08	0.31	0.755	0.33	1.711	0.32	3.118	0.31
Göğüs	0.002	6.22	0.009	5.42	0.017	4.94	0.003	6.22	0.013	5.42	0.026	4.94
Böbrekler	0.039	1.44	0.115	1.22	0.249	1.1	0.058	1.44	0.172	1.22	0.373	1.1
Karaciğer	0.033	0.69	0.094	0.62	0.201	0.57	0.05	0.69	0.141	0.62	0.301	0.57
Akciğer	NA		0.003	3.51	0.013	2.76	NA		0.004	3.51	0.02	2.76
Yumurtalıklar	0.361	2.23	0.923	2.05	1.827	1.91	0.543	2.23	1.385	2.05	2.738	1.91
Pankreas	0.18	1	0.453	0.92	0.883	0.88	0.27	1	0.679	0.92	1.323	0.88
İnce Bağırsak	0.519	0.25	1.244	0.24	2.325	0.23	0.782	0.25	1.865	0.24	3.485	0.23
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	2.358	1.06	4.225	1.17	6.481	1.25	3.551	1.06	6.337	1.17	9.714	1.25
Dalak	0.009	4.34	0.029	3.4	0.07	3	0.013	4.34	0.044	3.4	0.105	3
Mide	0.055	1.63	0.147	1.45	0.302	1.35	0.082	1.63	0.22	1.45	0.452	1.35
Rahim	0.25	1.01	0.682	0.9	1.394	0.82	0.376	1.01	1.023	0.9	2.089	0.82
Kalp	NA		0.006	6.09	0.013	5.1	NA		0.009	6.09	0.02	5.1
Lenf Düğümleri	0.26	0.5	0.629	0.47	1.184	0.45	0.392	0.5	0.944	0.47	1.775	0.45
Safra Kesesi	0.123	4.52	0.303	4.21	0.555	4.05	0.186	4.52	0.454	4.21	0.832	4.05
İskelet	0.18	0.14	0.473	0.13	0.922	0.13	0.27	0.14	0.71	0.13	1.382	0.13
Maksimum Rbm.	0.157	0.93	0.459	0.79	0.979	0.71	0.236	0.93	0.688	0.79	1.467	0.71
Maksimum Bsc.	0.197	1.28	0.594	1.07	1.276	0.97	0.297	1.28	0.891	1.07	1.913	0.97
Ağırlıklı Fash Dozu	0.134	0.6	0.326	0.52	0.629	0.59	0.201	0.6	0.49	0.52	0.943	0.59

Tablo 3.14’de kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 22 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada pelvis alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.15. Kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	ThLu-1		ThLu-2		ThLu-3	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.318	1.26	0.549	1.40	0.857	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.020	3.76	0.061	3.18	0.130	2.86
Mesane	0.047	1.41	0.128	1.26	0.257	1.17
Beyin	0.001	1.99	0.004	1.46	0.010	1.21
Ağız Mukozası	0.044	1.21	0.115	1.11	0.227	1.05
Kolon Duvarı	0.086	0.34	0.200	0.33	0.364	0.32
Göğüs	0.148	0.34	0.294	0.35	0.493	0.36
Böbrekler	0.023	0.80	0.068	0.68	0.142	0.62
Karaciğer	0.088	0.18	0.206	0.17	0.380	0.17
Akciğer	0.065	0.24	0.152	0.23	0.280	0.23
Yemek Borusu	0.051	1.42	0.126	1.34	0.238	1.28
Yumurtalıklar	0.050	2.59	0.135	2.35	0.262	2.21
Pankreas	0.065	0.70	0.168	0.65	0.325	0.61
Gözler	0.004	7.87	0.012	7.38	0.025	6.36
İnce Bağırsak	0.075	0.29	0.183	0.27	0.346	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.319	1.26	0.558	1.40	0.883	1.47
Dalak	0.067	0.66	0.159	0.64	0.302	0.61
Mide	0.099	0.51	0.232	0.49	0.423	0.48
Tükrük Bezleri	0.086	0.76	0.180	0.79	0.312	0.79
Timüs	0.094	1.39	0.226	1.33	0.417	1.28
Tiroid	0.218	0.97	0.424	1.03	0.676	1.07
Solunum Yolu	0.046	0.94	0.109	0.90	0.203	0.87
Rahim	0.035	1.16	0.100	1.02	0.200	0.95
Kalp	0.060	0.50	0.154	0.47	0.294	0.44
Lenf Düğümleri	0.069	0.42	0.164	0.40	0.306	0.39
Safra Kesesi	0.141	1.76	0.308	1.75	0.541	1.73
İskelet	0.080	0.09	0.199	0.09	0.369	0.09
Maksimum Rbm.	0.130	1.08	0.283	1.07	0.510	1.04
Maksimum Bsc.	0.159	1.92	0.366	1.88	0.657	1.85
Ağırlıklı Fash Dozu	0.080	0.18	0.181	0.17	0.326	0.16

Tablo 3.15’de kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 30 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.16. Kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	ThLu-4		ThLu-5		ThLu-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.484	1.260	0.830	1.400	1.286	1.470
Böbreküstü Bezleri	0.031	3.760	0.093	3.180	0.195	2.860
Mesane	0.072	1.410	0.193	1.260	0.385	1.170
Beyin	0.001	1.990	0.006	1.460	0.015	1.210
Ağız Mukozası	0.066	1.210	0.175	1.110	0.340	1.050
Kolon Duvarı	0.132	0.340	0.302	0.330	0.546	0.320
Göğüs	0.225	0.340	0.445	0.350	0.740	0.360
Böbrekler	0.034	0.800	0.103	0.680	0.212	0.620
Karaciğer	0.133	0.180	0.312	0.170	0.570	0.170
Akciğer	0.099	0.240	0.231	0.230	0.420	0.230
Yemek Borusu	0.078	1.420	0.191	1.340	0.358	1.280
Yumurtalıklar	0.076	2.590	0.205	2.350	0.392	2.210
Pankreas	0.099	0.700	0.254	0.650	0.488	0.610
Gözler	0.007	7.870	0.018	7.380	0.037	6.360
İnce Bağırsak	0.113	0.290	0.277	0.270	0.519	0.260
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.486	1.260	0.844	1.400	1.324	1.470
Dalak	0.101	0.660	0.241	0.640	0.452	0.610
Mide	0.151	0.510	0.351	0.490	0.634	0.480
Tükrük Bezleri	0.131	0.760	0.272	0.790	0.468	0.790
Timüs	0.143	1.390	0.342	1.330	0.626	1.280
Tiroid	0.332	0.970	0.641	1.030	1.014	1.070
Solunum Yolu	0.070	0.940	0.165	0.900	0.304	0.870
Rahim	0.054	1.160	0.151	1.020	0.299	0.950
Kalp	0.092	0.500	0.232	0.470	0.441	0.440
Lenf Düğümleri	0.105	0.420	0.248	0.400	0.458	0.390
Safra Kesesi	0.215	1.760	0.466	1.750	0.811	1.730
İskelet	0.122	0.090	0.300	0.090	0.553	0.090
Maksimum Rbm.	0.197	1.080	0.428	1.070	0.766	1.040
Maksimum Bsc.	0.242	1.920	0.554	1.880	0.986	1.850
Ağırlıklı Fash Dozu	0.121	0.180	0.274	0.170	0.489	0.160

Tablo 3.16'da kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 30 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.17. Kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	ThLu-7		ThLu-8		ThLu-9	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
ESAK	0.65	1.26	1.097	1.4	1.714	1.47
Böbreküstü Bezleri	0.042	3.76	0.122	3.18	0.26	2.86
Mesane	0.097	1.41	0.255	1.26	0.514	1.17
Beyin	0.002	1.99	0.008	1.46	0.02	1.21
Ağız Mukozası	0.089	1.21	0.231	1.11	0.454	1.05
Kolon Duvarı	0.177	0.34	0.399	0.33	0.728	0.32
Göğüs	0.302	0.34	0.589	0.35	0.986	0.36
Böbrekler	0.046	0.8	0.136	0.68	0.283	0.62
Karaciğer	0.179	0.18	0.413	0.17	0.76	0.17
Akciğer	0.133	0.24	0.305	0.23	0.56	0.23
Yemek Borusu	0.105	1.42	0.252	1.34	0.477	1.28
Yumurtalıklar	0.102	2.59	0.271	2.35	0.523	2.21
Pankreas	0.133	0.7	0.335	0.65	0.651	0.61
Gözler	0.009	7.87	0.024	7.38	0.05	6.36
İnce Bağırsak	0.152	0.29	0.367	0.27	0.691	0.26
Deri Giriş (7.2cm X 7.2cm)	0.652	1.26	1.116	1.4	1.766	1.47
Dalak	0.136	0.66	0.318	0.64	0.603	0.61
Mide	0.203	0.51	0.464	0.49	0.846	0.48
Tükrük Bezleri	0.176	0.76	0.36	0.79	0.624	0.79
Timüs	0.192	1.39	0.452	1.33	0.834	1.28
Tiroid	0.446	0.97	0.848	1.03	1.353	1.07
Solunum Yolu	0.094	0.94	0.218	0.9	0.406	0.87
Rahim	0.072	1.16	0.2	1.02	0.399	0.95
Kalp	0.124	0.5	0.307	0.47	0.588	0.44
Lenf Düğümleri	0.141	0.42	0.328	0.4	0.611	0.39
Safra Kesesi	0.289	1.76	0.615	1.75	1.081	1.73
İskelet	0.164	0.09	0.397	0.09	0.738	0.09
Maksimum Rbm.	0.265	1.08	0.565	1.07	1.021	1.04
Maksimum Bsc.	0.325	1.92	0.732	1.88	1.314	1.85
Ağırlıklı Fash Dozu	0.163	0.18	0.362	0.17	0.652	0.16

Tablo 3.17’de kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 30 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

3.2. PCXMC 2.0 Algoritması ile Organların Soğurduğu Radyasyon Dozları

Tablo 3.18. Erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Cr-1		Cr-2		Cr-3		Cr-4		Cr-5		Cr-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.018	0.1	0.029	0.1	0.044	0.1	0.026	0.1	0.043	0.1	0.066	0.1
Beyin	0.098	0.2	0.172	0.2	0.274	0.2	0.146	0.2	0.258	0.2	0.412	0.2
Solunum Yolu	0.197	0.9	0.319	0.8	0.474	0.7	0.295	0.9	0.477	0.8	0.713	0.7
Lenf Düğümleri	0.054	0.6	0.085	0.5	0.125	0.4	0.081	0.6	0.128	0.5	0.188	0.4
Ağız Mukozası	0.279	0.5	0.435	0.5	0.631	0.4	0.418	0.5	0.651	0.5	0.949	0.4
Tükrük Bezleri	0.200	0.7	0.319	0.6	0.472	0.6	0.300	0.7	0.478	0.6	0.709	0.6
İskelet	0.091	0.1	0.143	0.1	0.208	0.1	0.136	0.1	0.215	0.1	0.312	0.1
Deri	0.043	0.1	0.061	0.1	0.082	0.1	0.065	0.1	0.092	0.1	0.124	0.1
Testisler	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA
Tiroid	0.221	1.3	0.328	1.2	0.455	1.1	0.331	1.3	0.491	1.2	0.684	1.1

Tablo 3.18'de erkek organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 10 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada cranium alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.19. Erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	Th-1		Th-2		Th-3		Th-4		Th-5	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.047	0.1	0.116	0.1	0.219	0.1	0.357	0.1	0.625	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.120	0.9	0.300	0.9	0.567	0.8	0.923	0.8	1.609	0.7
Beyin	0.000	2.7	0.001	1.8	0.003	1.5	0.005	1.3	0.010	1.1
Göğüs	0.017	0.8	0.053	0.6	0.113	0.5	0.197	0.5	0.371	0.4
Kalın Bağırsak	0.002	1.2	0.008	0.9	0.019	0.8	0.036	0.7	0.069	0.6
Solunum Yolu	0.004	3.8	0.012	2.7	0.028	2.2	0.051	2	0.099	1.8
Safra Kesesi	0.019	1.8	0.061	1.1	0.134	0.9	0.238	0.8	0.450	0.6
Kalp	0.027	0.5	0.087	0.4	0.188	0.3	0.330	0.3	0.617	0.2
Böbrekler	0.147	0.3	0.332	0.2	0.593	0.2	0.929	0.2	1.559	0.2
Karaciğer	0.051	0.2	0.136	0.2	0.269	0.2	0.450	0.2	0.804	0.1
Akciğer	0.110	0.2	0.269	0.1	0.501	0.1	0.806	0.1	1.389	0.1
Lenf Düğümleri	0.022	0.3	0.064	0.2	0.133	0.2	0.227	0.2	0.416	0.2
Kas	0.029	0	0.068	0	0.125	0	0.202	0	0.349	0
Yemek Borusu	0.035	1.1	0.116	0.7	0.257	0.6	0.456	0.5	0.860	0.5
Ağız Mukozası	0.001	5.9	0.003	4.3	0.008	3.4	0.015	3	0.030	2.5
Pankreas	0.040	0.7	0.122	0.6	0.259	0.5	0.451	0.4	0.833	0.4
Prostat	0.000	NA	0.000	33.6	0.000	26	0.001	19.6	0.002	14.8
Tükrük Bezleri	0.002	3.9	0.007	2.8	0.015	2.3	0.027	2.1	0.050	1.9
İskelet	0.100	0.1	0.225	0.1	0.392	0.1	0.598	0	0.960	0
Deri	0.046	0.1	0.088	0.1	0.143	0.1	0.212	0.1	0.340	0.1
İnce Bağırsak	0.003	1	0.010	0.7	0.024	0.6	0.044	0.5	0.085	0.4
Dalak	0.111	0.5	0.274	0.3	0.515	0.3	0.834	0.3	1.443	0.3
Timüs	0.010	3.2	0.038	2.3	0.088	1.8	0.161	1.5	0.314	1.3
Tiroid	0.011	3.1	0.036	2.3	0.082	1.9	0.147	1.7	0.284	1.4

Tablo 3.19’da erkek organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.20. Erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Th-6		Th-7		Th-8		Th-9		Th-10	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.071	0.1	0.173	0.1	0.330	0.1	0.536	0.1	0.935	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.181	0.9	0.448	0.9	0.854	0.8	1.385	0.8	2.407	0.7
Beyin	0.000	2.7	0.002	1.8	0.004	1.5	0.008	1.3	0.016	1.1
Göğüs	0.026	0.8	0.079	0.6	0.170	0.5	0.296	0.5	0.555	0.4
Kalın Bağırsak	0.003	1.2	0.012	0.9	0.029	0.8	0.054	0.7	0.103	0.6
Solunum Yolu	0.005	3.8	0.018	2.7	0.042	2.2	0.076	2	0.147	1.8
Safra Kesesi	0.028	1.8	0.091	1.1	0.202	0.9	0.357	0.8	0.673	0.6
Kalp	0.041	0.5	0.130	0.4	0.283	0.3	0.495	0.3	0.923	0.2
Böbrekler	0.220	0.3	0.497	0.2	0.893	0.2	1.394	0.2	2.332	0.2
Karaciğer	0.076	0.2	0.203	0.2	0.405	0.2	0.675	0.2	1.202	0.1
Akciğer	0.166	0.2	0.402	0.1	0.754	0.1	1.209	0.1	2.078	0.1
Lenf Düğümleri	0.034	0.3	0.096	0.2	0.200	0.2	0.341	0.2	0.622	0.2
Kas	0.043	0	0.101	0	0.189	0	0.303	0	0.522	0
Yemek Borusu	0.053	1.1	0.174	0.7	0.387	0.6	0.685	0.5	1.287	0.5
Ağız Mukozası	0.001	5.9	0.005	4.3	0.012	3.4	0.023	3	0.044	2.5
Pankreas	0.059	0.7	0.183	0.6	0.391	0.5	0.676	0.4	1.246	0.4
Prostat	0.000	NA	0.000	33.6	0.000	26	0.001	19.6	0.002	14.8
Tükrük Bezleri	0.003	3.9	0.011	2.8	0.023	2.3	0.040	2.1	0.075	1.9
İskelet	0.151	0.1	0.337	0.1	0.591	0.1	0.897	0	1.436	0
Deri	0.068	0.1	0.131	0.1	0.215	0.1	0.319	0.1	0.509	0.1
İnce Bağırsak	0.004	1	0.015	0.7	0.036	0.6	0.066	0.5	0.128	0.4
Dalak	0.166	0.5	0.410	0.3	0.776	0.3	1.251	0.3	2.158	0.3
Testisler	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	27	0.000	16.8
Timüs	0.015	3.2	0.056	2.3	0.132	1.8	0.242	1.5	0.470	1.3
Tiroid	0.016	3.1	0.055	2.3	0.123	1.9	0.221	1.7	0.425	1.4

Tablo 3.20’de erkek organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 25 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.21. Erkek organların Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Ab-1		Ab-2		Ab-3		Ab-4		Ab-5		Ab-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.054	0.1	0.116	0.1	0.213	0.1	0.081	0.1	0.175	0.1	0.3194	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.045	3.5	0.116	2.3	0.234	1.8	0.067	3.5	0.175	2.3	0.3516	1.8
Brain	0.000	21	0.000	14.5	0.000	10.6	0.000	21	0.000	14.5	0.0002	10.6
Göğüs	0.053	0.9	0.102	0.7	0.169	0.6	0.079	0.9	0.153	0.7	0.2540	0.6
Kalın Bağırsak	0.215	0.4	0.458	0.3	0.812	0.3	0.323	0.4	0.686	0.3	1.2173	0.3
Safra Kesesi	0.287	0.8	0.612	0.6	1.086	0.6	0.430	0.8	0.918	0.6	1.6292	0.6
Kalp	0.214	0.5	0.432	0.4	0.741	0.3	0.320	0.5	0.648	0.4	1.1122	0.3
Böbrekler	0.040	0.9	0.106	0.7	0.218	0.5	0.060	0.9	0.160	0.7	0.3265	0.5
Karaciğer	0.278	0.2	0.568	0.2	0.979	0.2	0.418	0.2	0.851	0.2	1.4679	0.2
Akciğer	0.117	0.4	0.236	0.3	0.404	0.3	0.176	0.4	0.354	0.3	0.6067	0.3
Lenf Dğümleri	0.140	0.2	0.301	0.2	0.537	0.2	0.210	0.2	0.451	0.2	0.8051	0.2
Yemek Borusu	0.052	1.4	0.125	1	0.239	0.8	0.078	1.4	0.188	1	0.3590	0.8
Yumurtalıklar	0.140	2.4	0.325	2	0.608	1.7	0.210	2.4	0.487	2	0.9127	1.7
Pankreas	0.142	0.7	0.331	0.6	0.621	0.5	0.214	0.7	0.496	0.6	0.9311	0.5
Prostat	0.031	3.2	0.077	2.5	0.150	2.1	0.047	3.2	0.116	2.5	0.2250	2.1
Tükrük Bezleri	0.000	18	0.000	13.6	0.001	11.4	0.000	18	0.001	13.6	0.0014	11.4
İskelet	0.118	0.1	0.233	0.1	0.391	0.1	0.177	0.1	0.350	0.1	0.5864	0.1
Deri	0.138	0.1	0.228	0.1	0.341	0.1	0.207	0.1	0.342	0.1	0.5112	0.1
İnce Bağırsak	0.213	0.2	0.463	0.2	0.833	0.2	0.320	0.2	0.694	0.2	1.2493	0.2
Dalak	0.082	0.7	0.200	0.5	0.385	0.4	0.124	0.7	0.300	0.5	0.5777	0.4
Mide	0.392	0.4	0.779	0.4	1.319	0.3	0.588	0.4	1.168	0.4	1.9787	0.3
Testisler	0.005	4.4	0.013	3.1	0.028	2.6	0.007	4.4	0.020	3.1	0.0419	2.6
Timüs	0.013	3.3	0.032	3.1	0.062	3	0.019	3.3	0.048	3.1	0.0931	3
Tiroid	0.000	22.1	0.001	14.3	0.003	10.8	0.000	22.1	0.002	14.3	0.0044	10.8
Mesane	0.244	0.8	0.485	0.7	0.822	0.6	0.366	0.8	0.727	0.7	1.2332	0.6
Rahim	0.198	0.8	0.433	0.6	0.780	0.5	0.297	0.8	0.649	0.6	1.1707	0.5

Tablo 3.21’de erkek organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 26 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada abdomen alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.22. Erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Pe-1		Pe-2		Pe-3		Pe-4		Pe-5		Pe-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.028	0.2	0.090	0.2	0.199	0.1	0.042	0.2	0.134	0.2	0.297	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.002	9.4	0.011	7.3	0.029	5.7	0.003	9.4	0.017	7.3	0.043	5.7
Göğüs	0.001	5.5	0.003	4.2	0.006	3.4	0.002	5.5	0.004	4.2	0.009	3.4
Kalın Bağırsak	0.232	0.3	0.608	0.2	1.195	0.2	0.347	0.3	0.912	0.2	1.787	0.2
Solunum Yolu	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA
Safra Kesesi	0.116	0.8	0.308	0.7	0.608	0.6	0.174	0.8	0.461	0.7	0.910	0.6
Kalp	0.001	5.6	0.003	3.5	0.008	2.6	0.001	5.6	0.005	3.5	0.013	2.6
Böbrekler	0.016	1.1	0.058	0.7	0.134	0.6	0.024	1.1	0.087	0.7	0.201	0.6
Karaciğer	0.037	0.5	0.097	0.4	0.193	0.3	0.055	0.5	0.146	0.4	0.288	0.3
Akciğer	0.001	2.9	0.002	1.8	0.006	1.3	0.001	2.9	0.004	1.8	0.009	1.3
Lenf Düğümleri	0.081	0.2	0.211	0.2	0.413	0.2	0.122	0.2	0.316	0.2	0.618	0.2
Kas	0.117	0	0.268	0	0.490	0	0.175	0	0.402	0	0.733	0
Yemek Borusu	0.001	7.4	0.006	4.9	0.014	4	0.002	7.4	0.008	4.9	0.020	4
Pankreas	0.010	2.6	0.036	1.8	0.084	1.4	0.015	2.6	0.054	1.8	0.125	1.4
Prostat	0.281	1.5	0.744	1.1	1.463	0.9	0.421	1.5	1.115	1.1	2.188	0.9
Tükrük Bezleri	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA	0.000	NA
İskelet	0.072	0.1	0.198	0.1	0.392	0.1	0.108	0.1	0.296	0.1	0.586	0.1
Deri	0.144	0.1	0.275	0.1	0.447	0.1	0.216	0.1	0.412	0.1	0.669	0.1
İnce Bağırsak	0.210	0.3	0.559	0.2	1.108	0.2	0.314	0.3	0.838	0.2	1.658	0.2
Dalak	0.010	1.9	0.034	1.6	0.079	1.5	0.015	1.9	0.051	1.6	0.117	1.5
Mide	0.067	0.7	0.171	0.6	0.332	0.6	0.100	0.7	0.257	0.6	0.497	0.6
Testisler	0.834	0.7	1.706	0.6	2.885	0.5	1.249	0.7	2.559	0.6	4.316	0.5
Mesane	0.441	0.7	1.052	0.5	1.954	0.5	0.660	0.7	1.579	0.5	2.923	0.5

Tablo 3.22’de erkek organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 23 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada pelvis alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.23. Erkek organlarının ThLu-1,2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-1		ThLu-2		ThLu-3	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Organlar						
Aktif Kemik İliği	0.016	0.1	0.042	0.1	0.083	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.007	3.4	0.026	2.6	0.059	2.2
Beyin	0.001	1.6	0.005	1	0.013	0.8
Göğüs	0.107	0.3	0.217	0.3	0.364	0.3
Kalın Bağırsak	0.035	0.3	0.093	0.3	0.183	0.3
Solunum Yolu	0.048	1.2	0.111	1.1	0.201	0.9
Safra Kesesi	0.042	1.1	0.112	0.9	0.219	0.7
Kalp	0.051	0.5	0.127	0.4	0.240	0.3
Böbrekler	0.006	0.8	0.022	0.6	0.050	0.6
Karaciğer	0.041	0.2	0.102	0.2	0.195	0.2
Akciğer	0.037	0.3	0.093	0.2	0.177	0.2
Lenf Düğümleri	0.039	0.3	0.098	0.3	0.187	0.2
Kas	0.026	0	0.062	0	0.113	0
Yemek Borusu	0.014	1.3	0.044	1	0.095	0.9
Ağız Mukozası	0.043	1.1	0.097	0.9	0.177	0.7
Pankreas	0.022	0.8	0.066	0.6	0.138	0.5
Prostat	0.039	2	0.102	1.6	0.199	1.4
Tükrük Bezleri	0.041	1	0.094	0.9	0.171	0.8
İskelet	0.034	0.1	0.082	0.1	0.150	0.1
Deri	0.036	0.2	0.069	0.1	0.112	0.1
İnce Bağırsak	0.032	0.4	0.086	0.3	0.172	0.3
Mide	0.059	0.5	0.142	0.4	0.264	0.3
Testisler	0.111	0.6	0.226	0.6	0.381	0.6
Timüs	0.087	1.5	0.198	1.1	0.356	0.9
Tiroid	0.099	1.4	0.206	1.2	0.351	1.1

Tablo 3.23’de erkek organlarının ThLu-1, 2 ve 3 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 25 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.24. Erkek organların ThLu-,4,5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-4		ThLu-5		ThLu-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Organlar						
Aktif Kemik İliği	0.024	0.1	0.062	0.1	0.124	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.011	3.4	0.039	2.6	0.088	2.2
Beyin	0.002	1.6	0.008	1	0.019	0.8
Göğüs	0.161	0.3	0.326	0.3	0.545	0.3
Kalın Bağırsak	0.053	0.3	0.140	0.3	0.274	0.3
Solunum Yolu	0.072	1.2	0.166	1.1	0.301	0.9
Safra Kesesi	0.063	1.1	0.168	0.9	0.328	0.7
Kalp	0.077	0.5	0.190	0.4	0.360	0.3
Böbrekler	0.009	0.8	0.033	0.6	0.074	0.6
Karaciğer	0.061	0.2	0.153	0.2	0.291	0.2
Akciğer	0.056	0.3	0.139	0.2	0.264	0.2
Lenf Düğümleri	0.059	0.3	0.147	0.3	0.279	0.2
Kas	0.040	0	0.092	0	0.170	0
Yemek Borusu	0.021	1.3	0.066	1	0.142	0.9
Ağız Mukozası	0.064	1.1	0.146	0.9	0.265	0.7
Pankreas	0.033	0.8	0.099	0.6	0.206	0.5
Prostat	0.059	2	0.153	1.6	0.298	1.4
Tükrük Bezleri	0.061	1	0.141	0.9	0.257	0.8
İskelet	0.051	0.1	0.122	0.1	0.225	0.1
Deri	0.054	0.2	0.103	0.1	0.168	0.1
İnce Bağırsak	0.048	0.4	0.129	0.3	0.257	0.3
Mide	0.088	0.5	0.212	0.4	0.396	0.3
Testisler	0.166	0.6	0.339	0.6	0.570	0.6
Timüs	0.130	1.5	0.297	1.1	0.533	0.9
Tiroid	0.148	1.4	0.309	1.2	0.526	1.1

Tablo 3.24'de erkek organlarının ThLu-4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 25 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.25. Erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-7		ThLu-8		ThLu-9	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Organlar						
Aktif Kemik İliği	0.032	0.1	0.083	0.1	0.166	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.014	3.4	0.051	2.6	0.118	2.2
Beyin	0.003	1.6	0.011	1	0.025	0.8
Göğüs	0.215	0.3	0.435	0.3	0.728	0.3
Kalın Bağırsak	0.071	0.3	0.186	0.3	0.366	0.3
Solunum Yolu	0.096	1.2	0.221	1.1	0.402	0.9
Safra Kesesi	0.085	1.1	0.223	0.9	0.437	0.7
Kalp	0.103	0.5	0.254	0.4	0.480	0.3
Böbrekler	0.013	0.8	0.044	0.6	0.099	0.6
Karaciğer	0.082	0.2	0.204	0.2	0.388	0.2
Akciğer	0.074	0.3	0.185	0.2	0.353	0.2
Lenf Düğümleri	0.079	0.3	0.196	0.3	0.373	0.2
Kas	0.053	0	0.123	0	0.227	0
Yemek Borusu	0.029	1.3	0.089	1	0.189	0.9
Ağız Mukozası	0.086	1.1	0.194	0.9	0.353	0.7
Pankreas	0.045	0.8	0.132	0.6	0.275	0.5
Prostat	0.079	2	0.204	1.6	0.398	1.4
Tükrük Bezleri	0.082	1	0.188	0.9	0.342	0.8
İskelet	0.068	0.1	0.163	0.1	0.300	0.1
Deri	0.072	0.2	0.138	0.1	0.225	0.1
İnce Bağırsak	0.064	0.4	0.173	0.3	0.343	0.3
Mide	0.118	0.5	0.283	0.4	0.528	0.3
Testisler	0.222	0.6	0.452	0.6	0.761	0.6
Timüs	0.174	1.5	0.396	1.1	0.710	0.9
Tiroid	0.198	1.4	0.412	1.2	0.702	1.1

Tablo 3.25’de erkek organlarının ThLu-7, 8 ve 9 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 25 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.26. Kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Cr-1		Cr-2		Cr-3		Cr-4		Cr-5		Cr-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.017	0.1	0.028	0.1	0.042	0.1	0.026	0.1	0.042	0.1	0.063	0.1
Beyin	0.113	0.3	0.197	0.3	0.311	0.2	0.170	0.3	0.295	0.3	0.466	0.2
Solunum Yolu	0.078	1.5	0.137	1.4	0.218	1.2	0.117	1.5	0.205	1.4	0.327	1.2
Kas	0.006	0.1	0.009	0.1	0.013	0.1	0.009	0.1	0.013	0.1	0.019	0.1
Ağız Mukozası	0.290	0.7	0.448	0.6	0.647	0.6	0.435	0.7	0.672	0.6	0.970	0.6
Tükrük Bezleri	0.197	0.5	0.309	0.4	0.452	0.4	0.295	0.5	0.463	0.4	0.678	0.4
İskelet	0.090	0.1	0.140	0.1	0.202	0.1	0.134	0.1	0.210	0.1	0.302	0.1
(Kafatası)	0.662	0.1	1.030	0.1	1.476	0.1	0.993	0.1	1.543	0.1	2.213	0.1
(Üst Omurga)	0.046	0.8	0.092	0.7	0.158	0.6	0.070	0.8	0.137	0.7	0.236	0.6
(Klavikula)	0.011	3.2	0.020	2.7	0.032	2.3	0.017	3.2	0.030	2.7	0.048	2.3
Deri	0.035	0.2	0.049	0.2	0.066	0.2	0.052	0.2	0.074	0.2	0.099	0.2
Timüs	0.000	33.9	0.001	28	0.001	23.4	0.001	33.9	0.001	28	0.002	23.4
Tiroid	0.005	4.2	0.011	3.7	0.018	3.3	0.008	4.2	0.016	3.7	0.027	3.3

Tablo 3.26'da kadın organlarının Cr-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 13 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada cranium alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.27. Kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Th-1		Th-2		Th-3		Th-4		Th-5	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.047	0.1	0.113	0.1	0.214	0.1	0.346	0.1	0.600	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.121	1.7	0.291	1.2	0.545	1	0.875	0.9	1.504	0.8
Beyin	0.000	2.1	0.002	1.5	0.004	1.3	0.008	1.1	0.015	1
Göğüs	0.019	0.9	0.056	0.6	0.117	0.5	0.203	0.4	0.379	0.4
Kalın Bağırsak	0.001	1.7	0.005	1	0.013	0.8	0.024	0.7	0.046	0.6
Solunum Yolu	0.011	2.8	0.035	2.3	0.075	2	0.133	1.8	0.249	1.6
Safra Kesesi	0.014	2	0.044	1.5	0.097	1.2	0.171	1.1	0.322	0.9
Kalp	0.029	0.6	0.089	0.5	0.191	0.4	0.332	0.4	0.615	0.3
Böbrekler	0.092	0.4	0.210	0.3	0.379	0.3	0.596	0.3	0.998	0.2
Karaciğer	0.047	0.2	0.124	0.2	0.245	0.2	0.407	0.1	0.721	0.1
Akciğer	0.111	0.2	0.265	0.1	0.493	0.1	0.789	0.1	1.348	0.1
Lenf Düğümleri	0.024	0.4	0.066	0.3	0.135	0.3	0.229	0.2	0.415	0.2
Kas	0.028	0	0.065	0	0.120	0	0.192	0	0.330	0
Yemek Borusu	0.038	1	0.120	0.8	0.259	0.7	0.453	0.7	0.844	0.6
Ağız Mukozası	0.002	3.6	0.007	2.7	0.016	2.5	0.029	2.2	0.056	2
Pankreas	0.039	1.1	0.117	0.8	0.248	0.6	0.426	0.5	0.780	0.5
Tükrük Bezleri	0.006	2.8	0.016	1.8	0.033	1.4	0.057	1.2	0.103	1
İskelet	0.112	0.1	0.248	0.1	0.432	0.1	0.654	0.1	1.042	0
Deri	0.047	0.1	0.090	0.1	0.148	0.1	0.220	0.1	0.352	0.1
İnce Bağırsak	0.002	0.9	0.006	0.8	0.015	0.7	0.028	0.6	0.055	0.6
Dalak	0.104	0.6	0.253	0.5	0.475	0.4	0.763	0.4	1.309	0.3
Mide	0.020	1	0.061	0.7	0.131	0.6	0.229	0.5	0.423	0.5
Timüs	0.012	2.4	0.042	1.7	0.096	1.4	0.173	1.2	0.334	1.1
Tiroid	0.022	1.8	0.068	1.4	0.144	1.2	0.252	1.1	0.476	1
Rahim	0.000	6.4	0.001	4.3	0.003	3.6	0.006	3.1	0.013	2.6

Tablo 3.27’de kadın organlarının Th-1, 2, 3, 4 ve 5 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 25 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.28. Kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	Th-6		Th-7		Th-8		Th-9		Th-10	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.070	0.1	0.170	0.1	0.320	0.1	0.518	0.1	0.900	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.181	1.7	0.438	1.2	0.816	1	1.308	0.9	2.256	0.8
Beyin	0.001	2.1	0.003	1.5	0.006	1.3	0.012	1.1	0.023	1
Göğüs	0.028	0.9	0.084	0.6	0.176	0.5	0.304	0.4	0.568	0.4
Kalın Bağırsak	0.002	1.7	0.008	1	0.019	0.8	0.035	0.7	0.069	0.6
Solunum Yolu	0.017	2.8	0.052	2.3	0.112	2	0.198	1.8	0.373	1.6
Safra Kesesi	0.020	2	0.066	1.5	0.145	1.2	0.256	1.1	0.482	0.9
Kalp	0.043	0.6	0.133	0.5	0.286	0.4	0.497	0.4	0.923	0.3
Böbrekler	0.139	0.4	0.316	0.3	0.568	0.3	0.891	0.3	1.497	0.2
Karaciğer	0.071	0.2	0.187	0.2	0.368	0.2	0.609	0.1	1.082	0.1
Akciğer	0.166	0.2	0.398	0.1	0.739	0.1	1.179	0.1	2.022	0.1
Lenf Düğümleri	0.035	0.4	0.099	0.3	0.202	0.3	0.343	0.2	0.622	0.2
Kas	0.042	0	0.097	0	0.180	0	0.287	0	0.494	0
Yemek Borusu	0.057	1	0.180	0.8	0.388	0.7	0.678	0.7	1.266	0.6
Ağız Mukozası	0.003	3.6	0.011	2.7	0.025	2.5	0.044	2.2	0.085	2
Pankreas	0.059	1.1	0.176	0.8	0.371	0.6	0.637	0.5	1.170	0.5
Tükrük Bezleri	0.008	2.8	0.024	1.8	0.050	1.4	0.085	1.2	0.155	1
İskelet	0.168	0.1	0.372	0.1	0.647	0.1	0.978	0.1	1.563	0
Deri	0.070	0.1	0.136	0.1	0.222	0.1	0.329	0.1	0.528	0.1
İnce Bağırsak	0.002	0.9	0.009	0.8	0.023	0.7	0.042	0.6	0.083	0.6
Dalak	0.156	0.6	0.381	0.5	0.711	0.4	1.141	0.4	1.964	0.3
Mide	0.030	1	0.092	0.7	0.197	0.6	0.342	0.5	0.635	0.5
Timüs	0.018	2.4	0.062	1.7	0.143	1.4	0.259	1.2	0.501	1.1
Tiroid	0.034	1.8	0.102	1.4	0.215	1.2	0.377	1.1	0.714	1

Tablo 3.28’de kadın organlarının Th-6, 7, 8, 9 ve 10 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks alanından toplam beş farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.29. Kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Ab-1		Ab-2		Ab-3		Ab-4		Ab-4		Ab-4	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.063	0.1	0.133	0.1	0.240	0.1	0.094	0.1	0.200	0.1	0.360	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.050	2.8	0.128	2.3	0.256	1.9	0.075	2.8	0.193	2.3	0.384	1.9
Göğüs	0.430	0.4	0.742	0.3	1.133	0.3	0.644	0.4	1.112	0.3	1.699	0.3
Kalın Bağırsak	0.217	0.3	0.455	0.3	0.797	0.2	0.325	0.3	0.683	0.3	1.196	0.2
Safra Kesesi	0.296	0.8	0.619	0.6	1.079	0.5	0.444	0.8	0.928	0.6	1.619	0.5
Kalp	0.307	0.3	0.610	0.2	1.030	0.2	0.460	0.3	0.916	0.2	1.545	0.2
Böbrekler	0.045	0.8	0.117	0.7	0.234	0.6	0.068	0.8	0.176	0.7	0.351	0.6
Karaciğer	0.284	0.2	0.574	0.2	0.980	0.2	0.425	0.2	0.861	0.2	1.470	0.2
Akciğer	0.150	0.4	0.303	0.3	0.518	0.3	0.225	0.4	0.455	0.3	0.777	0.3
Lenf Düğümleri	0.151	0.2	0.319	0.2	0.562	0.2	0.226	0.2	0.479	0.2	0.844	0.2
Kas	0.115	0	0.221	0	0.366	0	0.173	0	0.331	0	0.549	0
Yemek Borusu	0.064	1.2	0.152	1	0.287	0.9	0.096	1.2	0.228	1	0.431	0.9
Ovaries	0.152	2.6	0.336	2	0.609	1.7	0.227	2.6	0.504	2	0.914	1.7
Pankreas	0.156	0.8	0.355	0.7	0.655	0.6	0.233	0.8	0.532	0.7	0.982	0.6
İskelet	0.149	0.1	0.290	0.1	0.478	0.1	0.224	0.1	0.435	0.1	0.718	0.1
(Kaburga)	0.670	0.1	1.186	0.1	1.824	0.1	1.004	0.1	1.780	0.1	2.737	0.1
(Pelvis)	0.175	0.4	0.407	0.3	0.750	0.2	0.263	0.4	0.610	0.3	1.125	0.2
Deri	0.160	0.2	0.264	0.1	0.393	0.1	0.239	0.2	0.396	0.1	0.589	0.1
İnce Bağırsak	0.218	0.3	0.467	0.2	0.828	0.2	0.326	0.3	0.700	0.2	1.241	0.2
Dalak	0.091	1	0.217	0.8	0.412	0.7	0.137	1	0.326	0.8	0.617	0.7
Timüs	0.043	2.7	0.095	2.2	0.172	1.9	0.064	2.7	0.142	2.2	0.258	1.9
Mesane	0.210	1	0.418	0.8	0.705	0.7	0.315	1	0.626	0.8	1.057	0.7
Rahim	0.201	1	0.433	0.8	0.769	0.7	0.301	1	0.649	0.8	1.154	0.7

Tablo 3.29’da kadın organlarının Ab-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 23 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada abdomen alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.30. Kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	Pe-1		Pe-2		Pe-3		Pe-4		Pe-5		Pe-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.033	0.2	0.104	0.2	0.229	0.2	0.049	0.2	0.156	0.2	0.342	0.2
Göğüs	0.002	3.8	0.005	3	0.010	2.6	0.002	3.8	0.007	3	0.015	2.6
Kalın Bağırsak	0.260	0.3	0.670	0.2	1.302	0.2	0.389	0.3	1.005	0.2	1.947	0.2
Safra Kesesi	0.212	0.9	0.537	0.8	1.034	0.7	0.318	0.9	0.806	0.8	1.546	0.7
Kalp	0.002	4.5	0.007	2.6	0.017	1.9	0.002	4.5	0.010	2.6	0.025	1.9
Karaciğer	0.072	0.4	0.181	0.3	0.349	0.2	0.108	0.4	0.272	0.3	0.522	0.2
Akciğer	0.001	1.9	0.005	1.4	0.013	1.1	0.002	1.9	0.008	1.4	0.019	1.1
Lenf Düğümleri	0.102	0.3	0.261	0.2	0.507	0.2	0.153	0.3	0.392	0.2	0.758	0.2
Yumurtalıklar	0.174	2.8	0.494	2	1.012	1.7	0.261	2.8	0.740	2	1.514	1.7
Pankreas	0.022	2	0.072	1.5	0.160	1.3	0.033	2	0.109	1.5	0.239	1.3
İskelet	0.088	0.2	0.236	0.1	0.463	0.1	0.131	0.2	0.354	0.1	0.692	0.1
Deri	0.158	0.1	0.301	0.1	0.489	0.1	0.236	0.1	0.451	0.1	0.732	0.1
İnce Bağırsak	0.235	0.2	0.617	0.2	1.214	0.2	0.352	0.2	0.926	0.2	1.816	0.2
Dalak	0.024	1.6	0.076	1.1	0.163	0.9	0.036	1.6	0.113	1.1	0.244	0.9
Mide	0.133	0.8	0.323	0.6	0.610	0.5	0.199	0.8	0.485	0.6	0.912	0.5
Rahim	0.242	0.9	0.649	0.7	1.288	0.6	0.363	0.9	0.973	0.7	1.927	0.6

Tablo 3.30'da kadın organlarının Pe-1, 2, 3, 4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 16 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada pelvis alanından toplam altı farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.31. Kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-1		ThLu-2		ThLu-3	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Organ/Doku						
Aktif Kemik İliği	0.019	0.1	0.048	0.1	0.094	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.008	4.3	0.028	3.2	0.063	2.7
Beyin	0.013	0.5	0.037	0.4	0.076	0.3
Göğüs	0.107	0.4	0.215	0.4	0.359	0.3
Kalın Bağırsak	0.038	0.4	0.098	0.3	0.190	0.3
Solunum Yolu	0.049	1.4	0.112	1.2	0.204	1
Safra Kesesi	0.045	1	0.116	0.8	0.224	0.7
Kalp	0.053	0.4	0.129	0.4	0.243	0.3
Böbrekler	0.007	1.1	0.025	0.7	0.055	0.6
Karaciğer	0.044	0.3	0.108	0.3	0.204	0.2
Akciğer	0.040	0.3	0.098	0.2	0.184	0.2
Lenf Düğümleri	0.041	0.3	0.101	0.3	0.191	0.2
Yemek Borusu	0.016	1.8	0.047	1.2	0.100	1
Ağız Mukozası	0.046	1	0.104	0.9	0.190	0.8
Yumurtalıklar	0.025	3.5	0.072	2.6	0.147	2.1
Tükrük Bezleri	0.041	1.1	0.096	0.9	0.174	0.8
İskelet	0.043	0.1	0.102	0.1	0.185	0.1
İnce Bağırsak	0.034	0.4	0.090	0.3	0.178	0.2
Dalak	0.015	1.1	0.045	0.8	0.094	0.7
Mide	0.060	0.6	0.144	0.5	0.266	0.4
Timüs	0.088	1.3	0.198	1.1	0.352	1
Tiroid	0.101	1.2	0.208	1.1	0.353	1
Mesane	0.061	1	0.145	0.7	0.267	0.6
Rahim	0.033	1	0.090	0.7	0.178	0.6

Tablo 3.31'de kadın organlarının ThLu-1, 2 ve 3 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.32. Kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar	ThLu-4		ThLu-5		ThLu-6	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.028	0.1	0.072	0.1	0.142	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.012	4.3	0.042	3.2	0.094	2.7
Beyin	0.020	0.5	0.056	0.4	0.114	0.3
Göğüs	0.160	0.4	0.323	0.4	0.539	0.3
Kalın Bağırsak	0.056	0.4	0.146	0.3	0.285	0.3
Solunum Yolu	0.073	1.4	0.168	1.2	0.307	1
Safra Kesesi	0.067	1	0.174	0.8	0.337	0.7
Kalp	0.079	0.4	0.194	0.4	0.365	0.3
Böbrekler	0.011	1.1	0.037	0.7	0.083	0.6
Karaciğer	0.066	0.3	0.163	0.3	0.307	0.2
Akciğer	0.059	0.3	0.147	0.2	0.277	0.2
Lenf Düğümleri	0.062	0.3	0.152	0.3	0.288	0.2
Yemek Borusu	0.024	1.8	0.071	1.2	0.150	1
Ağız Mukozası	0.069	1	0.157	0.9	0.285	0.8
Yumurtalıklar	0.038	3.5	0.108	2.6	0.222	2.1
Tükrük Bezleri	0.062	1.1	0.143	0.9	0.262	0.8
İskelet	0.064	0.1	0.153	0.1	0.278	0.1
İnce Bağırsak	0.051	0.4	0.135	0.3	0.267	0.2
Dalak	0.023	1.1	0.068	0.8	0.142	0.7
Mide	0.090	0.6	0.216	0.5	0.400	0.4
Timüs	0.133	1.3	0.297	1.1	0.529	1
Tiroid	0.152	1.2	0.313	1.1	0.531	1
Mesane	0.091	1	0.217	0.7	0.402	0.6
Rahim	0.050	1	0.135	0.7	0.268	0.6

Tablo 3.32’de kadın organlarının ThLu-4, 5 ve 6 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10’dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lumbar alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

Tablo 3.33. Kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 alanlarında soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%)

Alanlar Organ/Doku	ThLu-7		ThLu-8		ThLu-9	
	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)	Doz (mGy)	Hata (%)
Aktif Kemik İliği	0.037	0.1	0.096	0.1	0.189	0.1
Böbreküstü Bezleri	0.016	4.3	0.056	3.2	0.125	2.7
Beyin	0.026	0.5	0.074	0.4	0.152	0.3
Göğüs	0.214	0.4	0.430	0.4	0.719	0.3
Kalın Bağırsak	0.075	0.4	0.195	0.3	0.380	0.3
Solunum Yolu	0.098	1.4	0.224	1.2	0.409	1
Safra Kesesi	0.090	1	0.232	0.8	0.449	0.7
Kalp	0.106	0.4	0.258	0.4	0.486	0.3
Böbrekler	0.015	1.1	0.050	0.7	0.111	0.6
Karaciğer	0.088	0.3	0.217	0.3	0.409	0.2
Akciğer	0.079	0.3	0.196	0.2	0.370	0.2
Lenf Düğümleri	0.083	0.3	0.203	0.3	0.383	0.2
Yemek Borusu	0.032	1.8	0.095	1.2	0.200	1
Ağız Mukozası	0.092	1	0.209	0.9	0.380	0.8
Yumurtalıklar	0.051	3.5	0.144	2.6	0.295	2.1
Tükrük Bezleri	0.083	1.1	0.191	0.9	0.349	0.8
İskelet	0.086	0.1	0.204	0.1	0.371	0.1
İnce Bağırsak	0.068	0.4	0.180	0.3	0.356	0.2
Dalak	0.030	1.1	0.090	0.8	0.189	0.7
Mide	0.121	0.6	0.288	0.5	0.533	0.4
Timüs	0.177	1.3	0.396	1.1	0.705	1
Tiroid	0.203	1.2	0.417	1.1	0.708	1
Mesane	0.122	1	0.289	0.7	0.536	0.6
Rahim	0.067	1	0.179	0.7	0.357	0.6

Tablo 3.33'de kadın organlarının ThLu-7, 8 ve 9 parametrelerinde soğurduğu radyasyon dozları (mGy) ve hata yüzdeleri (%) verilmiştir. Çalışmada toplam 24 farklı değişken incelenmiştir. Bu verilerin haricinde hata oranı %10'dan yüksek olan değerler tablodan çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada toraks + lomber alanından toplam üç farklı kombinasyon uygulanmıştır.

3.3. Algoritma Verilerine göre Etkin Risk ve Diğer Doz Değerlerinin Bulguları

Caldose X 5.0 algoritması ile yapılan tüm simülasyonlardan elde edilen ışınlama sebebiyle kanser riski (ISKR) ve ışınlama sebebiyle ölüm riski (ISÖR) ortalamaları Tablo 3.34’de verilmiştir. Çalışmada erkek ve kadınlara ait simülasyon bulgularına göre en fazla ölüm riski taşıyan tetkik kadınlarda toraks, erkeklerde abdomen iken en fazla kanser vakası oranı kadınlarda toraks, erkeklerde ise pelvis alanı olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.34. Erkek ve kadınlara ait alanların ISKR ve ISÖR ortalamaları

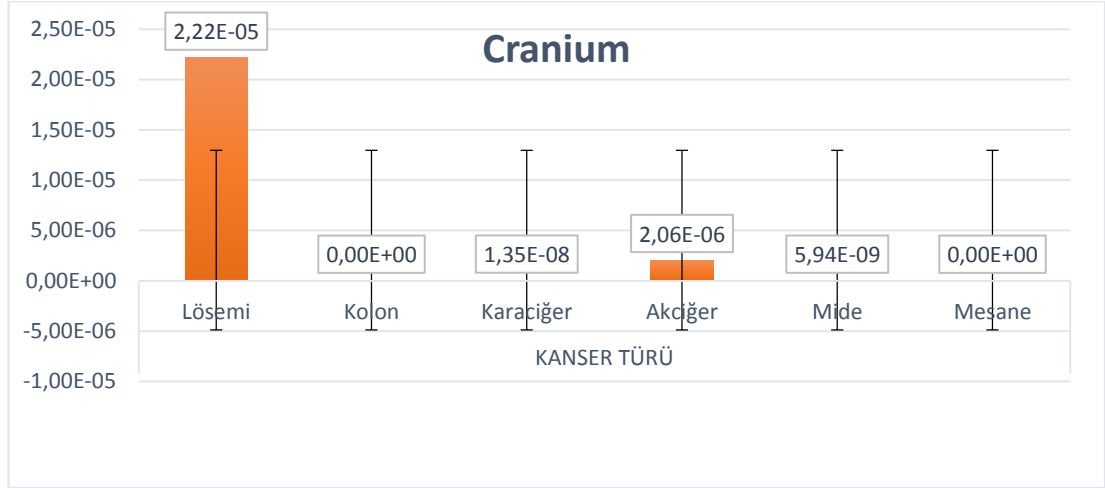
Alan	Erkek		Kadın	
	ISKR x10 ⁻⁵ (%)	ISÖR x10 ⁻⁵ (%)	ISKR x10 ⁻⁵ (%)	ISÖR x10 ⁻⁵ (%)
Cranium	40.100	30.600	35.200	27.600
Thoraks	176.200	152.200	426.400	320.700
Abdomen	280.000	164.600	419.000	208.400
Pelvis	307.700	139.400	337.800	159.500
ThLu	137.800	87.500	272.100	133.700

PCXMC 2.0 algoritması ile yapılan tüm simülasyonlardan elde edilen ışınlama sebebiyle ölüm ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 3.35’de verilmiştir. Çalışmada erkek ve kadınlara ait simülasyon bulgularına göre en fazla ölüm riski taşıyan tetkik kadınlarda abdomen alanı erkeklerde pelvis alanı olarak belirlenmiştir. Ayrıca Tablo 3.35 ‘e bakıldığında kadınlarda standart sapması en fazla olarak toraks belirlenirken en az ise cranium olarak bulunmuştur. Erkeklerde ISÖR durumunun standart sapması incelendiğinde ise en fazla toraks belirlenirken en az ise cranium olarak bulunmuştur. (Not: PCXMC için ISÖR ortalama değerleri hesaplanırken tüm vücut doku ve organları temel alınmıştır.)

Tablo 3.35. Erkek ve kadınlara ait alanların ISÖR ortalama ve SS değerleri

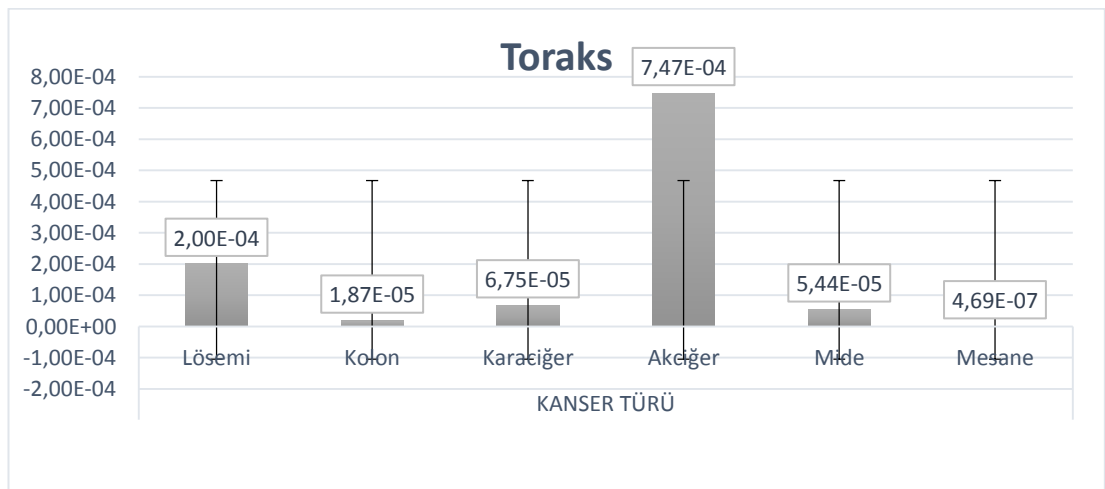
PCXMC	ISÖR x10 ⁻⁵ (%)			
	Kadın		Erkek	
Alanlar	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Cranium	10.233	4.544	16.210	6.821
Thoraks	230.450	191.615	135.350	113.493
Abdomen	281.833	153.591	98.933	102.298
Pelvis	135.250	91.299	141.433	91.931
ThLu	75.467	70.836	60.467	40.344

Erkek organları için cranium ISÖR ortalama analiz grafisine göre lösemi belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Lösemi için Şekil 3.1’de görüldüğü üzere risk oranı %0.0000222 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle erkekler için cranium tetkikinde lösemi 100 000 ‘de 0.0222 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



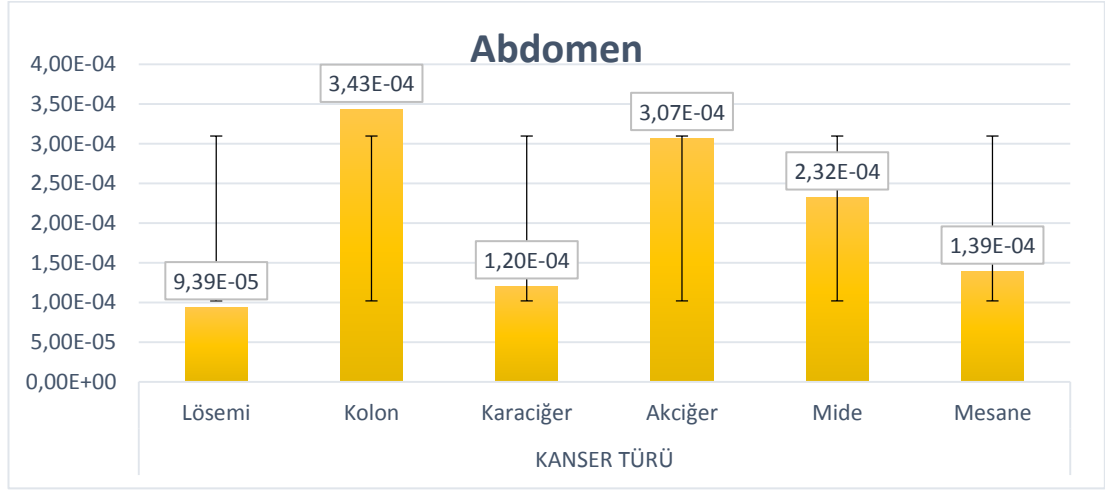
Şekil 3.1. Erkek organları için cranium ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Erkek organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisine göre akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Akciğer kanseri için Şekil 3.2’de görüldüğü üzere risk oranı %0.000747 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle erkekler için toraks tetkikinde akciğer kanseri 100 000 ‘de 0.747 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



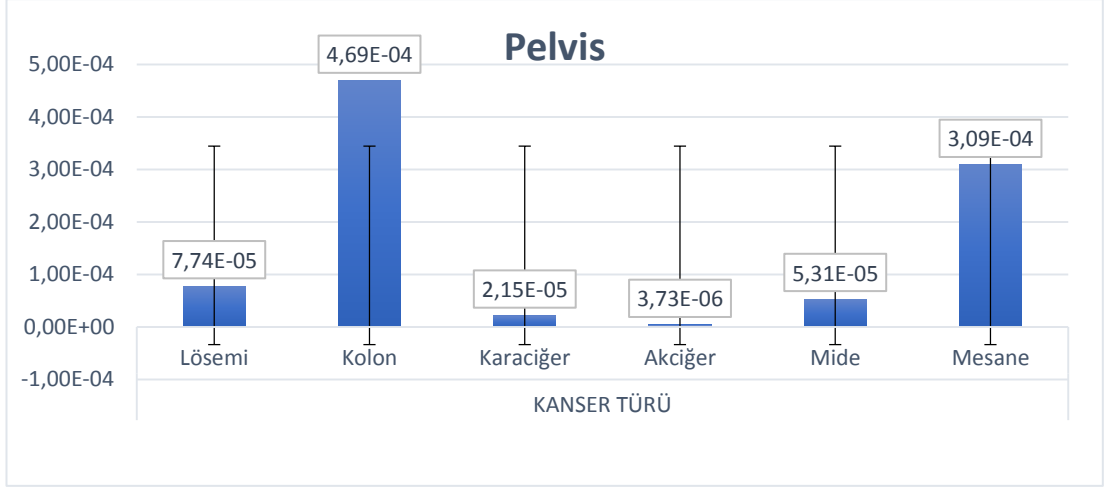
Şekil 3.2. Erkek organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Erkek organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisine göre kolon ve akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Kolon ve akciğer kanseri için Şekil 3.3'de görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.000343 ve %0.000307 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle erkekler için toraks tetkikinde kolon ve akciğer kanseri sırasıyla 100 000 'de 0.343 ve 100 000 'de 0.307 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. Erkek organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

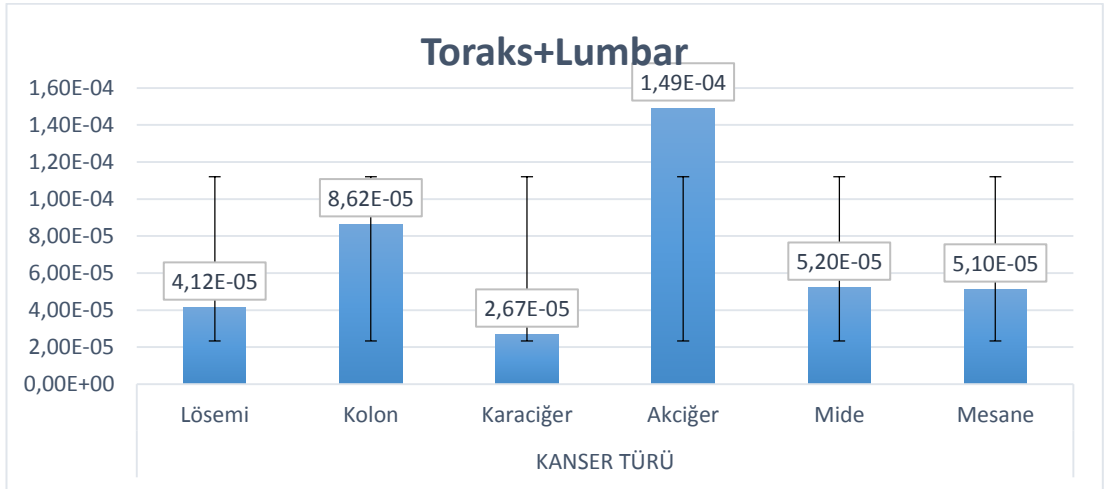
Erkek organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisine göre kolon ve mesane kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Kolon ve mesane kanseri için Şekil 3.4'de görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.000469 ve %0.000309 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle erkekler için pelvis tetkikinde kolon ve mesane kanseri sırasıyla 100 000 'de 0.469 ve 100 000 'de 0.309 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



Şekil 3.4. Erkek organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

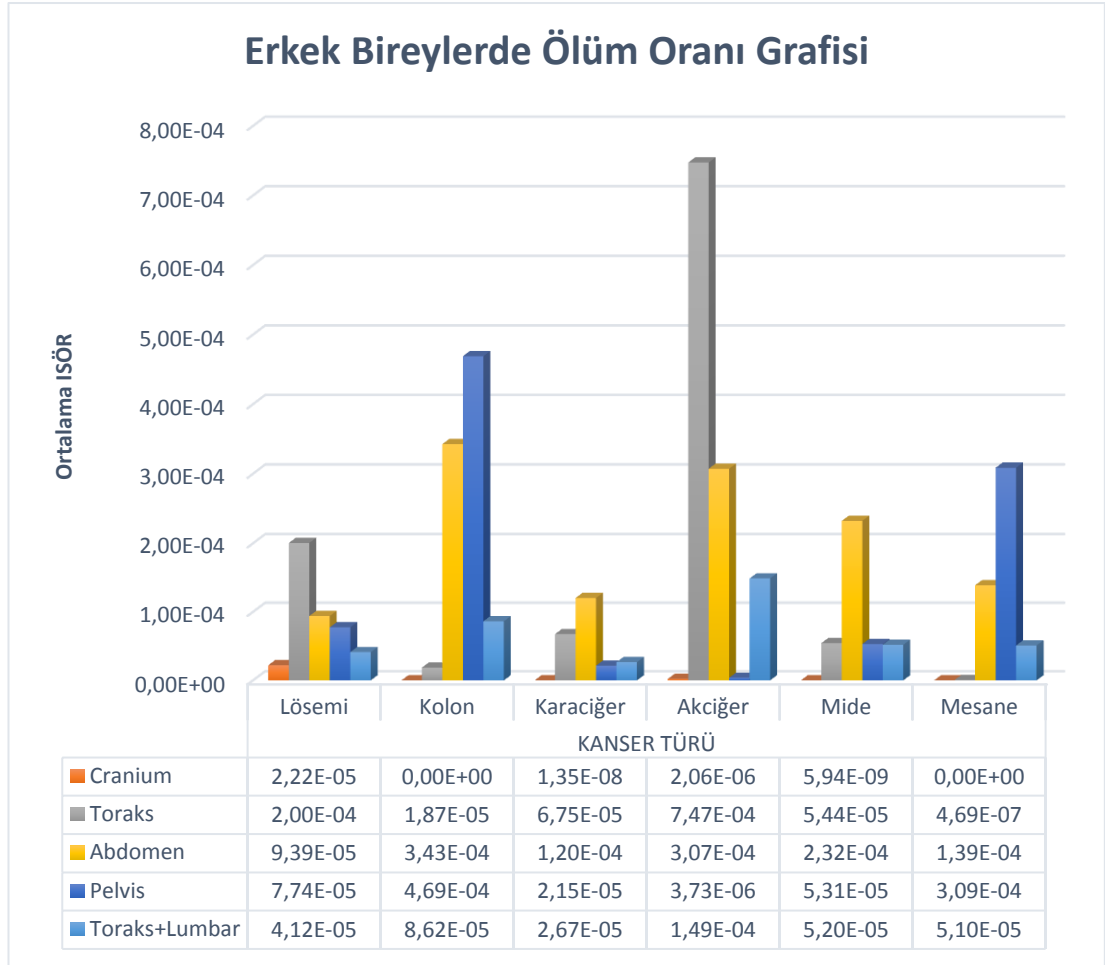
Erkek organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisine göre kolon ve akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Kolon ve akciğer kanseri için

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.0000862 ve %0.000149 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle erkekler için toraks+lumbar tetkikinde kolon ve akciğer kanseri sırasıyla 100 000 ‘de 0.0862 ve 100 000 ‘de 0.149 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



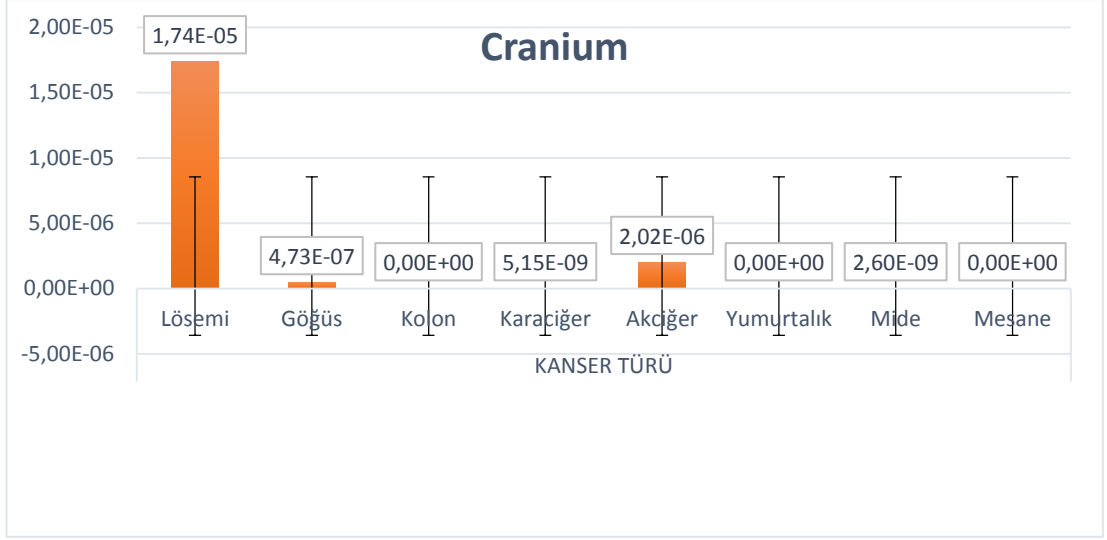
Şekil 3.5. Erkek organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Oluşturdukları tehlike açısından erkek bireylerde tetkik türlerine göre ISÖR ortalama değerlerine genel bir bakış Şekil 3.6'da verilmiştir. Buna göre erkek bireyler için medikal X-ışını muayenelerinde kanser oluşumu akabinde ölüm riskini en çok taşıyan tetkik, 100 000 vaka da 0.747 ölüm oranı ile toraks çekimidir.



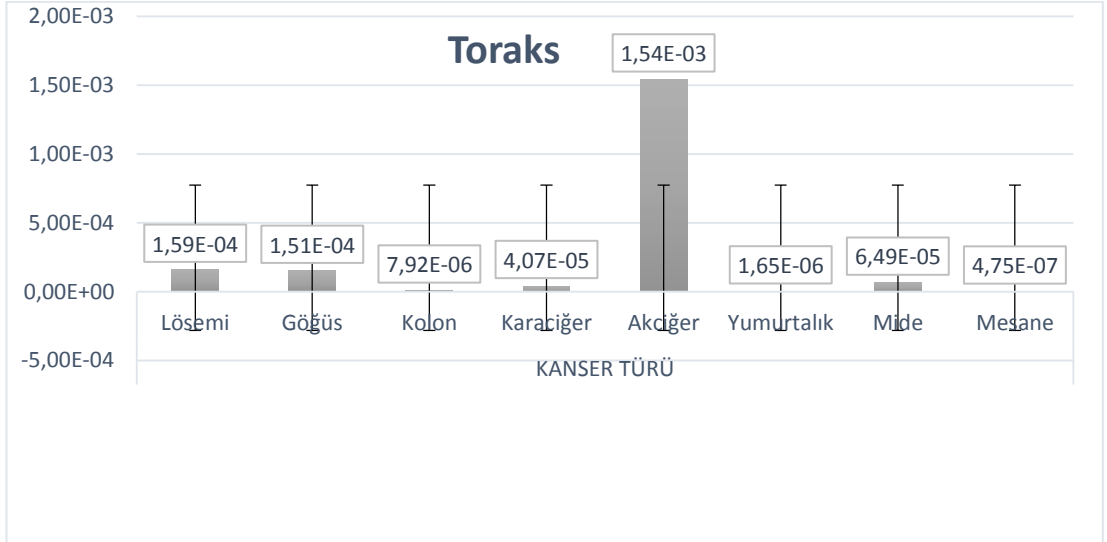
Şekil 3.6. Erkekler bireylerde ölüm oranı grafisi (%)

Kadın organları için cranium ISÖR ortalama analiz grafisine göre lösemi belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Lösemi için Şekil 3.7'de görüldüğü üzere risk oranı %0.0000174 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle kadınlar için cranium tetkikinde lösemi 100 000 'de 0.0174 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



Şekil 3.7. Kadın organları için cranium risk analiz grafisi ve SS

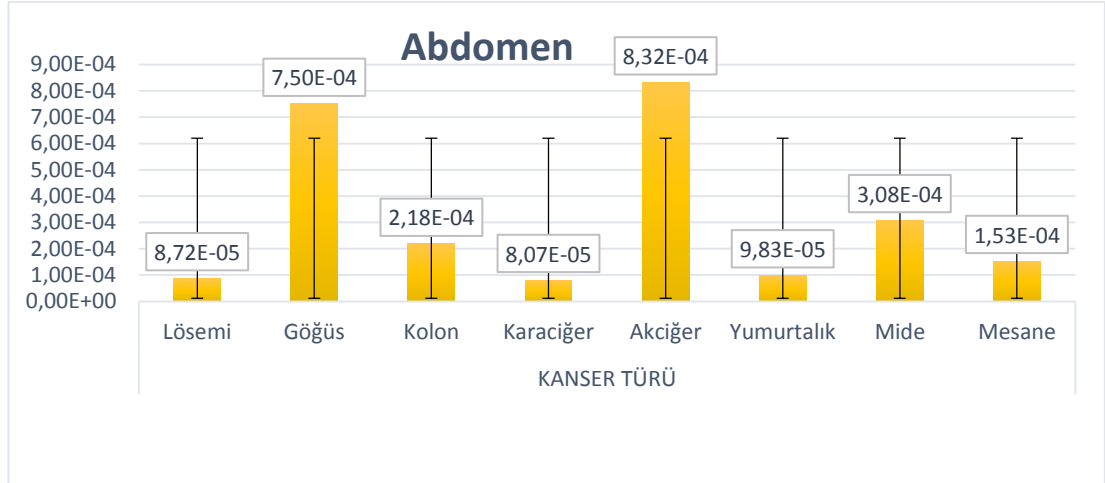
Kadın organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisine göre akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Akciğer kanseri için Şekil 3.8’de görüldüğü üzere risk oranı %0.00154 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle kadınlar için toraks tetkikinde akciğer kanseri 100 000 ‘de 1.540 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



Şekil 3.8. Kadın organları için toraks ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

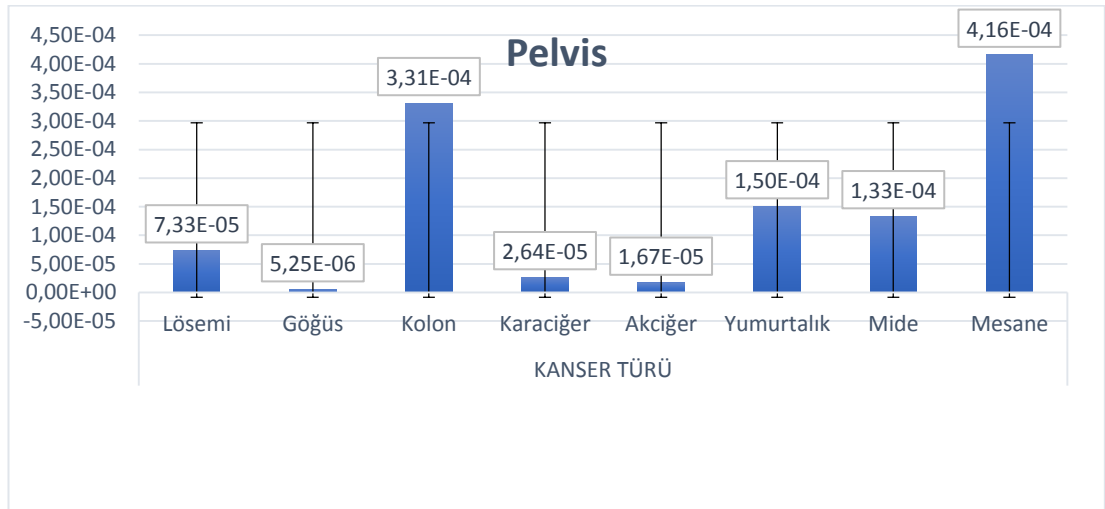
Kadın organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisine göre göğüs ve akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Göğüs ve akciğer kanseri için Şekil 3.9’da görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.00075 ve %0.000832

olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle kadınlar için abdomen tetkikinde kolon ve akciğer kanseri sırasıyla 100 000 'de 75 ve 100 000 'de 0.832 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



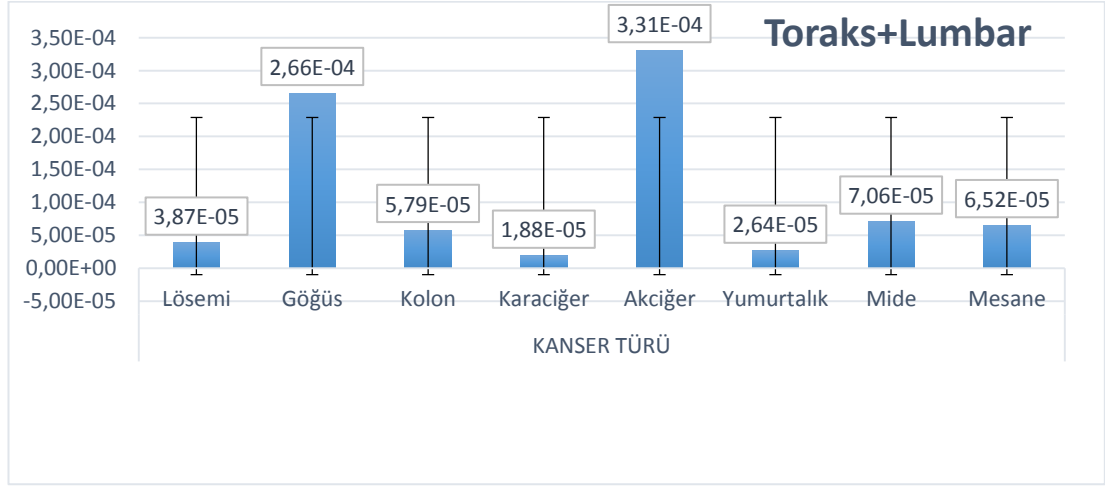
Şekil 3.9. Kadın organları için abdomen ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Kadın organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisine göre kolon ve mesane kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Kolon ve mesane kanseri için Şekil 3.10'da görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.000331 ve %0.000416 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle kadınlar için pelvis tetkikinde kolon ve mesane kanseri sırasıyla 100 000 'de 0.331 ve 100 000 'de 0.416 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



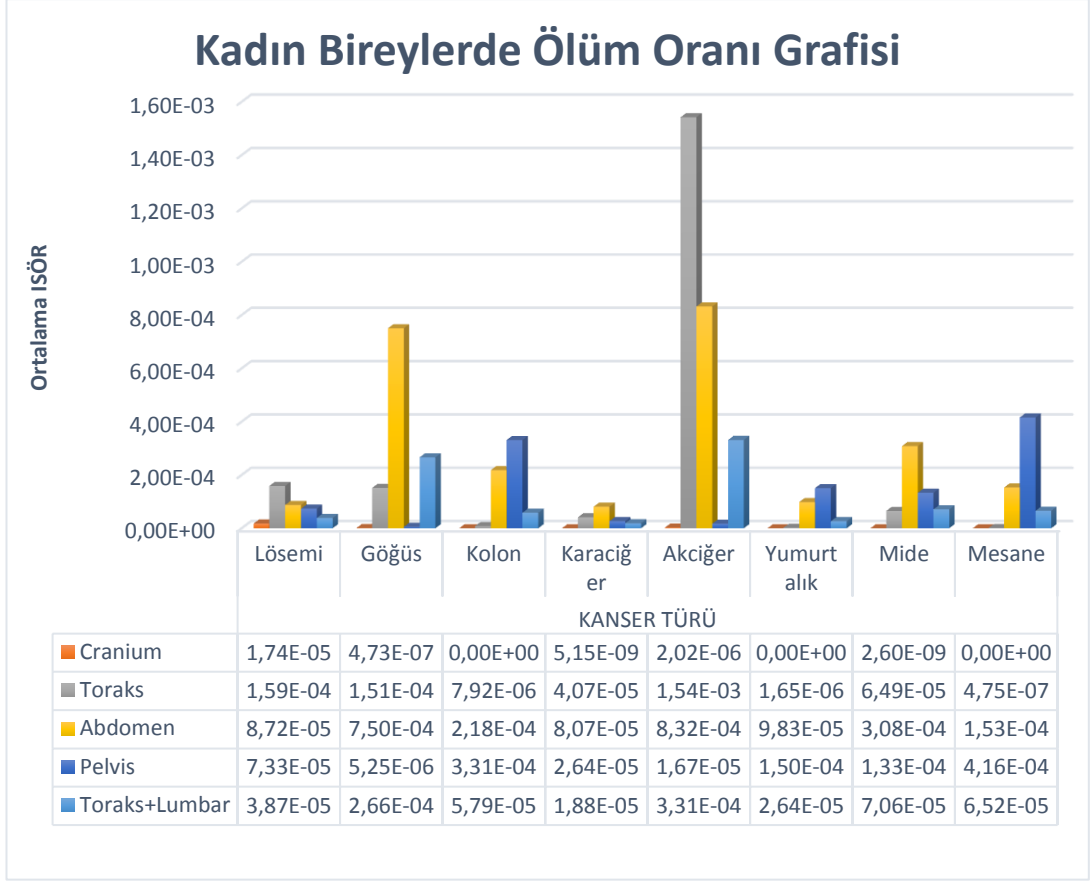
Şekil 3.10. Kadın organları için pelvis ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Kadın organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisine göre göğüs ve akciğer kanseri belirgin bir ölüm riski teşkil etmektedir. Göğüs ve akciğer kanseri için Şekil 3.11’de görüldüğü üzere risk oranı sırasıyla %0.000266 ve %0.000331 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle kadınlar için toraks+lumbar tetkikinde kolon ve mesane kanseri sırasıyla 100 000 ‘de 0.266 ve 100 000 ‘de 0.331 oranında ölüm riski oluşturmaktadır.



Şekil 3.11. Kadın organları için toraks+lumbar ISÖR ortalama analiz grafisi ve SS

Oluşturdukları tehlike açısından kadın bireylerde tetkik türlerine göre ISÖR ortalama değerlerine genel bir bakış Şekil 3.12’de verilmiştir. Buna göre kadın bireyler için medikal X-ışını muayenelerinde kanser oluşumu akabinde ölüm riskini en çok taşıyan tetkik, 100 000 vaka da 1.540 ölüm oranı ile toraks çekimidir.



Şekil 3.12. Kadın bireylerde ölüm oranı grafisi (%)

ICRP60 için etkin doz değer ortalamaları Tablo 3.36’da verilmiştir. Bu verilere göre kadın organları için çalışılan alanlar içerisinde en az dozu cranium 0.014 olarak absorbe ederken, en fazla doz Pelvis 0.603 ortalamasında bulunmuştur. ICRP60 verilerine göre erkek organları için ise en az dozu cranium 0.030 oranında, en fazla dozu pelvis 0.541 oranında soğurduğu belirlenmiştir. ICRP60 doz sıralaması ise kadınlarda Cr<ThLu<Th<Ab<Pe olarak ve erkeklerde Cr<ThLu<Th<Ab<Pe olarak belirlenmiştir. Kadın ve erkek sıralamasına bakıldığında yakın benzerlik olduğu gözlemlenmiştir.

ICRP103 için etkin doz değer ortalamaları Tablo 3.36 ’da verilmiştir. Bu verilere göre kadın organları için çalışılan alanlar içerisinde en az dozu cranium 0.022 olarak absorbe ederken, en fazla doz Abdomen 0.512 ortalamasında bulunmuştur. ICRP103 verilerine göre erkek organları için ise en az dozu cranium 0.041 oranında, en fazla dozu abdomen 0.398 oranında soğurduğu belirlenmiştir.

ICRP103 doz sıralaması ise kadınlarda Cr<ThLu<Th<Pe<Ab olarak ve erkeklerde Cr<ThLu<Th<Pe<Ab olarak belirlenmiştir. Kadın ve erkek sıralamasına bakıldığında yakın benzerlik olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3.36. PCXMC algoritması ile alanlardan elde edilen cinsiyete göre ortalama doz (mGy) ve absorpsiyon (%) değerleri

Alanlar	Efektif Doz ICRP60 (mSv)		Efektif Doz ICRP103 (mSv)		Soğurulan Doz Fraksiyonu (%)	
	Dose (mGy)		Dose (mGy)			
	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
Cr	0.014	0.030	0.022	0.041	21.006	28.115
Th	0.255	0.262	0.268	0.276	56.690	64.703
Ab	0.461	0.408	0.512	0.398	70.308	71.890
Pe	0.603	0.541	0.419	0.361	57.887	61.950
ThLu	0.191	0.186	0.193	0.187	60.064	63.775

3.4. Algoritma Verilerine göre İstatistiksel Analiz Bulguları

PCXMC 2.0 algoritması ile yapılan tüm simülasyonlardan elde edilen ışınlama sebebiyle ölüm istatistikleri karşılaştırması Tablo 3.37’de verilmiştir. Tablo 3.37’ye bakıldığında Pelvis, Toraks ve Toraks+Lumbar alanlarında anlamlı fark olmadığı görülmüştür. $p \leq 0.05$ için cranium ve abdomen için Mann-Wittney U testi analizinde anlamlı fark olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.37. Erkek ve kadınlara ait alanların ISÖR Mann-Whitney U testi

Alanlar	ISÖR		
	U	Z	P
Cranium	5	2.0016	0.0455
Thoraks	34	1.1717	0.2420
Abdomen	4	2.1617	0.0307
Pelvis	15	0.4003	0.6890
Toraks+Lumbar	24	1.4128	0.1585

4. TARTIŞMA

Monte Carlo yönteminde simüle edilen olay, gerçek olaya ne kadar eşdeğer ise simülasyondan elde edilen veriler gerçeğe aynı oranda yakın olacaktır. Bundan dolayı Caldose X algoritmasında kullanılan fantomların gerçek insan vücudunun BT ve MR çekimlerinden elde edilen verilerle sanallaştırılmış olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca Caldose X algoritmasında kullanılan X-ışını demet alanı ve kaynak mesafeleri bölüm 2.5.1'de belirtildiği gibi pratisyen hekimler için ders kitapları ve röntgen birimlerinde yapılan deneysel çalışmalara dayanmaktadır. Bu durum da gerçek olaya olan benzerlik açısından çalışmamıza üstünlük kazandırmaktadır.

Bu çalışmada göze çarpan en önemli detaylardan biri, standart toraks radyografisi tetkikinin arka-ön (posterior-anterior, PA) olarak belirlenmesidir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 'da görüldüğü üzere kadın bireylerde toraks tetkiki için demet alan merkezi göğüse çok yakın bir noktada, abdomen tetkiki için demet alan merkezi göğüse uzak bir noktadadır. Standart abdomen çekimi ön-arka (anterior-posterior AP) olarak, standart toraks çekimi arka-ön (posterior-anterior, PA) olarak uygulanmaktadır. Bu nedenle abdomen çekiminde X-ışınları direkt olarak göğüsler tarafından soğurulurken, toraks çekiminde göğüsler vücudun içerisinden geçen ve birtakım etkileşimlere uğramış X-ışınlarını soğurmaktadırlar. Kadın bireylerde toraks çekimi için ISÖR ortalama analiz grafisi (Şekil 3.8) incelendiğinde göğüs kanseri ölüm riski ortalaması 100 000 vaka da 0.151 oranında iken, kadın bireylerde abdomen çekimi için ISÖR ortalama analiz grafisi (Şekil 3.9) incelendiğinde göğüs kanseri ölüm riski ortalaması 100 000 vaka da 0.750 oranındadır. Toraks çekimi demet alan merkezinin göğüslere yakın olması sebebiyle göğüs kanseri ölüm riski oranının abdomen çekimine göre daha yüksek olması beklenen bir sonuç olacaktır. Ancak toraks için belirlenen standart çekim yönünün PA, abdomen için belirlenen standart çekim yönünün AP olması göğüs kanseri ölüm riskini büyük ölçüde düşürdüğü düşünülmektedir. Bu durum, riskli ve hassas organların gereksiz dozlardan korunmasının ve standart çekim parametrelerini belirleme işleminin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

Çalışmamızda kullanılan Monte Carlo simülasyon yöntemi ile yapılan hesaplamalar, ICRP (29) tarafından belirlenen çeşitli organ ve dokuların soğurulan doz ağırlıklı toplamı ile ilişkilidir.

Abrantes ve arkadaşları tarafından Monte Carlo simülasyon programları olan MCNP 4C, CALDose X ve PCXMC algoritmalarını kullanarak simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmamızda ise farklı parametreler eş zamanlı denenilerek hesaplamaların farklılıkları ve benzerlikleri ortaya konulmuştur. Abrantes ve ark.'nın yaptıkları çalışmada da çalışmamızda kullanılan iki simülasyon algoritması kullanılmıştır. Kullanılan iki yöntem üzerine yapılan pek fazla çalışmaya rastlanılmamıştır (43).

Ladia ve arkadaşları tarafından PCXMC programı kullanılarak pediatrik bir çalışma yapılmış ve etkin doz değerleri belirlenmiştir. Çalışmada yüksek doz alan organları bu program ile belirlemişlerdir. Yapılan ölçümler hastalardan alınan doz bilgileri ile kıyaslanmıştır (44)

Çalışmamızda yetişkin gruplarda iki fantom üzerinden yapılan simülasyonlar ile tüm organların soğurdukları dozlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Abrantes ve arkadaşları ve Ladia ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda da, çalışmamızda kullanılan PCXMC ve Caldose X algoritmalarının kullanılması, bu algoritmaların popüler birer simülasyon programı olduklarını ve gerçek hasta uygulamaları ile kıyaslanacak derecede tutarlı olduklarını göstermektedir (43,44).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada standart radyografi prosedürlerinden cranium, toraks, abdomen, pelvis ve toraks+lumbar tetkiklerinin doku ve organlarda soğurulan doz değerleri, etkin doz değerleri ve ışınlama sebepli kanser ve ölüm risk oranları hesaplanmıştır. Değerlerin hesaplanması esnasında Caldose X adlı algoritma için gerçek bir insan anatomisinden elde edilen veriler ile benzetimi yapılan MASH (erkek) ve FASH (kadın) fantomları, PCXMC adlı algoritma için ise gerçek bir insan anatomisinin matematiksel ve geometrik benzetimi ile elde edilen fantom kullanılmıştır.

Caldose X ve PCXMC algoritmalarında hem yetişkin erkek hem de yetişkin kadın bireyler için ayrı ayrı standart radyografi prosedürleri simüle edilmiştir. Cranium için 6 ayrı parametre, toraks için 10 ayrı parametre, abdomen için 6 ayrı parametre pelvis için 6 ayrı parametre toraks+lumbar için 9 ayrı parametre üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan toplam 148 simülasyon sonucunda elde edilen verilerle doku ve organların soğurdıkları dozlar, etkin doz değerleri ve ortalamaları, ışınlama sebepli kanser risk oranları, ışınlama sebepli ölüm risk oranları, farklı cinsiyet ve farklı fantomlar temel alınarak hesaplanmıştır.

Birçok farklı Monte Carlo (MC) kodu ile bu çalışma doğrulanabilir. Ancak bir simülasyonun gerçek ile hiçbir zaman aynı olmayacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle yapılan çalışmalar mutlaka deneysel olarak doğrulanmalıdır. Deneysel ve teorik dozimetrik çalışmalar arasında fark beklenilebilir. MC ile yapılan modellemelerin hepsinde modellemenin doğruluğundan emin olmak için in-vivo dozimetrik ölçümlerle karşılaştırma yapılması gerekmektedir.

Radyasyonun tıpta kullanımının söz konusu olduğu başka alanlarda Monte Carlo (MC) yöntemi ile bu bilgiler ışığında çok daha gelişmiş simülasyonlar yapılabilir.

Gelişen teknoloji ve yazılım faaliyetlerinin sağlık alanında kullanımı ile daha kısa sürede daha verimli sonuçlar ve en az zararın optimizasyonunun kolaylıkla sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşhis ve tedavilerin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için bu çalışmanın uygulama alanlarında kullanılması ile faydalı olacağı kanaatindeyiz.

Sonuç olarak;

- Monte Carlo simülasyon algoritmaları ile organlara ait dozlar hesaplanmıştır.
- İstatistiksel risk analizleri ve yorumları yapılmıştır.
- Bu çalışma ile ülkemizde her iki cinsiyet için erişkinlerde ilk defa farklı fantom ve sabit parametreler ile tüm organlara ait simülasyon verileri elde edilmiştir.
- Yapılan simülasyonlarda kadın ve erkek organlarının doz miktarlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu sebep ile farklı simülasyon ve farklı parametre denemelerinin uygulamalı alanlarda ölçümlenerek teyidinin sağlanması uygulanabilirliğini artıracaktır.
- Hassas doku ve organların soğurdukları doz miktarlarının tetkikin uygulanma yönüyle dâhi büyük ölçüde değiştiği göz önünde bulundurularak, muayene esnasında yalnızca ihtiyaç olan bölge ışınlanmalı, herhangi bir doku veya organın gereksiz ışınlamaya tabi tutulmamasına özen gösterilmelidir.
- Yapılan risk değerlendirmesinde, kadın bireyler için toraks 100 000 vakada sebep olduğu 1.540 akciğer kanseri ölüm riski ve abdomen 100 000 vakada sebep olduğu 0.750 göğüs kanseri ölüm riski ile en tehlikeli muayene alanları olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, erkek bireyler için toraks 100 000 vakada sebep olduğu 0.747 akciğer kanseri ölüm riski ve pelvis 100 000 vakada sebep olduğu 0.469 kolon kanseri ölüm riski ile en tehlikeli muayene alanları olarak belirlenmiştir.
- ICRP tarafından güncellenen veriler doğrultusunda hesaplanan doku ve organ dozları, minimum etki maksimum fayda sağlayacak şekilde tıbbi uygulamalara kılavuz olması açısından büyük önem arz etmektedir.

- Bu çalışmada elde edilen teorik verilerin yorumlanması ve değerlendirilmesi esnasında disiplinler arası iş birliğinin önemi ortaya çıkmıştır. Literatürde çalışma alanı çok yenidir. Bu tür çalışmalardaki paydaşların iş birliği, çalışma alanının gelişmesi açısından hayati öneme sahiptir.

6. KAYNAKLAR

1. Khan FM. *The Physics of Radiation Therapy*, 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2003: 476-480.
2. Rogers DWO. Fifty years of monte carlo simulations for medical physics, *Phys. Med. Biol.*, 2006, 51: R287-R301.
3. Verhaegen F, Malaroda A. GEANT4: a new giant in medical physics. <http://medicalphysicsweb.org/cws/article/opinion/25856>. 18 Şubat 2016.
4. Carrier JF, Archambault L, Beaulieu L, Roy R. Validation of GEANT4, an object-oriented Monte Carlo toolkit for simulations in medical physics. *Med. Phys.*, 2004, 3: 484-492.
5. Toohey RE, Stabin MG, Watson EE. *The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents: Internal Radiation Dosimetry: Principles and Applications*, Radiological Society of North America, 2000: 533-546.
6. Yorulmaz N, Bozkurt A. Nükleer Tıp Uygulamaları İçin Etkin Dozun Görüntüsel Bir Vücut Modeli Ve Monte Carlo Yöntemi İle Hesaplanması, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9 Ekim 2009, 89-95.
7. Pafundi D, Rajon D, Jokisch D, Lee D, Bolch W. An image-based skeletal dosimetry model for the ICRP reference newborn-internal electron sources. *Phys. Med. Biol.*, 2010, 55: 1785-1814.
8. Briesmeister JF. *MCNP-A general Monte Carlo N-particle transport code*, Version 4C. Technical Report No. LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, 2000.
9. Deveci B. GaAs Yarı iletken Bileşiminde Elektron Taşınım Özelliklerinin Monte Carlo Simülasyonu ile İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2015: 71.
10. Demarco JJ, Solberg TD, Smathers JB. A CT-Based Monte Carlo Simulation Tool for Dosimetry Planning and Analysis. *Med. Phys.*, 1997, 25 (1): 0094-2405.
11. Xu XG, Chao TC, Bozkurt A. VIP-Man: An Image Based Whole-Body Adult Male Model Constructed from Color Photographs of the Visible Human Project for Multi-Particle Monte Carlo Calculations. *Health Phys.*, 2000, 78(5): 476-486.
12. Schneider U, Agosteo S, Pedroni E, Besserer J. Secondary neutron dose during proton therapy using spot scanning. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 2002, 53(1): 244-251.

13. Wang B, Goldstein M, Xu XG, Sahoo N. Adjoint Monte Carlo for Prostate External Photon Beam Treatment Planning: An Application to 3D Patient Anatomy. *Phys. Med. Biol.*, 2005, 50: 923-935.
14. Sisterson J. Ion beam therapy in 2004, *Nucl. Instrum. Methods*, 2005, 241(1): 713-716.
15. Polf JC, Newhauser WD, Titt U. Patient neutron dose equivalent exposures outside of the proton therapy treatment field, *Radiat. Prot. Dosim.*, 2005, 115: 154-158.
16. Balos Y, Timurtürkan EB, Yorulmaz N, Bozkurt A. Topraktaki Radyonüklitler için Doz Dönüşüm Katsayılarının Monte Carlo Yöntemi İle Hesaplanması. *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9 Ekim 2009, 129-135.
17. Tartar A, Cengiz A, Yaşar D, Uzun E, Türer A. Klinik Lineer Hızlandırıcıların Su Fantomundaki Doz Dağılımlarının Monte Carlo Yöntemi İle Elde Edilmesi, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9 Ekim 2009, 168-174.
18. Chen W, Kolditz D, Beister M, Bohle R, Kalender WA. Fast on-site Monte Carlo tool for dose calculations in CT applications. *Medical physics*, 2012, 39(6), 2985-2996.
19. Long DJ, Lee C, Tien C, Fisher R, Hoerner MR, Hintenlang D, Bolch WE. Monte Carlo simulations of adult and pediatric computed tomography exams: validation studies of organ doses with physical phantoms. *Medical physics*, 2013, 40(1): 013901.
20. Aydın B, Aydın MM. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Cu Termolüminesans Dedektörün Farklı Enerjilerdeki Fotonlara Karşı Dedektör Cevap Fonksiyonunun Monte Carlo Yöntemiyle İncelenmesi. *Suleyman Demirel University Journal of Science*, 2014, 9(2).
21. Beiser L. Fundamental architecture of optical scanning systems. *Applied optics*, 1995, 34(31): 7307-7317.
22. Şahin Y. *Çekirdek Fiziğinin Esasları*. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1999.
23. Özden N. *Radyoaktivite ve Radyasyon*, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Yayınları, İstanbul, 1977.
24. Semend F, Schaupp D, Czerwinski H, Schumacher M. Large angle Rayleigh Scattering of Lineary Polarized, Hard Synchrotron X-Rays by Kr and Xe, *Phys. Rev. A*, 1987, 36: 5189-5199.

25. Çevik U, Baltaş H. Measurement of the Mass Attenuation Coefficients and Electron Densities for BiPbSrCaCuO Super Conductor at Different Energies, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2007, 256: 619-625.
26. Bransden BH, Joachain CJ. *Atom ve Molekül Fiziği*, Çeviri: Köksal F, Gümüş H. 2. Baskı, Ankara, Bilim Yayıncılık, 1999.
27. Siegbahn K. *Alpha-Beta and Gamma-Ray Spectrometry*, North-Holland Publishing Company, Netherlands, 1974.
28. Çevik U. Doğu Karadeniz Dip Tortularının X-ışını Floresans Yöntemiyle Belirlenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.T.Ü., Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1994.
29. ICRP publication 103, The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. Oxford, UK, Elsevier, 2007.
30. Yaşar D. Diagnostik Radyoloji ve Nükleer Tıpta Ulusal Referans Doz Düzeyleri. *XIV Ulusal Medikal Fizik Kongresi*, 21-24 Kasım 2013.
31. Robert CP, Casella G. Monte Carlo Statistical Methods, *Springer*, 1999.
32. Chetty IJ, Curran B, Cygler JE, DeMarco JJ, Ezzell G, Faddegon BA, Ma CMC. Report of the AAPM Task Group No. 105: Issues associated with clinical implementation of Monte Carlo-based photon and electron external beam treatment planning. *Med. Phys.*, 2007, 34(12): 4818-4853.
33. Tamimi MM. Development of a Forward/Adjoint Hybrid Monte Carlo Absorbed Dose Calculational Method for Use in Radiation Therapy. *Trace: Tennessee Research and Creative Exchange*, PhD diss., University of Tennessee, 2014: 149.
34. Yuan J, Jette D, Chen W. Deterministic photon kerma distribution based on the Boltzmann equation for external beam radiation therapy. *Med. Phys.* 2008, 35: 4079-4086.
35. Vassiliev ON, Wareing T, Davis I, McGhee J ve ark. Feasibility of a multigroup deterministic solution method for three-dimensional radiotherapy dose calculations. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 2008, 72: 220-227.
36. Enger SA. Dosimetry Studies of Different Radiotherapy Applications using Monte Carlo Radiation Transport Calculations, Ph.D. Thesis, Uppsala University, 2008.
37. Giani S. Physics Simulation Software Foundations, Methodology and Functionality, In: Lemoigne Y, Caner A, ed. *Molecular Imaging: Computer Reconstruction and Practice*, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on 71 Molecular Imaging from Physical Principles to Computer Reconstruction and Practice, Archamps, France, November 9-21, 2006, Springer, 2008: 19-38.

38. Bielajew A. *The Monte Carlo Simulation of Radiation Transport*, In: Mayles P, Nahum A, Rosenwald JC. ed. *Handbook of Radiotherapy Physics: theory and practice*, Taylor & Francis, 2007: 75-89.
39. Fippel M. *Monte Carlo Dose Calculation for Treatment Planning*, In: Schlegel W, Bortfeld T, Grosu AL, editors. *New Technologies in Radiation Oncology*, Heidelberg: Springer, 2006: 197-206.
40. Cristy M, Eckerman KF. *Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources*, part I: Methods. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM -8381 V1-V7, 1987.
41. Caon M. Voxel-Based Computational Models of Real Human Anatomy: A Review *Radiat. Environ. Biophys.*, 2004, 42: 229-235.
42. ICRU REPORT 48, *Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection*. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, USA, 1992.
43. Blaszkak MA, Juszkat R. Monte Carlo Simulations for Assessment of Organ Radiation Doses and Cancer Risk in Patients Undergoing Abdominal Stent-graft Implantation. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2014, 48(1): 23-28.
44. Abrantes MES, Yoriyaz H, Oliveira AH. Comparison Between The Results Of Absorbed Doses In Organs By Computer Programs Mcnp 4c, Caldose X And Pcxmc In Patients Submitted In Diagnostic Radiology Exams, 2014.
45. Ladia A, Messaris G, Delis H, Panayiotakis G. Organ dose and risk assessment in paediatric radiography using the PCXMC 2.0. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 637, No. 1, p. 012014, IOP Publishing, 2015.

7. EKLER

Ek-1. Özgeçmiş Formu

“KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı	: Yavuz EROL
Doğum tarihi	: 01.07.1989
Doğum yeri	: Nevşehir
Medeni hali	: Bekar
Uyruğu	: T.C.
Adres	: Açıksaray Mah. Neşe Sk. No:22/1 Gülşehir/Nevşehir
Tel	: +90 553 606 40 80
E-mail	: dyavuzerol@gmail.com
EĞİTİM	
Lise	: Gülşehir Lisesi
Lisans	: Ahi Evran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek lisans	: Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Radyoloji Anabilim Dalı Sağlık Fiziği Programı
YABANCI DİL BİLGİSİ	
İngilizce	: E (KPDS-2012)
ÜYE OLUNAN MESLEKİ KURULUŞLAR	
Medikal Fizik Derneği	