

Pozitron Emisyon Tomografi – Bilgisayar Tomografi (PET - BT) Uygulamalarında Hastanın Aldığı Radyasyon Dozunun Belirlenmesi

Turan ŞAHMARAN *¹  Mehmet BAYBURT ² 

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Kırıkhan Meslek Yüksekokulu, 31060, Hatay, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, 35030, İzmir, Türkiye

(İlk Gönderim / Received: 13. 02. 2020, Kabul / Accepted: 20. 07.2020, Online Yayın / Published Online: 27. 07. 2020)

Anahtar Kelimeler:

PET-BT,
Radyasyon dozu
TLD

Özet: Bu çalışmada PET-BT çekimi esnasında hastaların maruz kaldığı radyasyon dozu, Termolüminesans Dozimetre ile ölçülerek, bu doz sonuçlarının uluslararası komiteler tarafından tavsiye edilen doz değerleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, Termolüminesans Dozimetre içerisindeki mevcut enerji tuzaklarının tamamen boşaltılması için, Termolüminesans Dozimetrelerin kalibrasyon işlemi yapılmıştır. İkinci aşamada, çekim boyunca hastaların soğurduğu dozu ölçmek için, baş, boyun, kalp ve mesane bölgelerine dozimetreler yerleştirilerek ışınlanmıştır. Işınlanan dozimetreler, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde bulunan lüminesans laboratuvarında okunmuştur. Elde edilen sonuçlar uluslararası komisyon ve komiteler olan ICRP, Nureg/CR ve MIRD raporlarındaki değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçümlerin tavsiye edilen değerler ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Determination Of The Radiation Dose Received By The Patient During Positron Emission Tomography – Computed Tomography (PET - CT) Procedures

Keywords:

PET-CT
Radiation dose
TLD

Abstract: In this study, the radiation dose that patients are exposed to during PET-CT procedure is measured with the Thermoluminescence Dosimeter and it is aimed to compare these dose results with the dose values recommended by international committees. The study was carried out in two stages. In the first stage, the Thermoluminescence Dosimeters were calibrated to completely empty the existing energy traps in the Thermoluminescence Dosimeter. In the second stage, dosimeters were irradiated by placing dosimeters in the head, neck, heart and bladder areas to measure the dose absorbed by the patients during the shooting. Irradiated dosimeters were read in the luminescence laboratory at Ege University Institute of Nuclear Sciences. The results are compared with the values in the international commissions and committees, ICRP, Nureg / CR and MIRD reports. It was observed that the measurements made were in agreement with the recommended values.

1. GİRİŞ

Bir yenilenebilir enerji kaynağı türü olan biyokütle enerjisi; bitki, hayvan ve onların atıklarından ortaya çıkmaktadır (Çek, 2013; Çek, 2016). Biyokütle enerjisinin ana unsuru olan biyokütleyi oluşturan organik malzemelerin sahip oldukları kimyasal enerji vardır. Mikrobiyal yakıt PET-BT; Pozitron Emisyon Tomografi ve Bilgisayarlı Tomografi

cihazlarının birleşmesi ile oluşan hibrid bir görüntüleme yöntemidir. Dünya çapında kurulu 5000'den fazla PET-BT sistemi ile en hızlı büyüyen tıbbi görüntüleme yöntemlerinden biridir (Beyer et al., 2011). Görüntüleme prensibi, coulomb etkileşmeleriyle yavaşlayan bir pozitron, ortamdaki elektronlardan bir tanesi ile birleşerek elektron çifti yok olurken her biri 0.511 MeV enerjili iki foton meydana getirir ve

*İlgili yazar: tsahmaran@gmail.com

bu fotonların eş zamanlı olarak dedekte edilmesi sonucunda görüntüleme olayı meydana gelir (Delbeke, 1999; Brix et al., 2005).

PET, verilen radyofarmasötik ile vücudun fonksiyonu hakkında bilgi toplarken, BT vücuttaki normal ve patolojik dokuların anatomik detayını vermektedir (Huang et al., 2009; Brix et al., 2005). Klinik endikasyonu olan kanserlerin tanısında, evrelenmesinde, yeniden evrelenmesinde ve tedavi sonrası değişiklikleri görmek amacıyla kullanılır. Bu amaçla yapılan çekimlerde, genelde beyinden pelvis bitimine kadar vücut bölümü çekime dâhil edilir (Savaş, 2010). PET-BT'nin tüm vücut uygulaması yapılan onkolojik endikasyonlar dışında, iki özel uygulama alanı daha vardır. Bunlar beyin ve kalptir. Bu iki organın değerlendirilmesinde sadece bu bölgeler çekilir, vücudun diğer alanları çekime alınmaz (Krause et al., 2007; Brady et al., 2008). Modern görüntüleme tekniklerinin amacı, vücuda hiç bir hasar vermeden ya da mümkün olan en az zararı vererek en detaylı görüntüleri elde etmektir (Hain, 2005).

PET-BT çekimlerinde en sık kullanılan radyofarmasötik Florodeoksiglukoz (F-18 FDG)'dur. Yüksek radyoaktif içeriğe sahip olan FDG, hastaya enjekte edildikten sonra mesanede birikir. Ve bu da mesane ve zarının radyasyon dozunun artmasına neden olur (Guillet, 2005).

PET-BT daha sık kullanılan bir yöntem haline geldiğinde, hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunun ve bu dozun standartlara uygunluğunun belirlenmesi kaçınılmazdır (Townsend, 2008; Climent and Penuelas, 2001). Üç farklı PET-BT protokolünde, efektif dozların kadın hastalar için 13.45 - 31.91 mSv, erkek hastalar için 13.65 - 32.18 mSv arasında olduğu bildirilmiştir (Huang et al., 2009).

Bu çalışmada PET-BT çekimi esnasında hastaların maruz kaldığı radyasyon dozu Termoluminesans Dozimetre (TLD) ile ölçülerek, bu doz sonuçlarının uluslararası komiteler olan MIRD (Medical Internal Radiation Dose Committee), Nureg/CR-6345 (Radiation Dose Estimates for Radiopharmaceuticals) ve ICRP-53

(International Commission on Radiological Protection) tarafından tavsiye edilen doz değerleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Deneyisel çalışmalar, İzmir Ege-Rad Görüntüleme Merkezi, Nükleer Tıp Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan PET-BT cihazı PHILIPS GEMINI GXL (USA) tam halka tipi cihazdır. Cihazın özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PHILIPS GEMINI GXL cihazının özellikleri

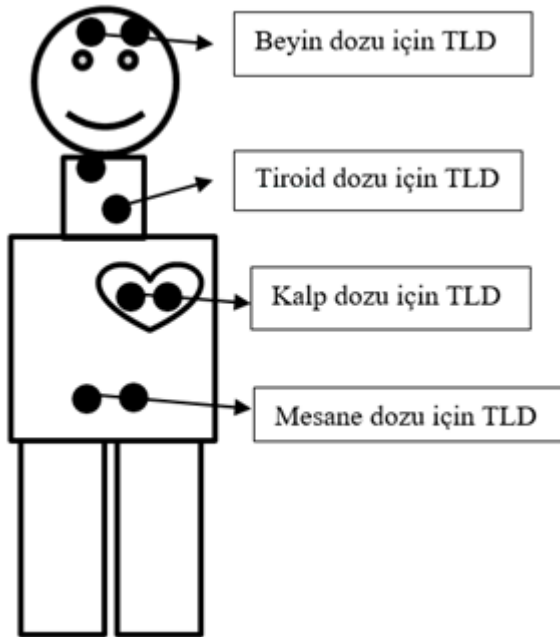
Maksimum Hasta Ağırlığı	195 kg (430 lbs)
Hasta Girişi	PET ve BT için 70 cm
PET-BT tarama aralığı	190 cm
PET kristal malzemesi	GSO
PET kristal ölçütleri	4 × 6 × 30 mm
PET hassasiyeti (merkez)	7700 cps/MBq (NEMA)*
PET enine uzaysal çözünürlük (1cm)	5,3 mm (NEMA)
BT konfigürasyon	16-kesitli
BT tüp	MRC 8,0 MHU anot depolama kapasitesine sahip

*NEMA: The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers

Doz ölçümü için TLD kullanılmıştır. Bu TLD'ler küçük çipler halinde olup çapları 4.8 mm, kalınlıkları ise 0.9 mm mertebesinde, Lityum Florür (LiF) dozimetrelerdir. Kullanılan bu dozimetreler, 1 Gray'e (Gy) kadar doğrusal doz cevabı göstermeleri, yüksek hassasiyete sahip ve yaklaşık olarak doku eşdeğeri olmalarından dolayı, en çok tercih edilen radyasyon dozimetreleridir. 30 keV ile 1 MeV arasında radyasyona verdiği cevap farkı %1.25 ve oda sıcaklığında dozimetri piklerinde görülen azalma yılda yaklaşık %5'dir (Bilski, 2002).

Çalışmada Harshaw TLD 3500 model TLD okuyucusu kullanılmıştır. Hasta üzerinde ışınlanan TLD'ler aynı gün içerisinde Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde bulunan TLD okuyucusunda okunarak elde edilen değerler kaydedilmiştir. Gönüllü hasta üzerinde çalışmak zor olduğundan sadece 4 hasta ile çalışma yapılabilmektedir. PET-BT

çekiminden önce gönüllü hastaların baş, boyun, kalp ve mesane bölgelerine özel olarak hazırlanmış toplam 8 adet LiF termolüminasans dozimetre yerleştirilmiştir. Her bir organ için iki adet dozimetre kullanılmıştır. Aynı organ için kullanılan iki dozimetrede de çıkan değerler karşılaştırılarak dozimetrelerin sağlaması yapılmıştır. PET-BT çekimleri için 4 tane patolojik olarak birbirine benzer hastaya rutin uygulama bağlamında 12 mCi (444 MBq) F-18 FDG uygulanmıştır. Dozimetreler enjeksiyondan çekim bitimine kadar hastaların vücudunda bırakılmıştır. Çekim bittikten sonra dozimetreler hastalardan alınarak doz okuması yapılmak üzere Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsüne götürülmüştür. Şekil 1’de hastalara yerleştirilen TLD’lerin temsili resmi görülmektedir.



Şekil 1. Hastalara yerleştirilen TLD konumları

3. BULGULAR

PET-BT çekimi yaptıran 4 hasta için beyin, tiroid, kalp ve mesane dozlarına ilişkin olarak doz sonuçları ve ortalamaları tablo 2’de verilmiştir. Buna göre hastanın her bir bölgesine ikişer tane TLD konularak çıkan değerlerin ortalaması tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 3’de beyin, tiroid, kalp ve mesane dozlarının

uluslararası sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3’e göre; Beyin dozu MIRD hesaplamalarında 0.046, Nureg/CR-6345 raporunda 0.019, ICRP-53 raporunda ise 0.026 mGy MBq⁻¹ iken bu çalışmada beyin dozu 0.027 mGy MBq⁻¹ olarak ölçülmüştür.

Tiroid dozu, MIRD hesaplamalarında 0.021 mGy MBq⁻¹, Nureg/CR-6345 raporunda 0.010 mGy MBq⁻¹, ICRP-53 raporunda ise 0.0097 mGy MBq⁻¹ iken bu çalışmada tiroid dozu 0.019 mGy MBq⁻¹ olarak ölçülmüştür.

Kalp dozu MIRD hesaplamalarında 0.068 mGy MBq⁻¹, Nureg/CR-6345 raporunda 0.060 mGy MBq⁻¹, ICRP-53 raporunda ise 0.065 mGy MBq⁻¹, iken bu çalışmada kalp dozu 0.045 mGy MBq⁻¹ olarak ölçülmüştür.

Mesane dozu MIRD hesaplamalarında 0.073 mGy MBq⁻¹, Nureg/CR-6345 raporunda 0.19 mGy MBq⁻¹, ICRP-53 raporunda ise 0.17 mGy MBq⁻¹, iken bu çalışmada mesane dozu 0.060 mGy MBq⁻¹ olarak ölçülmüştür.

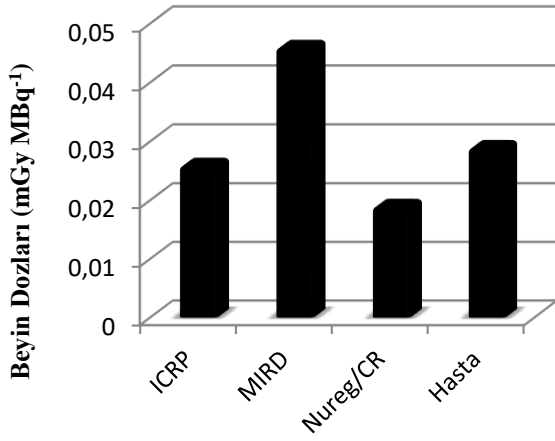
Şekil 2’de beyin, şekil 3’de tiroid, şekil 4’de kalp ve şekil 5’de mesane dozu için alınan TLD sonuçlarının ICRP, MIRD ve Nureg/CR ile karşılaştırılması sırasıyla verilmiştir.

Tablo 2. Beyin, tiroid, kalp ve mesane üzerinden, TLD ile alınan sonuçlar

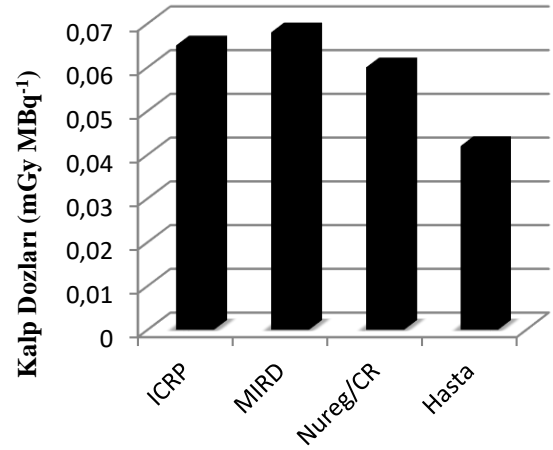
Hasta No	Beyin Dozu (mGy)	Tiroid Dozu (mGy)	Kalp Dozu (mGy)	Mesane Dozu (mGy)
1	16.97	9.06	16.54	21.84
2	20.36	8.70	16.79	23.19
3	7.57	7.62	18.51	36.65
4	4.18	9.16	28.23	24.03
Ortalama	12.27	8.63	20.01	26.42

Tablo 3. Beyin, tiroid, kalp ve mesane dozlarının uluslararası sonuçlarla karşılaştırılması

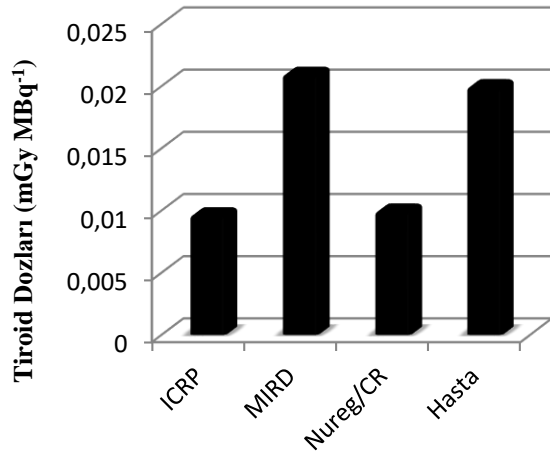
Doz (mGy/MBq)	ICRP	MIRD	Nureg/CR	Hasta
Çalışma				
Beyin Dozu	0.026	0.046	0.019	0.027
Tiroid Dozu	0.0097	0.021	0.010	0.019
Kalp Dozu	0.065	0.068	0.060	0.045
Mesane Dozu	0.17	0.073	0.19	0.060



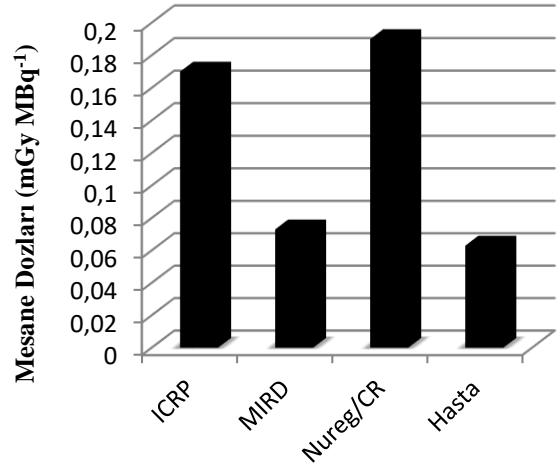
Şekil 2. Beyin dozu için alınan TLD sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4. Kalp dozu için alınan TLD sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3. Tiroid dozu için alınan TLD sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5. Mesane dozu için alınan TLD sonuçlarının karşılaştırılması

4. TARTIŞMA

Nükleer tıpta iyonlaştırıcı radyasyonun artan kullanımı, kanserin herhangi bir eşik değerinin olmaması ve radyasyonun geç etkileri göz önünü alındığında hasta (absorbe edilen) doz tahminleri daha büyük önem kazanmaktadır (18,19). PET-BT işlemlerinde mevcut uygulama, hastaya standart doz protokolü veya hastanın kilosuna göre doz protokolü şeklindedir.

PET-BT tesislerinin sadece %44'ünde hasta ağırlığı göz önüne alınarak radyoaktivite doz enjeksiyonu kullanıldığı bildirilmiştir (Beyer et al., 2011). De Groot et al. (2013) enjekte edilen FDG dozunun hem vücut ağırlığına hem de boyuna ayarlanması gerektiğini belirtmiştir. Bu durum, diğer PET-BT tesislerinde, hastalara uygulanan radyasyon dozunu optimize etmek için ağırlık bazlı radyoaktivite doz enjeksiyonunun uygulanması gerektiğini gösterir. PET-BT cihazında üç

boyutlu doz toplama modu göz önüne alındığında, uygulanan aktivite görüntü kalitesini etkilemeden azaltılabilir. Standart bir yetişkin hasta için (75 kg), Avrupa Nükleer Tıp Derneği, iki boyutlu mod için 380 MBq ve üç boyutlu mod için 190 MBq kullanılmasını önermektedir (Boellaard et al., 2015).

Yeni ticari PET-BT cihazları, şişman hastalardan gelen zayıf sinyallerin üstesinden gelmeye yardımcı olabilecek uçuş süresi (TOF) teknolojisi sunmaktadır. TOF, iki anihilasyon fotonunun tespiti arasındaki gerçek zaman farkını doğru bir şekilde ölçer ve bu gelişmiş görüntü kontrastı ve daha yüksek hassasiyet sağlar. El Fakhri et al. (2011), TOF'un enjekte edilen dozu ve dolayısıyla hastaların ve çalışanların radyasyona maruz kalmasını azalttığını bildirmiştir. Etard et al. (2012), yeni TOF teknolojisinin, görüntü kalitesini korurken ortalama spesifik aktiviteyi yaklaşık %20 oranında (4.3 MBq kg⁻¹'den 3.5 MBq kg⁻¹'e kadar) azaltabileceğini bildirmiştir.

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışma sonucunda hastalar arasında en düşük doz değerlerinin tiroitte, en yüksek doz değerinin ise mesanede olduğu görülmüştür. Nükleer tıp çekimlerinde kullanılan çoğu radyofarmasötik, üriner yoldan atılır. Dolayısıyla mesanede doz değerinin diğer organ bölgelerine göre yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Hastalar arasındaki doz sonuçlarının değişkenlik göstermesi hastaların boyuna, kilosuna, yaşına, vücudunun metabolik durumuna ve hastalık durumuna bağlı olarak değişebilmektedir. Çekim boyunca hastalardan elde edilen ortalama doz değerlerinin uluslararası kuruluşların tavsiye ettiği doz sınırları içerisinde olduğu yapılan bu çalışma ile gösterilmiştir.

Çalışmanın kısıtlaması:

Çalışmada ölçüm alınacak hastanın katılımı gönüllük esasına dayalı olduğundan, hastaya yerleştirilen TLD'lerin, zararsız olduğu belirtilse de, hastaya zarar vereceği ve dozunu arttıracığı düşüncesi oluşturduğundan,

çalışmaya katılmayı kabul eden hasta sayısı azdır.

KAYNAKLAR

- Beyer T., Czernin J., Freudenberg L. S. (2011). Variations in clinical PET/CT operations: results of an international survey of active PET/CT users. *Journal of Nuclear Medicine*, 52, 303–310.
- Bilski P. (2002). Lithium Fluoride: From LiF:Mg,Ti to LiF:Mg,Cu,P. *Radiation Protection Dosimetry*, 199-206.
- Boellaard R., Delgado-Bolton R., Oyen J. G., Giammarile F., Tatsch K., Eschner W., Verzijlbergen F. J., Barrington S. F., Pike L.C., Weber W.A., Stroobants S., Delbeke D., Donohoe K. J., Holbrook S., Graham M. M., Testanera G., Hoekstra O. S., Zijlstra J., Visser E., Hoekstra C. J., Pruim J., Willemsen A., Arends B., Kotzerke J., Bockisch A., Beyer T., Chiti A., Bernd J. Krause B. J. (2015). FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 2.0. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 37, 181–200.
- Brady Z., Taylor M. L., Haynes M., Whitaker M., Mullen A., Clews L., Partridge M., Hicks R. J., Trapp J.V. (2008). The clinical application of PET/CT: a contemporary review. *Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 31, 90-109.
- Brix G., Lechel U., Glatting G., Ziegler S. I., Münzing W., Muller S. P. Beyer T. (2005). Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole- Body Dual-Modality 18F-FDG/CT Examinations. *Journal of Nuclear Medicine*, 46, 608-613.
- Climent J. M. M., Penuelas I. (2001). Occupational Dosimetry in a Pet Center Due To Radionuclide Production And Medical Use. University of Navarra, Pamplona Spain, https://www.eualara.net/images/stories/pdf/program6/Session%20D/J_Marti.pdf, (15.06.2020).
- Delbeke D. (1999). Oncological application of FDG PET imaging. *Journal of Nuclear Medicine*, 1706-15.
- De Groot E. H., Post N., Boellaard R., Wagenaar N. R. L., Willemsen A. T. M., Van Dalen, J. A. (2013). Optimized Dose Regimen for Whole-Body FDG-PET Imaging. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*

- Research, 63, 1-11.
<https://doi.org/10.1186/2191-219X-3-63>.
- Etard C., Celier D., Roch P., Aubert B. (2012). National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France in 2011. *Radiation Protection Dosimetry*, 152, 334–338. doi: 10.1093/rpd/ncs066.
- El Fakhri G, Surti S, Trott C. M, Scheuermann J, Karp J. S. (2011). Improvement in lesion detection with whole-body oncologic time-of-flight PET. *Journal of Nuclear Medicine*, 52, 347-53. doi: 10.2967/jnumed.110.080382.
- Guillet B., Quentin P., Waultier S., Bourrelly M., Pisano P., Mundler O. (2005). Technologist radiation exposure in routine clinical practice with 18F-FDG PET. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 33, 175- 179.
- Hain S. F. (2005). Positron Emission Tomography in Cancer of The Head And Neck. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43, 1-6.
- Huang B, Law M.W, Khong P. L. (2009). Whole-body PET/CT scanning: estimation of radiation dose and cancer risk. *Radiology*, 251,166-74.
- ICRP 53. (2001). Addendum 5, 6 and 7 Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals ICRP-53 Interim report, October.
- Krause B. J., Beyer T., Bockisch A., Delbeke D., Kotzerke J., Minkov V., Raiser M., Willich N. (2007). FDG-PET/CT in oncology. *Nuklearmedizin*, 291-301.
- MIRD Committee. (2002). MIRD Dose Estimate Report No. 19: Radiation Absorbed Dose Estimates from 18F-FDG. *Journal of Nuclear Medicine*, 210-214.
- Nureg/CR-6345. (1992). Radiation Dose Estimates for Radiopharmaceuticals.
- Savaş R. (2010). PET/BT nedir, endikasyonları nelerdir? Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Özel Sağlık Hastanesi,İzmir.http://www.klinikgelisim.org.tr/kg23_2/8.pdf ,(15.06.2020).
- Townsend D. W. (2008). Positron Emission Tomography/Computed Tomography. *Seminars in Nuclear Medicine*, 38, 152-166. doi:10.1053/j.semnuclmed.2008.01.003.J.M.M.