

Doz Kalibratörlerinin Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması

M. Özkırlı* D. Bor* N. Meriç** N. Büget*** H. Bayhan****

* TAEK

** AÜFF Fizik Bölümü

*** AÜFF Fizik Mühendisliği Bölümü

**** GATA Nükleer Tıp ABD

Bu çalışmada ülkemizde bulunan bir çok Nükleer Tıp merkezindeki doz kalibratörlerinin kalite kontrol ölçümleri yapılmıştır. Cs-137, Ba-133, Co-60 ve Co-57 standart kaynakları kullanılarak her sistemin birbirini izleyen aktivite okumalarındaki "kesinlik" ve farklı izotoplara ait mutlak aktivite ölçümlerindeki "doğruluklar" saptanmıştır. Kalibratörlerin düşük ve yüksek aktivitelereki davranışları ise "doğrusallık" testleri ile belirlenmiştir. Kesinlik testlerinde tüm sistemler hatasız bulunurken doğruluk ölçümlerinin cihazların %20 sinde kabul sınırları dışında olduğu gözlenmiş, kalibrasyonu "azalım yöntemi" ile yapılan farklı kalınlıklardaki kurşun soğurucuların kullanıldığı "doğrusallık" testinde ise çalışan tüm sistemlerin hata sınırları içinde kaldığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Doz Kalibratörü, Kesinlik, Doğruluk, Doğrusallık, Aktivite, Kurşun Soğurucu, Standart Kaynak

TJNM 4 (3-4) : 143-148, 1995

GİRİŞ

Radyoaktif maddelerin aktivite ölçümlerinde kullanılan doz kalibratörleri kuyu şeklinde tasarlanmış iyon odalıdır. Bu odalar, gelen radyasyonun meydana getirdiği iyonizasyon sonucu oluşan akımı işleyerek kaynak aktivitesinin Curie (Ci) veya Becquerel (Bq) olarak okunmasını sağlar. Ancak, iyon odalarının farklı tür ve enerjideki radyasyonlara karşı davranışları aynı değildir. Bu nedenle iyon akımını oluşturan voltajda bazı düzeltmeler yapılarak farklı izotopların ayırt edilebilmeleri sağlanır. Bunun için cihazın yapımı sırasında klinik uygulamalarda kullanılan izotoplarla aynı özellikte olan standart kaynaklardan yararlanır. Nükleer Tıp uygulamalarında hasta sağlığı açısından hatasız çalışması istenen doz ka-

libratörlerinin aktiviteleri doğrulukla ölçülebilmesi, seçilen kaynaklarla gerçekleştirilen kalibrasyona bağlıdır.

Uluslararası Kuruluşlara göre doz kalibratörlerinin kalite kontrol testleri için aletin kurulması sırasında yapılan "geometri testi" dışında bazı standart ölçümlerin yapılması gerekmektedir (1, 2). Ortalama ömrü yeterince uzun olan standart kaynaklarla gerçekleştirilen bu ölçümler, kararlılık, kesinlik, doğruluk ve doğrusallık testleridir.

Kararlılık testinde, her gün çalışma öncesinde (background) ve standart kaynak okumaları yapılarak birbirini izleyen ölçümlerdeki kararlılık saptanır. Bu amaçla, standart bir kaynak Tc-99m konumunda ölçülerek sonuçların ortalama değerden sampsının \pm %5 sınırları içinde kalmasına çalışılır.

Diğer önemli iki testi ise, yine uzun ömürlü standart kaynaklarla yapılan "kesinlik" ve "doğruluk"

Yazışma Adresi :

M. Özkırlı
TAEK, ANKARA

ölçümleridir. Kesinlik (K) ve doğruluk (D), yüzde olarak sırasıyla

$$\% K = \frac{100 (A_i - \bar{A})}{\bar{A}} \quad 1$$

ve

$$\% D = \frac{100 (\bar{A} - C)}{C} \quad 2$$

olarak tanımlanır. Burada A_i , i . inci ölçümde bulunan aktivite, \bar{A} , aktivitelerin ortalama değeri, C ise kaynağın lisans aktivitesidir. Her ay tekrarlanması gereken bu testlerin kabul sınırları ise sırasıyla $\pm \% 5$ ve $\pm \% 10$ olarak verilmektedir.

Doz kalibratörlerinin tepkisinin gerçekten lineer olup olmadığını saptamak için her üç ayda bir belli bir aktivite bölgesinde "doğrusallık testi" yapılmalıdır. Bu test için önerilen kaynak Tc-99m, en düşük ve en yüksek aktivite değerleri $\sim 10 \mu\text{Ci}$ (37 kBq) ile kullanılan en yüksek hasta dozudur, kabul edilebilir hata ise $\pm \% 5$ dir.

Doz kalibratörlerinin doğrusallığını saptamak için çeşitli yöntemler vardır. Bunlar arasında en iyi sonuç alınanlardan biri "azalım yöntemi" dir (3). Bu yöntemde bir Tc-99m kaynağı kullanılan en yüksek ve en düşük değerleri arasında, aktivite ölçümleri yapılarak yarı logaritmik olarak aktivite-zaman grafiği çizilir ve her ölçüm noktasının "en küçük kareler analizi" ile elde edilen doğrudan sapmaları belirlenir. Doz kalibratörlerinin tepkisinin doğrusal olması için en büyük sapmanın $\pm \% 5$ sınırları içinde kalması gerekmektedir.

Doğrusallık testi için yukarıda belirtilen yöntem, yarılanma süresi 6.01 saat olan Tc-99m ile en az üç gün sayma gerektirdiğinden pratik değildir. Bunun yerine değişik kalınlıklardaki soğurucu kurşun tüplerin kullanımına dayanan ve çok daha hızlı sonuç veren "soğurma yöntemi" nden yararlanılır (4-7). Ancak bu yöntemde, kurşun tüplerin doğrusallık testinde kullanılmadan önce kalibre edilmeleri gerekmektedir. Bunun için önce standart bir doz kalibratörünün "azalım yöntemi" ile doğrusallık testi yapılır.

Belirli bir x kalınlığından geçen fotonların soğurulması;

$$A(x) = A_0 e^{-\mu x} \quad 3$$

bağıntısı ile verilmektedir. Diğer yandan radyoaktivite bozunum kanununda (4) numaralı ifade ile verildiğinden,

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad 4$$

3 ve 4 numaralı bağıntılar kullanılarak her kalınlık için geçen zaman açısından bir azalım faktörü eşdeğer olarak tanımlanabilir;

$$\lambda t = \mu x \equiv \text{Kalibrasyon Faktörü (A.K)}$$

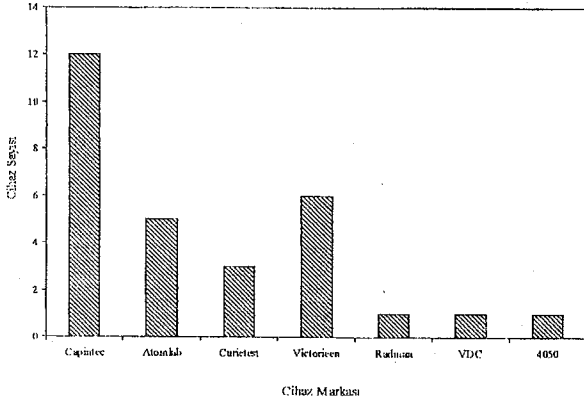
Burada μ doğrusal azalım katsayısı, λ ise kaynağın bozunum sabitidir. Aktivitenin zamanla azalımı ile standart doz kalibratörünün doğrusallık testi bir defa yapıldıktan sonra kurşun tüplerin kalibrasyonu yardımıyla ölçüler 2-3 gün yerine 5 dakika gibi kısa bir sürede tamamlanır.

Ülkemizde çok hızlı bir gelişme gösteren nükleer tıp merkezlerinde farklı firmalara ait bir çok doz kalibratörü kullanılmakta ancak standart kaynak eksikliği nedeniyle çoğunda kalite kontrol testleri yapılamamaktadır. İlk defa gerçekleştirilen bu çalışmada resmi ve özel nükleer tıp merkezlerinde bulunan bir çok doz kalibratörünün kesinlik doğruluk ve doğrusallık testleri yapılmış ve uluslararası kabul sınırları içinde çalışanlar belirlenmiştir.

YÖNTEM

Ölçümlerde, firmalara göre dağılımları Şekil-1 de verilen ve yaklaşık $\%50$ si 10 yaşın üstünde olan 29 tane sistem kullanılmıştır.

Çizelge 1 de verilen standart kaynaklarla gerçekleştirilen kesinlik ve doğruluk testlerinde her kaynak 10 kez sayılmış ve background çıkarımı yapıldıktan sonra, 1 ve 2 bağıntıları yardımıyla yüzde değerler elde edilmiştir. Günlük olarak alınması gereken kararlılık ölçüleri ise, sınırlı zaman nedeniyle gerçekleştirilememiştir.



Şekil 1. Cihazların Firmalara Göre Dağılımı.

Çizelge 1

Radyoizotop	Foton Enerjisi (keV)	Yarı Ömür (Yıl)	Aktivite (MBq)	Aktivite (µCi)
Co-57	122	0.7441	185	5000
Ba-133	81.356	10.52	10.07	272.2
Cs-137	662	30.1	3.65	98.6
Co-60	1173,1332	5.2714	4.12	111.4

Soğurma yönteminin kullanıldığı doğrusallık testi için, aynı yükseklikte, iç içe geçebilen ve böylece değişik kalınlıklar elde edilebilen dört tane kurşun soğurucu tüp imal edilmiştir. Kalınlıkları 0.45-, 0.65-, 1.00-, ve 1.58- mm olan bu tüplerin kalibrasyonu Ankara Gülhane Askeri Tıp Akademisi (GATA) Nükleer Tıp laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

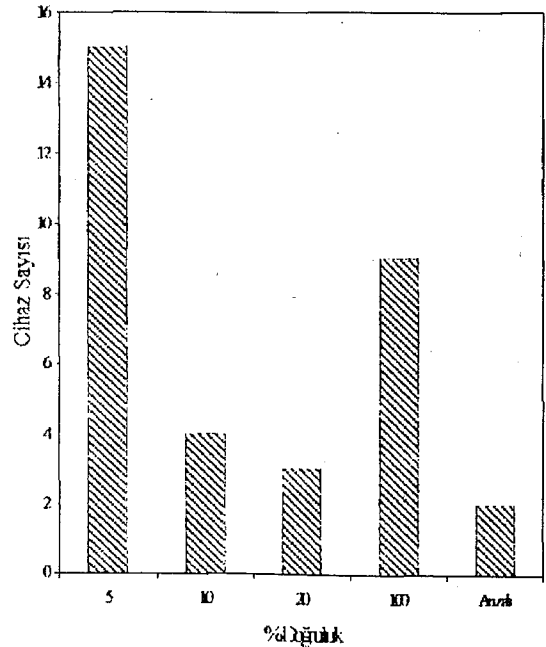
Tüp sisteminin kalibrasyon ölçümlerinde referans olarak kullanılan doz kalibratörünün önce "azalım yöntemi" ile doğrusallık testi yapılmıştır. Tc-99m kaynak aktivitesinin maksimum değeri, tedavi amacıyla kullanılan I-131 dozu dikkate alınarak, 440 mCi olarak belirlenmiştir (4). "Azalım yöntemi" kullanılarak üç gün süre ile alınan aktivite değerlerinden "en küçük kareler analizi" ile en uygun doğru çizilmiş ve ölçümlerin bu doğrudan sapmaları hesaplanarak standart doz kalibratörünün doğrusallığı araştırılmıştır.

Kurşun soğurucuların kalibrasyonunda ise, nükleer tıp merkezlerinde kullanılan kaynak aktiviteleri göz önünde bulundurularak, iki farklı (440 mCi ve 40 mCi lik) miktarda kaynak kullanılmış ve değişik soğurucu kalınlıklarıyla alınan aktivite değerlerinden, her kalınlık için kalibrasyon faktörü (KF) ve zaman hesaplanmıştır.

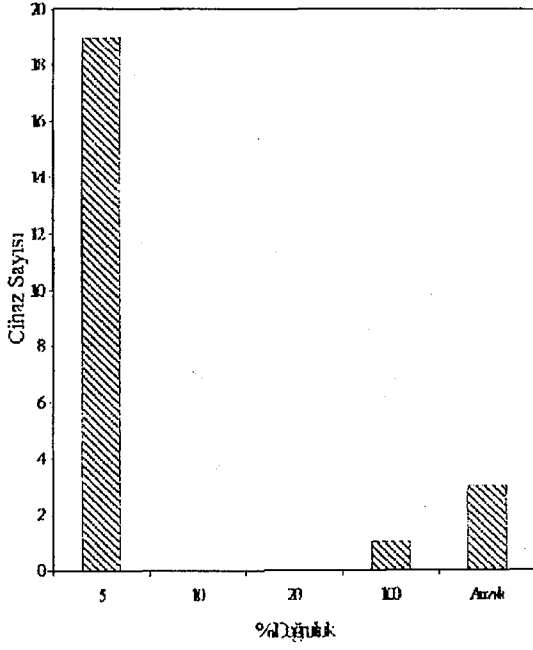
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çizelge 1 de verilen standart kaynaklarla yapılan ölçümlerde kesinlik değerlerinin tüm sistemlerde kabul sınırları içinde kaldığı, doğruluk değerlerinin ise \approx % 20 sistemde hatalı olduğu gözlenmiştir. Şekil 2, 3, 4 ve 5 sırasıyla Co-57, Co-60, Ba-133 ve Cs-137 referans kaynakları için, doğruluk sonuçlarını cihaz sayısına bağlayan histogramlar verilmiştir.

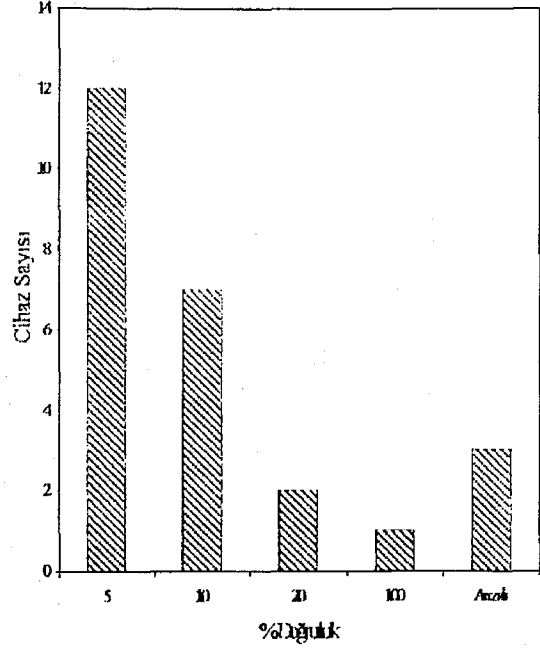
Şekil-6, kurşun tüpleri kalibre etmek için, standart doz kalibratörü ile elde edilen azalım eğrilerini göstermektedir. Çizelge-2 ise azalım eğrileri yardımıyla saptanan kalibrasyon faktörlerini ve bunlara karşı gelen azalım zamanlarını vermektedir. Burada 1, 2, 3, 4 sayısı ile belirtilen tüplerin kalınlıkları sırasıyla 0.45-, 0.65-, 1.00-, ve 1.58-mm dir.



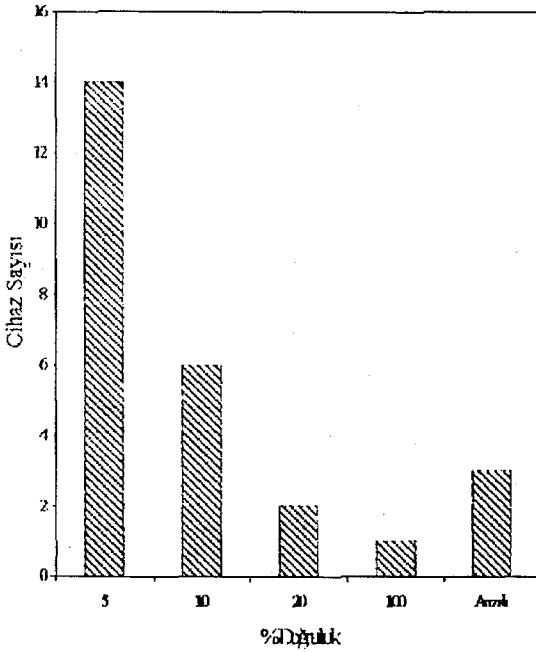
Şekil 2. Co-57 için cihaz sayısının doğrulukla değişimi.



Şekil 3. Co-60 İçin cihaz sayısının doğrulukla değişimi.



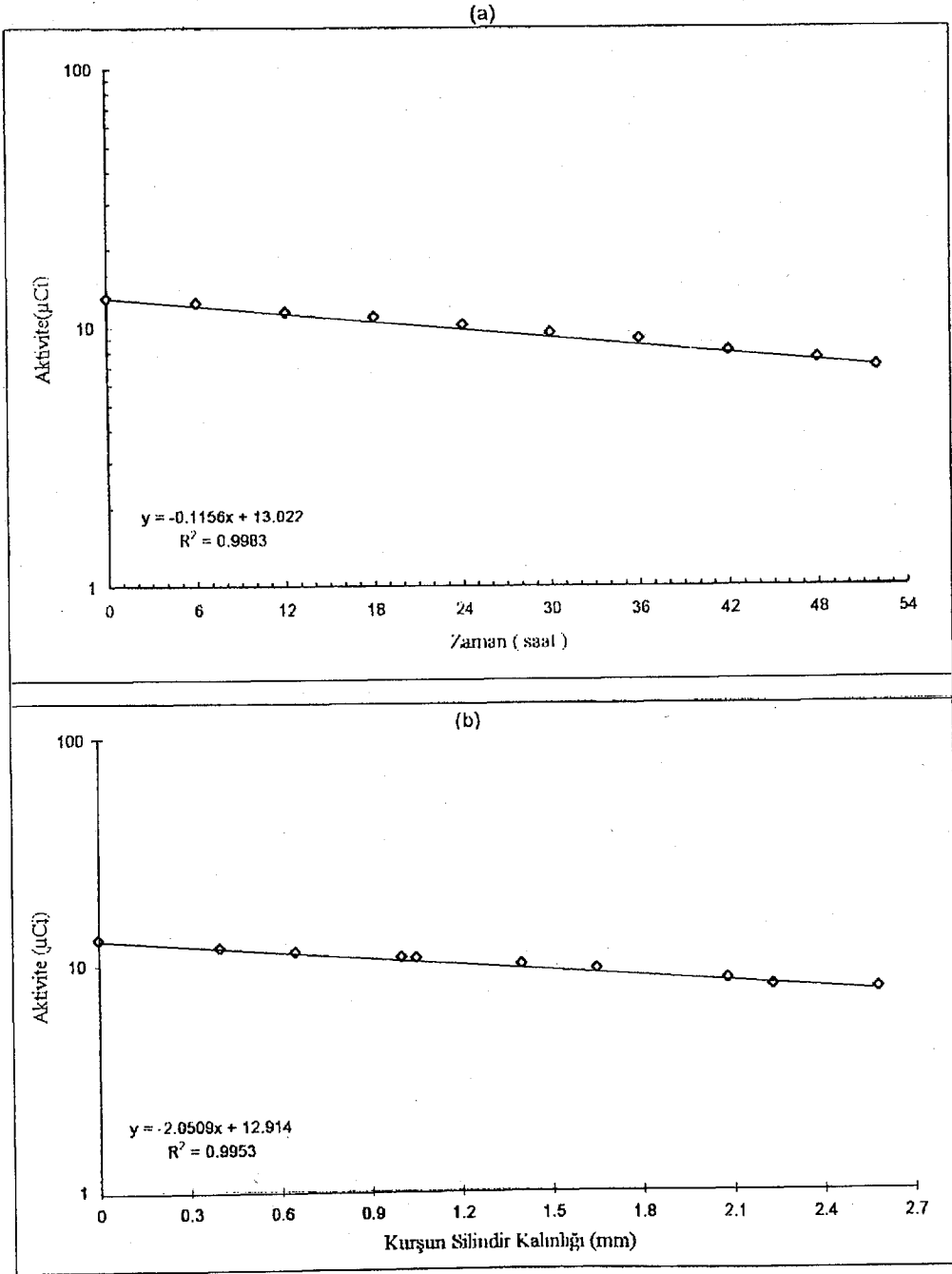
Şekil 5. Cs-137 İçin cihaz sayısının doğrulukla değişimi.



Şekil 4. Ba-133 İçin cihaz sayısının doğrulukla değişimi.

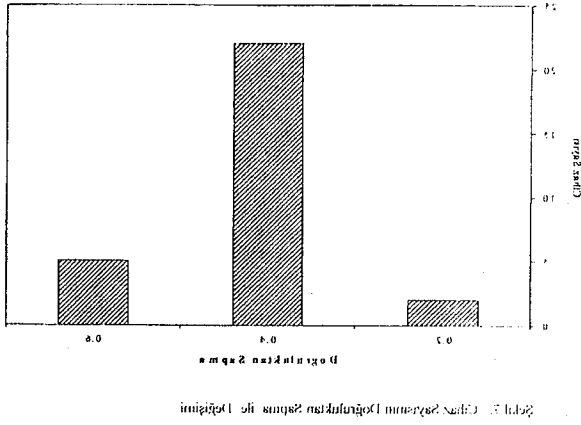
Çizelge 2.

Kurşun Soğurucu	Soğurucu Kalınlık (mm)	Kalibrasyon Faktörü (KF)	Kalınlığa Karşı Gelen Süre (saat)
1	0.45	2.43	7.73
2	0.65	4.35	12.79
3	1.00	8.91	19.03
1+2	1.10	10.33	20.32
1+3	1.45	19.27	25.74
2+3	1.65	32.58	30.31
1+4	2.03	85.08	38.66
2+4	2.23	140.8	43.04
3+4	2.58	198.05	46.01



Şekil 6. Yüksek Aktiviteler için (a) "Azalan Kaynak" ve (b) "Kurşun soğurucu yöntemleri ile elde edilen azalım eğrileri. Doğruların denklemleri ve R2 korelasyon faktörleri sol alt köşelerde verilmiştir.

Kalibrasyon işleminden sonra nükleer tıp merkezlerinde kurşun soğurucu tüplerle yapılan doğrusalık testleri, pratikliği ve merkezler arası farklılığı ortadan kaldırması nedeniyle yalnızca düşük aktivitelerde (≈ 50 mCi) yapılmıştır. Çalışmalarda "azalan kaynak" yöntemi yerine "soğurma yöntemi" nin kullanılması ile zamandan önemli ölçüde ekonomi sağlanmış ve kısa sürede tamamlanan testler sonucu tüm sistemlerin kabul sınırları içinde kaldığı gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Cihaz Sayısının Doğruluktan Sapma ile Değişimi.

Çalışma için ziyaret edilen merkezlerin hemen hemen hiç birinde kalite kontrol testlerinin yapılmadığı görülmüştür. Ölçüm yapılan sistemlerden üç tanesinin tamamen arızalı (kullanım dışı) olduğu, üç tanesinin de arızası bilinerek çalıştırıldı-

ğı saptanmıştır. Kurşun tüplerin yapımı ve kalibrasyonu ile kısa sürede tamamlanabilen bu testlerin tüm nükleer tıp merkezlerinde gerçekleştirilmesi, görüntü kalitesi ve hasta sağlığı açısından, özellikle de tedavi amacıyla yüksek dozların kullanıldığı durumlarda ve çocuklara verilecek dozların saptanmasında çok büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. U.S. Nuclear Regulatory Commission Code of Federal Regulations. Title 10, Part 35. Washington, D.C. : U.S. Government printing Office. April 1987.
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide for the Preparation of Applications for Medical Program. 10.8 Revision #2. Washington, D. C : U.S. Government Printing Office, August 1985.
3. Chu RYL. Accuracy of dose calibrator linearity test (letter). Health Phys. 55; 95-96; 1988.
4. Davis A.D., Giomuso C.A., Miller W.H., et all. Dose calibrator activity linearity evaluations with ALARA exposures. J Nucl. Med. Technol. 9; 188-190; 1981.
5. Dydek G.J., Blue P.W., Tyler H.N.Jr. Comparison of attenuators for linearity testing of the dose calibrator. J. Nucl. Med. Technol. 16; 111-115; 1988.
6. Merrit E.R., Attenuator calibration factors using high and low activity sources. J. Nucl. Med. Technol. 17; 66-69; 1989.
7. William M. Oswald, Thomas J. Herold, y Mark E. Wilson, and Joseph, C. Hung. Dose Calibrator Linearity Testing using an Improved Attenuator System. J. Nucl. Med. Technol. 20; 169-172; 1992.
8. Quality control of nuclear medicine instruments. IAEA-TECDOC-602, 17-30; 1991.