

ARAŞTIRMA MAKALESİ**Uluslararası Standartlara Göre Bilgisayarlı Tomografi Cihazının Kalite Kontrol Testleri ve Kabul Sınırları*****Quality Control Tests of Computerized Tomography Device and Acceptance Limits According to International Standards***

Metin KÖMSÖKEN¹, Aytunç ATEŞ²

ÖZ

Amaç: Kalite kontrol testleri; cihazın sistemiyle ilgili tüm parametrelerin gözden geçirilmesi işlemi olarak ifade edilir. Kalite kontrol testlerinin zamanında yapılması ile cihazların performanslarındaki değişiklikler kolayca belirlenebilir. Bu çalışmada, uluslararası standartlara göre Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazının kalite kontrol testleri ve kabul sınırları incelenmiştir. Uluslararası standartlara göre kalite kontrol testleri arasındaki farklılıklar ve bunların önemi vurgulamak amaçlanmıştır.

Yöntem: Bu çalışmada; uluslararası standartlardan ACR (American College of Radiology), AAPM (American Association of Physicists in Medicine), NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements), IPEM (Institute of Physics and Engineering in Medicine)'e göre BT cihazının kalite kontrol testleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Bulgular: Farklı standartlar göz önüne alınarak BT cihazı için kalite kontrol testleri, kabul sınırları ve bunlar arasındaki farklılıklar tespit edilmiştir.

Sonuç: Cihazın kalite kontrol testleri cihaz kullanılırken belirli periyotlarla tekrarlanmalıdır. Bu sayede, cihazların periyodik kontrolleri düzenli bir şekilde yapılmış olur ve en önemlisi hastanın maruz kaldığı X-ışını dağılımı görüntülere doğru ve kaliteli bir şekilde yansıtılır. Kalite kontrol testlerinin düzenli yapılmazsa görüntülerin homojenitesinde ve cihaz performansında bozulmalar ortaya çıkabilir. Kalite kontrol testlerinin düzenli yapılması oldukça önemlidir. Ülkemizdeki bu testler için yeterli Türkçe kaynak bulunmamaktadır. Bu kaynakların sayısının artırılması önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarlı Tomografi, diagnostik radyoloji, kalite kontrol, kalite kontrol testleri, sağlık fiziyi.

ABSTRACT

Aim: Quality control tests; It is expressed as the process of reviewing all parameters related to the system of the device. With timely quality control tests, changes in the performance of the devices can be easily determined. In this study, quality control tests and acceptance limits of Computed Tomography (CT) device were examined according to international standards. It is aimed to emphasize the differences between quality control tests according to international standards and their importance.

Methods: In this study; quality control tests of CT device according to international standards ACR (American College of Radiology), AAPM (American Association of Physicists in Medicine), NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements), IPEM (Institute of Physics and Engineering in Medicine) have been investigated in detail.

Results: Considering different standards, quality control tests, acceptance limits and differences between them were determined for CT device.

Conclusion: Quality control tests of the device should be repeated periodically while using the device. In this way, periodic controls of the devices are made regularly and most importantly, the X-ray distribution that the patient is exposed to is reflected on the images in an accurate and high quality manner. If quality control tests are not carried out regularly, deterioration may occur in the homogeneity of images and device performance. It is very important to perform quality control tests regularly. There is not enough Turkish resources for these tests in our country. It is important to increase the number of these resources.

Keywords: Computed Tomography, diagnostic radiology, health physics, quality control, quality control tests.

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Radyoloji Anabilim Dalı, Sağlık Fiziyi Programı, Ankara, Türkiye, ²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar: Metin KÖMSÖKEN, e-posta: mkomsoken@gmail.com, ORCID No: 0000-0003-0283-1011

Gönderi Tarihi: 29.01.2021

Kabul Tarihi: 12.02.2021

GİRİŞ

Kalite kontrol testleri; cihazın sistemiyle ilgili tüm parametrelerin gözden geçirilmesi işlemi olarak ifade edilir. Kalite kontrol testlerinin zamanında yapılması ile cihazların performanslarındaki değişiklikler kolayca belirlenebilir. Kalite kontrol testlerinin düzenli olarak yapılmasıyla, cihazın bakımını yapan servisi geldiğinde, cihazdaki problemi doğru bir şekilde bildirmek açısından oldukça önem arz etmektedir (1,2).

Kalite kontrol testleri; elde edilen birçok nicel ölçümler sayesinde sistemin uluslararası standardizasyona uyumunun kontrol edilmesini sağlamak amacıyla yapılır. Uluslararası geçerliliği olan standartlar göz önünde bulundurularak, bu standartlardaki kabul sınırları ile karşılaştırma yapılır. Tıpta hastalıkların teşhisi için kullanılan cihazlardan elde edilen görüntülerin kaliteli ve net olması, hastalıkların doğru teşhisi aşamasında oldukça önemlidir. Elde edilen görüntülerin kaliteli ve net olması, kalite kontrol testlerinin doğru, zamanında ve periyodik olarak yapılmasına bağlıdır (3,4).

Tıbbi cihazların kalite kontrol testleri cihaz kullanılırken düzenli periyotlarla tekrarlanır. Bu sayede; cihazların periyodik kalite kontrollerinin sürekliliği sağlanmış olur. Ayrıca hastanın maruz kaldığı X-ışınından elde edilen görüntülerin doğru ve kaliteli bir şekilde yansıtılması amaçlanır. Kalite kontrol testlerinin düzenli yapılmazsa, görüntülerin homojenitesinde bozulmalar, artefaktlar ortaya çıkabilir (1).

Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazı X-ışınlarını kullanır ve hastaya en yüksek doz veren görüntüleme cihazlarından birisidir. X-ışını tüpünün 360⁰ lik sürekli hareketiyle, her açıdan röntgen filmi çekimi kadar doz verilir. Bu nedenle hasta dozları yüksektir. Bu yüzden BT cihazının kalite kontrol testlerinin yapılması zorunluluk göstermektedir (3,5).

Kalite Kontrol (KK) testleri, görüntü kalitesini etkileyecek durumlar ortaya çıkmadan önce gerekli düzeltici ve teknik müdahalelerin yapılmasına olanak tanır (6,7).

Bu çalışmada, BT cihazına ait kalite kontrol testleri, uluslararası standartlar temel alınarak değerlendirilmiş olup, bu standartlar arasındaki farklılıklar araştırılmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, uluslararası standartlardan, IPEM Report No: 91 (Institute of Physics and Engineering in Medicine), ACR: 2017 (American College of Radiology), AAPM Report No:39 (American Association of Physicists in Medicine) ve NCRP Report No: 99 (National Council on Radiation Protection and Measurements) incelenmiş ve bu raporlarda belirtilen BT cihazı için kalite kontrol testleri ve bunların kabul sınırları değerlendirilmiş, standartlar arasındaki benzerlikler ve farklılıklar sunulmuştur.

BULGULAR

Uluslararası standartlardan IPEM Report No: 91, ACR: 2017, AAPM Report No:39, NCRP Report No: 99' göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırlarında benzerlik ve farklılıklar gözlenmiştir. Bu veriler; Tablo 1: A.A.P.M' e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları, Tablo 2: IPEM'e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları, Tablo 3: A.C.R'ye göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları, Tablo 4: N.C.R.P' e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları' da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bilgisayarlı Tomografi Cihazının Kalite Kontrol Testleri

Tablo 1. A.A.P.M' e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları

A.A.P.M' e Göre Kalite Kontrol Testleri ve Kabul Sınırları			
Test	Fiziksel Parametre	Öncelik	Düzeltilici Seviye
BT01	Bölgesel Tarama Işık Doğruluğu Testi (8)	Zorunlu	İşlenmiş filmdeki deliklerden radyasyon alanının orta noktasına kadar hizalamalardaki hata $\pm 2,0$ mm'yi geçmemelidir.
BT02	Masanın Portal ile Hizalanması Testi (8)	Opsiyonel	Gantry (portal) orta hattı ± 5 mm masa orta hattında olmalıdır.
BT03	Masa / Gantry Eğimi Testi (8)	Opsiyonel	Eğim hataları 3° 'den az olmalıdır.
BT04	Radyografik (İzci) Görüntüden Kesit Yerini Belirleme Testi (8)	Opsiyonel	Bölgesel görüntü açılardırma test nesnesinde, 45° lik telden oluşan iki artı işaretinin görüntülerinin konumları çakışmalıdır.
BT05	Masa Hızı Artış Testi (8)	Zorunlu	Standart sapma ve ortalama hata 3 mm'den az olmalıdır.
BT06	Radyasyon Profili Genişliği Testi (8)	Zorunlu	Radyasyon profili genişliği 1 mm'den küçük olmalıdır.
BT07	Radyasyon Genişliğinin Duyarlılığı Testi (8)	Zorunlu	Radyasyon genişliğinin duyarlılığı ± 5 mm'den küçük olmalıdır.
BT08	mA Doğrusallığı Testi (8)	Opsiyonel	Tüp akımı, üreticinin belirttiği seviyenin $\pm 5\%$ içinde olmalıdır.
BT09	kVp Testi (8)	Opsiyonel	± 2 kV içinde olmalı
BT10	Gürültü Ölçümü Testi (8)	Zorunlu	Gürültü ölçümleri, tarayıcı kontrast ölçeğine göre düzeltilmelidir.
BT11	Tarama Alanı Konum Bağımlılığı Testi (8)	Opsiyonel	Her dilim için, 100 mg / ml'lik K_2HPO_4 içindeki ortalama BT numarası değeri değişmemelidir.
BT12	Düşük kontrast kararlılığı testi (8)	Opsiyonel	Düşük kontrast seviyesinde test objesindeki her iki delik algılanabilir olmalıdır.
BT13	Görsel Ekran Kurulumu ve Kalite Kontrolü (8)	Zorunlu	$\% 5$ 'lik kesit sadece $\% 0$ kesitinin içinde görünür olmalıdır. $\% 0$ kesitinin alanı neredeyse siyah olmalı ve tarama çizgileri zar zor görünür olmalıdır. $\% 95$ kesit, $\% 100$ kesitinin içinde görülebilmelidir. Alfanümerikler keskin ve net olmalıdır.
BT14	Çok Biçimli Kamera Görüntüsü Testi (8)	Zorunlu	$\% 0$ kesitinin optik yoğunluğu $2,45 \pm 0,10$ 'un üzerine çıkmamalıdır.
BT15	Radyasyon Dozu Testi (8)	Zorunlu	Üreticinin spesifikasyonlarıyla karşılaştırılmalıdır ve tüm değerler sağlanmalıdır.

Tablo 2. IPEM'e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları

IPEM'e Göre Kalite Kontrol Testleri ve Kabul Sınırları				
Test	Fiziksel Parametre	Sıklık	Düzeltilici Seviye	Süspansiyon Seviyesi
BT01	Görüntü Gürültüsü (9)	Günlük veya Haftalık	Referans değer: $\pm\% 10$	Referans değer: $\pm\% 25$
BT02	CT Numarası Değerleri Testi (9)	Günlük veya Haftalık	Su için referans değer: $\pm 5HU$ Diğer materyaller için referans değer : $\pm HU$	Su için referans: $\pm 20HU$ Diğer materyaller için referans değer : $\pm 30 HU$
BT03	Hizalama Işıkları İle Tarama Düzlemini Belirleme (9)	1-3 Aylık	$> \pm 2 mm$	
BT04	Röntgen Filmi Çıktısından Tarama Düzleminin Yerini Belirleme Testi (9)	1-3 Aylık	$> \pm 2 mm$	
BT05	Masa Hareketi Testi (9)	1-3 Aylık	$> \pm 2 mm$	
BT06	Görüntü Gürültüsü Testi (9)	12 Aylık	Referans değer : $\pm\% 10$ Dilimler arası varyasyon ortalama : $\pm\% 10$	Referans değer : $\pm\% 25$
BT07	CT Numarası Değerleri Testi (9)	12 Aylık	Su için referans değer: $\pm 5HU$ Diğer materyaller için referans değer : $\pm 10HU$	Su için referans değer: $\pm 20HU$ Diğer materyaller için referans değer : $\pm 30HU$
BT08	CT Numarası Tekdüzeliliği Testi (9)	12 Aylık	Baş fantomu: $> \pm 10 HU$ Vücut fantomu: $> \pm 20 HU$	
BT09	Yüksek Kontrastlı Uzaysal Çözünürlük Testi (9)	12 Aylık	Referans değer: $\pm\% 20$	
BT10	Bilgisayarlı Tomografi Doz İndeks (CTDI) Testi (9)	12 Aylık	Referans değer: $\pm\% 15$	Referans değer: $\pm\% 40$
BT11	Tek Dilim veya Rotasyon İçin $CTDI_{vol}$ Testi (9)	3 Yıllık	$> Ulusal referans doz$	
BT12	Radyasyon Alanı Yoğunluğu Testi (9)	12 Aylık	Referans değer: $\pm \% 20$ veya $\pm 1 mm$	
BT13	Görüntü Dilim Kalınlığı Testi (9)	12 Aylık	Referans değer: $\pm \% 20$ veya $\pm 1 mm$	
BT14	Tüpten Dedektör Hizalaması Testi (9)	12 Aylık	$> 1 mm$	

HU: X-ışını Bilgisayarlı Tomografi cihazını bulan nobel ödüllü fizikçi Hounsfield'in anısına ithafen CT numarasının birimine Hounsfield Unit (HU) adı verilmiştir. Sayısal görüntülerde piksel değerleri yerine CT numaraları bulunur (3).

Tablo 3. A.C.R'ye göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları

A.C.R'ye Göre Kalite Kontrol Testleri ve Kabul Sınırları					
Test	Fiziksel Parametre	Sıklık	Düzeltilici Seviye		
BT01	Su CT Sayımı ve Standart Sapma (Gürültü) Testi (10)	Günlük	Ortalama su değerleri: 0 ± 3 HU, 0 ± 5 HU ACR QC fantomu için su değerleri: 0 ± 5 HU, 0 ± 7 HU		
BT02	Islak Lazer Yazıcı Kalite Kontrolü (10)	Haftalık	SMPTE Kesiti	Optik yoğunluk	Kabul Sınırları
			0	3.00	± 0.15
			10%	2.20	± 0.15
			40%	1.15	± 0.15
BT03	Kuru Lazer Yazıcıların Basılı Kopya Görüntü Kalitesi Kontrolü (10)	Haftalık	SMPTE Kesiti	Optik yoğunluk	Kabul Sınırları
			0	3.00	± 0.15
			10%	2.20	± 0.15
			40%	1.15	± 0.15
BT04	Ekran Monitörlerinin Gri Seviye Performansı Testi (10)	Aylık	% 5'lik kesit, % 0/5'lik kesitte ayırt edilebilir olmalıdır.		
			% 95'lik kesit, % 95/100'lik kesitte ayırt edilebilir olmalıdır.		
BT05	Scout Yönergesi ve Işık Hizalama Doğruluğu Testi (10)	Yıllık	Hizalama ışıklarının veya taramaların konumu 2 mm dahilinde olmalıdır.		
BT06	Masa Hareketi Doğruluğu Testi (10)	Yıllık	Masanın dönmesi ve sabit bir konuma geri dönüş ilk referans noktasının 2 mm içinde olmalıdır.		
BT07	Radyasyon Işın Genişliği Testi (10)	Yıllık	Cihazda belirlenen ışın genişliği 3 mm veya % 30'u dahilinde olmalıdır.		
BT08	Düşük Kontrastlı Performans Testi (10)	Yıllık	Tarama protokolü	CNR	
			Yetişkin Baş	1.0	
			Pediyatrik Baş	0.7	
			Yetişkin Karın	1.0	
BT09	Uzaysal Çözünürlük Testi (10)	Yıllık	Tarama protokolü	Sınırlayıcı Çözünürlük	
			Yetişkin Karın	6 lp/cm	
			Yüksek Çözünürlüklü Göğüs	8 lp/cm	
BT10	CT Numarası Doğruluğu Testi (10)	Yıllık	Malzeme	CT Numarası Aralığı	
			Su	-7 ile +7 HU	
			Hava	-970 ile -1005 HU	
			Teflon (kemik)	850 ile 970 HU	
			Polietilen	-107 ile -84 HU	
Akrilik	110 ile 135 HU				
BT11	Artefakt Değerlendirmesi Testi (10)	Yıllık	Elde edilen görüntülerde artefakt (bozukluk) olmamalıdır.		
BT12	CT Numarası Tekdüzelik Testi (10)	Yıllık	Her bir çevresel ROI (ilgi bölgesi)nin ortalama CT değeri ile merkez ROI (ilgi bölgesi) arasındaki fark 5 HU'yu geçmemelidir, 7 HU'yu asla aşmamalıdır.		
BT13	Dozimetri Testi (10)	Yıllık	Yıldan yıla tekrarlanan ölçümler, % 5'ten daha fazla farklılık göstermemesi gerekir. Tarayıcıda doz ölçümündeki ölçülen tüm değerler, tarayıcı üreticisi tarafından bildirilen değerlerin % 20'si dahilinde olması gereklidir.		
BT14	CT Tarayıcı Ekran Kalibrasyonu Testi (10)	Yıllık	% 5'lik kesit, % 0/5'lik kesitte görünür olmalıdır; % 95'lik kesit, % 95/100'lik kesitte görünür olmalıdır. Maksimum ekran parlaklığı 100 cd/m^2 veya daha büyük olmalıdır. Ekran parlaklık oranı 100'den büyük olmalıdır.		

SMPTE: Sinema ve Televizyon Mühendisleri Topluluğu dijital test modelidir (5).

Tablo 4. N.C.R.P' e göre kalite kontrol testleri ve kabul sınırları

N.C.R.P' e Göre Kalite Kontrol Testleri ve Kabul Sınırları			
Test	Fiziksel Parametre	Sıklık	Düzeltilici Seviye
BT01	BT Sayısının Sabitlik Testi (11)	Günlük	Su için BT numarası ve su dolu bir fantom üzerindeki standart sapması günlük ölçümlerde sabit olmalıdır.
BT02	BT Sayısının Tekdüzelik Testi (11)	Aylık	100 pikselin ortalama BT sayısı, diğer 100 pikselin ortalama BT sayısından 5'ten fazla farklılık göstermemelidir.
BT03	BT Sayısının Dilim Kalınlığına Bağlılık Testi (11)	6 Aylık	100 pikselin üzerinde ortalama BT numarası, tüm kesit kalınlıkları için altı ayda bir yapılan ölçümlerde ± 3 BT numarası dahilinde olmalıdır.
BT04	BT Sayısının Fantom Konumuna Bağlılık Testi(11)	6 Aylık	Fantom çapı 5 ila 30 cm arasında değiştiğinde, BT su sayısı ± 20 'den daha az değişmelidir.
BT05	BT Sayısının Fantom Pozisyonuna Bağlılık Testi (11)	Yıllık	Ortalama BT sayıları; ± 5 BT numarasından veya fantomun konumundan bağımsız olarak ± 15 BT numarasından daha az değişmelidir.
BT06	BT Sayısının Algoritmaya Bağlılık Testi (11)	Yıllık	Fantomun merkezindeki ortalama BT numarası, her algoritma için ± 3 BT sayısından daha az değişmelidir.
BT07	Basılı Çıktı ve Görsel Ekran Testi (11)	Yıllık	Basılı kopya görüntüsü, ekranda görüntülenen görüntüden parlaklık ve kontrast açısından fark edilir ölçüde farklılık göstermemelidir.
BT08	Düşük Kontrast Çözünürlüğü Testi (11)	Aylık	Yerleştirilen pimlerin X-ışını zayıflaması (içsel kontrast) % 1 veya daha fazla farklılık gösterdiğinde, 0,5 ila 0,8 mC.kg ⁻¹ (2 ila 3 R) orta hat pozlaması için alınan görüntüde 0,5 cm çapında pimler görünmelidir.
BT09	Yüksek Kontrast Çözünürlüğü Testi (11)	Aylık	Pimlerin X-ışını zayıflaması (iç kontrast) çevreleyen ortamdan %10 veya daha fazla farklılık gösterdiğinde görüntüde 0,1 cm çapındaki pimler görünür olmalıdır.
BT10	Video Monitörü ve Basılı Kopyadaki Bozukluk Testi (11)	Yıllık	Yüksek kontrastlı bir test nesnesinde 1 cm aralıklı konumlandırılmış bir dizi delik için, video veya basılı kopya görüntüsündeki delikler görüntü gerçek boyutta yansıtıldığında nesnedeki deliklerin konumu ile görüntünün merkezi %50'sinde ± 1 mm içinde çakışmalıdır.
BT11	Masa Konum Göstergesi Doğruluğu Testi (11)	6 Aylık	Yatak indeksi kontrolü kullanılarak hasta masasının tekrar tekrar konumlandırılmasında, yatağın gerçek konumu, belirtilen konumun ± 2 mm'si dahilinde uyumlu olmalıdır.
BT12	Masa Boşluğu Testi (11)	6 Aylık	Hasta masasının konumu, zıt yönlerden yaklaşıldığında 1 mm dahilinde olmalıdır.
BT13	Masa İndeksleme Doğruluğu Testi (11)	6 Aylık	Uygun şekilde yüklenmiş bir yatakla, yatak her artış için nominal indeks miktarını ($\pm 0,5$ mm) hareket ettirmelidir.
BT14	Hassasiyet Profili (Dilim Genişliği veya Kesit Kalınlığı) Testi (11)	6 Aylık	Kesit kalınlığı, tam olarak ölçüldüğünde, 5 ila 15 mm arasındaki dilim kalınlıkları için nominal kalınlığın 1 mm'si ve 5 mm'den az dilim kalınlıkları için 0,5 mm genişliğinde olmalıdır.
BT15	Mesafe Ölçümlerinin Doğruluğu Testi (11)	6 Aylık	Bir BT görüntüsünde yılda bir ölçülen mesafeler, ± 1 mm dahilindeki gerçek mesafelerle uyumlu olmalıdır.
BT16	Hasta Dozimetresi Testi (11)	6 Aylık	Farklı zamanlarda elde edilen doz maruziyetlerindeki ölçümler birbirleriyle %20 dahilinde uyumlu olmalıdır.

TARTIŞMA

Hastalıkların teşhis ve tedavisinde maruz kalınan radyasyon miktarını artıran etkenlerden biri de cihazın kullanıma uygunluğudur. Kalite kontrolü testleri yerinde ve zamanında yapılmamış bir cihaz, hastanın fazla miktarda doz almasına sebep olabilmekte ya da eksik verilen doz miktarından dolayı görüntülenmek istenilen bölge net görünmeyebilir, görüntülerde artefaktlara sebep olabilir. Bu yüzden tıpta kullanılan görüntüleme cihazlarının yetkili servis bakımlarının doğru ve zamanında yapılabilmesi, hastaya uygun doz verilebilmesi açısından kalite kontrol testleri büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde cihaz kalite kontrol testleri için yeterli Türkçe kaynaklar bulunmamaktadır. Arızası tamamlanan veya taşınan BT cihazının kalite kontrol testleri mutlaka yapılmalı ve cihaz kullanılırken standartlarda belirtilen belirli aralıklarla kalite kontrol testleri yapılmalıdır.

SONUÇ

Bu çalışmamızda tıbbi görüntülemede kullanılan BT cihazı için uluslararası standartlara yer verilmiştir. BT cihazı için kalite kontrol testleri kabul sınırları uluslararası standartlar göz önüne alınarak saptanmış, benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Genç DT, Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi- Bilgisayarlı Tomografi Cihazının Kalite Kontrolleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi, 2016:14.
2. Karaman, O., Özdoğan, H., Üncü, Y. A., Karaman, C., & Tanır, A. G. (2020). Investigation of the effects of different composite materials on neutron contamination caused by medical LINAC. *Kerntechnik*, 85(5), 401-407.
3. İnal T, X-ışını Bilgisayarlı Tomografisi (Computed Tomography-CT) Tek ve Çok-Kesitli Sistemlerde Kalite Kontrol Testlerinin Standartizasyonu, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Ankara Üniversitesi, 2007:24.
4. Karaman, O., Tanır, A. G., & Bölükdemir, M. H. (2015). The effects of plaster on radiation doses given to patients. *Turkish Journal of Physics*, 39(1), 31-36.
5. Karaman, O., Tanır, A. G., & Karaman, C. (2019). Investigation of Photoneutron Contamination From The 18-MV Photon Beam.
6. Dönmez S, Ayan A, Parlak Y, Kovans B, Hiçürkmez M, Kırac FS, Demir M, Toklt T, Hacıosmanoğlu T, Özasan İA, Poyraz L, Tek Foton Emisyon Kompüterize Tomografi (SPECT) Gama Kameralar ve SPECT/BT Sistemleri için Kabul ve Kalite Kontrol Testleri, Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi, 2020:1.
7. Polat, Ç., Karaman, O., Karaman, C., Korkmaz, G., Balcı, M. C., & Kelek, S. E. COVID-19 diagnosis from chest X-ray images using transfer learning: Enhanced performance by debiasing dataloader. *Journal of X-Ray Science and Technology*, (Preprint), 1-18.
8. Lin PJP, Beck TJ, Borrás C, Cohen G, Jucius RA, Kriz RJ, Nickoloff EL, Rothenberg LN, Strauss KJ, Villafana T, AAPM Report No.39 Specification And Acceptance Specification

- And Acceptance Testing of Computed Tomography Scanners, New York, AAPM, 1993:20-60.
9. Fitzgerald M, Evans D, Hiles P, Jones A, Payne J, Rigg D, Smith W, Wall B, IPEM Report No: 91 Recommended Standards for the Routine Performance Testing of Diagnostic X-ray Imaging Systems, Tadcaster Road, York, IPEM, 1997: 105-110.
 10. Dillon C, Breeden W, Clements J, Cody D, Gress D, Kanal K, Kofler J, McNitt-Gray MF, Norweck J, Pfeiffer D, Ruckdeschel TG, Strauss KJ, MS, Tomlinson J, ACR Computed Tomography Quality Control Manuel Radiologist's Section Reston VA, ACR 2017: 33-83.
 11. Poznanski AK, Fischer HW, EG Joel, Hendee WR, GK James, Kundel HL, JT William AZ James NCRP Report No. 99 Quality Assurance for Diagnostic Imaging, Woodmont, NCRP, 1990: 121-123.