

# Lineer hızlandırıcı radyoterapi cihazının yapısında bulunan monitör iyon odasının kalite kontrol testlerinin uygunluğunun belirlenmesi

Determining the annual quality control testing and conformity for monitor ionization chamber which is contained in linear accelerator radiotherapy treatment device's head structure

Tuğba Şahiner,<sup>1</sup> Mustafa Kurt,<sup>2</sup> Sıtkı Eker,<sup>2</sup> Serdar Savaş Gül<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bakanlığı Kamu Hastaneleri Birliği, Yalova, Türkiye

<sup>2</sup>Ahi Evran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Kırşehir, Türkiye

<sup>3</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye

## ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmada Siemens marka, Oncor Impression Plus M5395 model lineer hızlandırıcı tedavi cihazının kafa yapısında bulunan monitör iyon odası yıllık kalite kontrol testlerinden olan tekrarlanabilirlik, doğrusalılık ve tedaviyi verilen monitör ünitesinde durdurma yetkisi incelenmiştir.

**Hastalar ve yöntemler:** Bu testlerin uluslararası standardı olan limit değeri tespitinde end effect için iki ışınlama yöntemi kullanılarak alınan ölçümlere göre hesaplama yapılmıştır. Bu çalışmada British Journal of Radiology ve Uluslararası Atom Enerji Kurumu referansı kullanılmıştır. Radyasyon veriminin değişmezliği, kısa ve uzun dönem kararlılığı da teorik olarak hesaplanmıştır.

**Bulgular:** 6 MeV ve 18 MeV X ışını demetlerinde ve 50 MU/dk ve 300 MU/dk doz oranlarında lineerite  $\pm 3\%$  değeri arasındadır. 6 MeV ve 18 MeV elektron demeti enerji seviyelerinde, eş merkez uzaklığında 10x10'luk alandan 40x40'luk alana kadar alınan ölçümlerde lineeritesi  $\pm 1\%$  değeri içerisinde. İki ışınlama yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda ışın doğrusalılığı  $< 1$  MU değerinde bulunmuştur.

**Sonuç:** Yapılan bu çalışmanın sonucunda alınan verilerin uluslararası standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Lineer hızlandırıcı cihazları için günlük, aylık ve yıllık yapılması gereken kalite kontrol testlerinin düzenli olarak yapılmasının radyasyon kazalarını önlemede etkili olacağı düşünüldü.

**Anahtar sözcükler:** Elektron; monitör iyon odası; kalite kontrol; radyasyon kazası; X ışınları.

## ABSTRACT

**Objectives:** In this study monitor ionization chamber which is contained in Siemens brand, Oncor Impression Plus model M5395 linear accelerator's head structure which is available was examined in repeatability, linearity and authority of stopping treatment on given monitor unit.

**Patients and methods:** Calculation of limit value evaluation which is international standard of these tests was done according to received measurement with using two teleportation methods for end effect. British Journal of Radiology and International Atomic Energy Agency's references were used in this study. Constancy of radiation and productivity of short and long-term stability were calculated theoretically.

**Results:** The first linearity is within  $\pm 3\%$  for 6 MeV and 18 MeV X-ray beam and 50 MU/min and 300 MU/min the dose rates. The second linearity is within  $\pm 1\%$  for 18 MeV 6 MeV electron beam and the energy level and concentricity measurements taken from the health field from 10x10 up to 40x40 areas. The beam linearity's value was found  $< 1$  MU value by two irradiation methods.

**Conclusion:** As a result of this study, it is established that the received data are relevant for international standards. The linear accelerator devices to daily, monthly and annual quality control tests will be done regularly considered effective in preventing radiation accident.

**Keywords:** Elektron; monitor ionization chamber; quality control; radiation accident; X beam.

Kanser tedavisinde cerrahi, kemoterapi ve radyoterapi olmak üzere üç temel tedavi yöntemi vardır. Kanserli hastaların radyoterapisinde iyonize radyasyon kullanılarak tedavi uygulanır.

Radyoterapide çoğunlukla malign hastalıklar ve az sayıda da benign hastalıklar tedavi edilir. Yüksek teknolojiye sahip radyoterapi cihazlarının kullanımı kanser tedavilerinde son derece faydalı

**Geliş tarihi:** 23 Eylül 2015 **Kabul tarihi:** 06 Ekim 2015

**İletişim adresi:** Dr. Serdar Savaş Gül. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, 60100 Tokat, Türkiye.

Tel: 0356 - 215 00 45 e-posta: gopnukleertip@gmail.com

olmakla birlikte halen çeşitli kazaların ortaya çıkabilme riski vardır. İyonize radyasyon tedavisinde bu kaza riskini ortadan kaldırmak için kalite güvence programlarının oluşturulması ve uluslararası düzenlemelere uyulması esastır.<sup>[1]</sup>

Radyoterapide iyonize radyasyon kaynaklarının hepsinde monitör iyon odası bulunmaktadır. Lineer hızlandırıcılar da iyonize radyasyon üreten ve radyoterapide sıklıkla kullanılan bir cihazdır. Yüksek teknolojiye sahip bir cihaz kullanıyor olmak iyi ve kusursuz bir radyoterapi uygulaması için garanti değildir. Yeterli destek cihazı, eğitim ve öğretim ile yetiştirilmiş personel ve disiplinli bir yöntem radyasyon kazalarını önlemede esastır.

Monitör iyon odası için yapılan performans testi sonuçları tolerans dışı olması halinde, cihaz ölümcül sonuçlara yol açabilir. Kosta Rika'nın başkenti San José'deki San Juan de Dios Hastanesi'nde Co-60 radyoterapi cihazı değiştirildikten sonra radyasyon kazası meydana gelmiştir. Yeni kaynak kalibre edilirken doz hızının %50-60 daha düşük olacak şekilde yanlış hesaplanması sonucunda hastalara verilmesi gerekenden çok daha yüksek dozlar, daha uzun sürelerde uygulanmıştır. Bir ay boyunca tedavi gören toplam 115 hasta yüksek doza maruz kalmıştır. Bu hastaların 42'si dokuz ay içinde hayatını kaybetmiştir. Hasta dosyalarından yapılan değerlendirmeler sonucunda, üç hastanın fazla doz nedeniyle öldüğü ve dört hastanın ölümünde de yüksek dozun büyük katkısı olduğu saptanmıştır.<sup>[2,3]</sup>

Bu çalışmada Atatürk Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyoterapi ünitesinde bulunan Oncor Impression Plus (Siemens AG, California, USA) model tedavi cihazındaki monitör iyon odası performans testlerinden olan doğrusalılık, verim değişmezliği, kısa ve uzun dönem kararlılığı ölçümlerini yapıldı ve sonuçlar British Journal of Radiology (BJR) ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) referansı ile karşılaştırıldı.

## HASTALAR VE YÖNTEMLER

### Lineer hızlandırıcı

Bu çalışmada M5395 seri nolu Oncor Impression Plus model Siemens marka lineer hızlandırıcı cihazı kullanıldı. Siemens Oncor Impression Plus M5395 cihazı "NORMAL" modda çalıştığına 6 milyon elektron volt (MeV)

ve 18 MeV enerjili X ışınları ve ayrıca 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV, 18 MeV, 21 MeV enerjili elektron demetleri üretebilme özelliğine sahiptir. Siemens Oncor Impression lineer hızlandırıcısının tedavi kafası içinde sırasıyla tungsten hedef, hareketsiz birincil kolimatörler, tungsten, volfram ve alüminyum alaşımlı bir çanı andıran düzleştirici filtre, saçıcı foil, iki monitör iyon odası, Y üst çeneleri ve X alt çeneleri, 41 çift liften oluşan çok yapraklı kolimatör sistemi ve ışın alanı ile aynı alanı aydınlatmak için kullanılan ışık kaynağı ve ayna sistemi bulunmaktadır. Siemens Oncor Impression M5395 cihazı kaynak eş merkez mesafesi diğer lineer hızlandırıcılarda olduğu gibi 100 cm'dir. Oluşturulabilecek maksimum alan 40x40 cm ve minimum alan 2x2 cm ile sınırlandırılmıştır.

### Elektrometre

Elektrometre iyon odasında toplanan yükün ölçülmesini sağlamaktadır. Demet kalitesinin tespitinde kullanılan PTW UNİDOS marka elektrometre (PTW-Freiburg GmbH, Freiburg, Germany); R, R/dak, Gy, Sv/saat; amper ve coulomb cinsinden doz, doz hızı ve akım değerlerini okuyabilen bir dozimetredir. Polarite voltajı 0-400V olan dozimetreye sıcaklık ve basınç düzeltmeleri için değerler girilebilmektedir. Foton için ölçüm aralığı 70 kV-40 MV'dir. Elektron demetlerinde 50 MeV enerjiye kadar ölçüm yapılabilmektedir. Bu çalışmada PTW UNİDOS marka, T10008 model, 80616 seri numaralı elektrometre kullanıldı.

### İyon odaları

Ölçümler esnasında PTW marka, TM30010 model, 2403 seri numaralı PMMA tipi 0.6 hacimli silindirik iyon odası ve PTW marka, TM34045 model, 679 seri numaralı paralel iyon odası kullanıldı. Orta enerjili X ışınları, Cs-137  $\gamma$  ışınları, Co-60  $\gamma$  ışınları, Yüksek enerjili X ışınları ve  $E_0 \geq 10$  MeV olan elektronlar silindirik iyon odaları ile ölçülmektedir. Düşük enerjili X ışınları ve  $E_0 < 5$  MeV olan elektronların ölçümünde paralel düzlem iyon odaları ve  $5 \text{ MeV} \leq E_0 < 10$  MeV enerjili elektronların ölçümünde paralel düzlem veya silindirik iyon odaları kullanılmaktadır.<sup>[4]</sup>

### İyon odası performans testleri

Lineer hızlandırıcı kalite kontrol testleri mekanik testler ve dozimetrik testler olmak üzere iki şekilde olur. Bu testler için limitler ve yapıma sıklıkları The American Association of Physicist in Medicine (AAPM), The International

**Tablo 1.** Medikal lineer hızlandırıcılarda günlük, aylık, yıllık dozimetrik kalite temini tablosu

Sıklık	İşlem	Tolerans (±) Yüzde
Günlük dozimetri	X-ışını verimi kalibrasyonu	3
	Elektron verim kalibrasyonu	3
	X-ışını ve elektron verim değişmezliği	3
Aylık dozimetri	X-ışını verimi kalibrasyonu	3
	Elektron verim kalibrasyonu	3
	X-ışını ışın düzgünlüğü ve simetrisi	3
	Elektron ışın düzgünlüğü ve simetrisi	3
Yıllık dozimetri	X-ışını verimi kalibrasyonu	3
	Elektron verim kalibrasyonu	3
	X-ışını ışın düzgünlüğü ve simetrisi	3
	Elektron ışın düzgünlüğü ve simetrisi	3
	Monitör doğrusalığı	1
	End effect	<1 MU

MU: Monitor unit.

Electrotechnical Commission (IEC) gibi uluslararası kuruluşlar ve çeşitli yayınlar tarafından bildirilmiştir<sup>[5]</sup> Burada amaç kalite temini testlerinin, cihazlanma, kalite kontrol araçları, insan gücü ve hasta potansiyeli göz önünde bulundurularak optimum sıklıkta yapılmasını sağlamaktır. Medikal lineer hızlandırıcılarda günlük, aylık ve yıllık dozimetrik kalite temini için gerekli testler, toleranslar ve yapıma sıklıkları Tablo 1’de verilmiştir.<sup>[5]</sup>

Ayrıca 6 MeV ve 18 MeV X ışınları ve 6 MeV ve 18 MeV elektron demetleri için her bir enerji seviyesinde lineer hızlandırıcının: Radyasyon dozunun (veriminin) değişmezliği, doğrusalık (linearite) ve ayrıca kısa ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri yapıldı.

## BULGULAR

Siemens marka Oncor Impression Plus model M5395 seri numaralı lineer hızlandırıcı

**Tablo 2.** 6 MeV X ışını için 300 MU/dk’de doğrusalık verileri

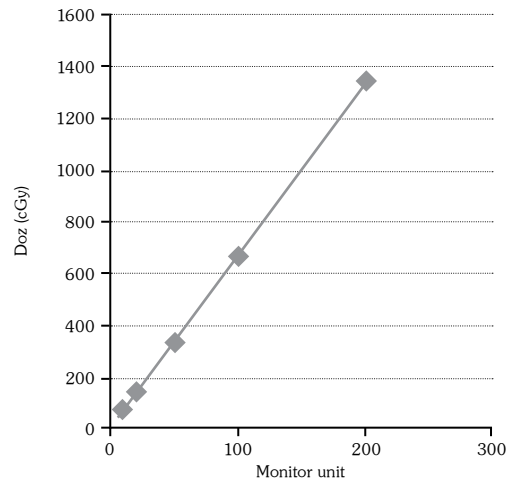
	6 MeV X ışını (300 MU/dk)			
	d=10 cm		k=1.004	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	67.000	67.000	67.100	67.033
20 MU	133.700	133.800	133.900	133.800
50 MU	333.900	333.100	333.800	333.600
100 MU	668.600	668.700	668.800	668.700
200 MU	1339.000	1339.300	1339.000	1339.099

MU: Monitor unit.

cı tedavi cihazının çeşitli monitör ünitelerinde (MU) (10 MU, 20 MU, 50 MU, 100 MU, 200 MU) 6 MeV ve 18 MeV X ışını (sırasıyla 50 MU/dk -300 MU/dk doz oranlarında ışın yapan) ve 6MeV ve 18MeV elektron enerji seviyelerinde ölçümleri yapıldı. Eş merkez uzaklığında 10x10 cm’lik alandan 40x40 cm’lik alana kadar, kaynak dedektör mesafesi 100 cm olacak şekilde kafa (gantry) açısı ve kolimatör açısı izo merkezle sıfır dereceye ayarlanarak, ışının doğrusalığını, ışının verim değişmezliğini, ışının uzun dönem ve kısa dönem kararlılığı kalite kontrol testleri kullanılarak hesaplandı. Çalışmada alınan tüm ölçümler rutin günlük kalibrasyondan sonra alındı. Cihaz konformal tedavi sırasında “NORMAL” konumda çalıştı.

## Doz monitör doğruluğu

“NORMAL” modda, 6 MeV ve 18 MeV X ışını foton enerjilerinin, 50 MU/dk ve 300 MU/dk doz oranında ışın yaptırılarak MU başına doz monitör doğrusalığı araştırıldı. 6 MeV ve 18 MeV X ışını demetlerinde ve 50 MU/dk ve 300 MU/dk doz oranlarında doğrusalığı  $\leq 100$  MU değerlerinde  $\pm 3\%$  içindedir. 6 MeV ve 18 MeV elektron demeti enerji seviyelerinde, eş merkez uzaklığında 10x10’luk alandan 40x40’luk alana kadar alınan ölçümlerde doğrusalığı  $\leq 100$  MU değerlerinde  $\pm 1\%$  içindedir. Ayrıca iki ışınlama yöntemine göre yapılan hesaplamalarda da ışın doğrusalığı  $< 1$  MU değerindedir. 6 MeV ve 18 MeV X ışını ve 6 MeV ve 18MeV elektron demeti enerjileri için yapılan ölçüm sonuçları tablo ve grafik halinde gösterilmiştir.

**Şekil 1.** 6 MeV X ışını için (300 MU/dk) doğrusalık grafiği. MU: Monitor unit.

**Tablo 3.** İki ışınlama yöntemi kullanılarak 6 MeV X ışınlarının doğrusallık verileri

	R4	R1,1	R1,2	R1,3	R1,4	End effect
	Yüzde					
6 MeV X ışını (300 MU/dk)	0.6706	0.1676	0.3353	0.5029	0.6706	0.5

MU: Monitor unit.

6 MeV X ışını için 300 MU/dk'da doğrusallık ölçümleri Tablo 2 ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Ölçümler için kullanılan parametre değerleri şunlardır: kaynak dedektör mesafesi (SSD)=100 cm, kaynak uzaklığı (d)=10 cm, elektrometre sabiti (k)=1.004 ve radyoaktivite değeri= cGy.

İki ışınlama yöntemi kullanılarak 6 MeV X ışınlarının doğrusallık ölçümleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, d=10 cm, sıcaklık (T)=15.4 ve radyoaktivite değeri cGy alınarak yapılmıştır.

6 MeV X ışını için 50 MU/dk'da doğrusallık ölçümleri Tablo 4 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, d=10 cm k=1.004 T=15.4 ve radyoaktivite değeri cGy alınarak yapılmıştır.

18 MeV X ışını için (300 MU/dk) doğrusallık ölçümleri Tablo 5 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, d=10 cm k=1.004 T=15.4 ve radyoaktivite değeri cGy alınarak yapılmıştır.

İki ışınlama yöntemi kullanılarak 18 MeV X ışınlarının doğrusallık ölçümleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, d=10 cm, T=15.4 ve radyoaktivite değeri cGy alınarak yapılmıştır.

18 MeV X ışını için (50 MU/dk) doğrusallık ölçümleri Tablo 7 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

6 MeV elektron için doğrusallık ölçümleri Tablo 8 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, basınç (P)=904 mmHg, T=17, maksimum derinlik (d<sub>max</sub>)=1.2, k=0.982 parametreleriyle alınmıştır.

**Tablo 4.** 6 MeV X ışını için 50 MU/dk'da doğrusallık verileri

	6 MeV X ışını (50 MU/dk)			
	d=10 cm		k=1.004	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	66.700	66.830	66.920	66.816
20 MU	133.600	133.720	133.810	133.710
50 MU	335.200	335.400	335.300	335.300
100 MU	670.500	670.600	671.700	670.933
200 MU	1.343.000	1.343.100	1.343.200	1.343.099

MU: Monitor unit.

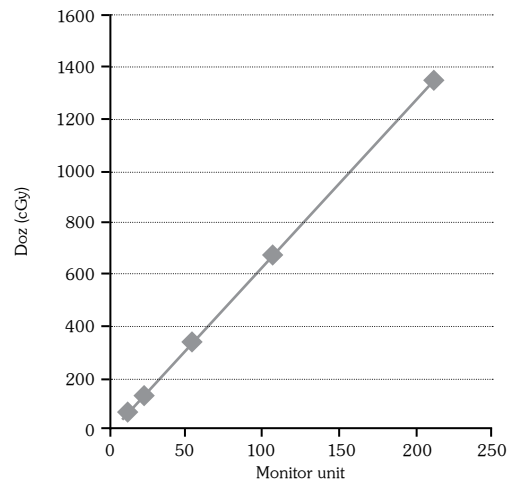
6 MeV elektron için iki ışınlama yöntemi kullanılarak doğrusallık ölçümü Tablo 9'da gösterilmiştir.

18 MeV elektron için doğrusallık ölçümleri Tablo 10 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Ölçümler SSD=100 cm, P=904 mmHg, T=17, d<sub>max</sub>=2 cm, k=0.918 parametreleriyle alınmıştır.

18 MeV elektron için iki ışınlama yöntemi kullanılarak doğrusallık ölçümü Tablo 11'de gösterilmiştir.

### Verim değişmezliği ölçümü

“NORMAL” modda, 6 MeV ve 18 MeV X ışını foton enerjilerinin, 50 MU/dk ve 300 MU/dk doz oranında ışına yaptırılarak verim değişmezliği kalibrasyonu yapıldı. 6 MeV ve 18 MeV X ışını demetlerinde ve 50 MU/dk ve 300 MU/dk doz oranlarında foton ışınlarının veriminin değişmezliği ≤100 MU değerlerinde ±%3 içindedir. 6 MeV ve 18 MeV elektron enerji seviyelerinde, eş merkez uzaklığında 10x10'luk alandan 40x40'luk alana kadar alınan ölçümlerde verim değişmezliği ≤100 MU değerlerinde ±%3 içindedir. 6 MeV ve 18 MeV X ışını foton enerjilerinin 300 MU/dk ve 50 MU/dk değerlerinde verim değişmezliği ölçümleri tablo halinde gösterilmiştir.

**Şekil 2.** 6 MeV X ışını 50 (MU/dk) doğrusallık grafiği. MU: Monitor unit.

**Tablo 5.** 18 MeV X ışını için (300 MU/dk) doğrusallık verileri

	18 MeV X ışını (300 MU/min)			
	d=10 cm		k=1.004	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	79.700	79.800	79.900	79.800
20 MU	155.900	155.110	155.100	155.370
50 MU	390.700	390.800	390.900	390.800
100 MU	780.900	780.110	780.100	780.370
200 MU	1563.000	1564.000	1562.000	1563.000

MU: Monitor unit.

6 MeV X ışını için 300 MU/dk ve 50 MU/dk değerinde verim değişmezliği ölçümleri Tablo 12’de gösterilmiştir.

18 MeV X ışını için 300 MU/dk ve 50 MU/dk değerinde verim değişmezliği ölçümleri Tablo 13’te gösterilmiştir.

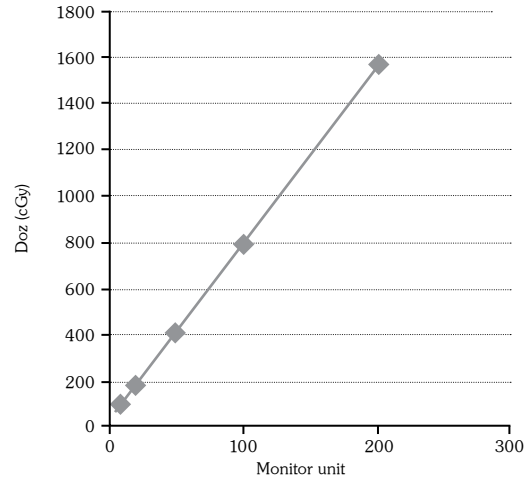
### Kısa ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri

“NORMAL” modda, 6 MeV ve 18 MeV X ışını foton enerjileri için bir günde 100 MU da üç ışınlama (günün başlangıcında, ortasında, bitişinde) ve bundan bir hafta sonra 100 MU’da üç ışınlama yaptırılarak fotonların sırasıyla kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı kalibrasyonu yapıldı. Kalibrasyon sonucunda foton ışınının simetrikliği ve düzgünlüğü  $\pm\%3$  değerleri içindeydi. 6 MeV ve 18 MeV elektron enerji seviyelerinde, eş merkez uzaklığında 20x20’lik alanda, bir günde 100 MU’da üç ışınlama ve bundan bir hafta sonra 100 MU’da üç ışınlama yaptırılarak fotonların sırasıyla kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı kalibrasyonu yapıldı. Bulunan sonuçlarda elektron ışınının simetrikliği ve düzgünlüğü  $\pm\%3$  değerleri içindeydi. 6 MeV ve 18 MeV X ışını ve 6 MeV ve 18 MeV elektron demeti enerjileri için kısa ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri tablo halinde gösterilmiştir.

6 MeV X ışını için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri Tablo 14’te gösterilmiştir.

18 MeV X ışını için kısa ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri Tablo 15’te gösterilmiştir.

6 MeV elektron demeti için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri Tablo 16’da gösterilmiştir.

**Şekil 3.** 18 MeV X ışını için (300 MU/dk) doğrusallık grafiği. MU: Monitor unit.

18 MeV elektron demeti için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı ölçümleri Tablo 17’de gösterilmiştir.

## TARTIŞMA

Madde ile etkileştiğinde elektrik yüklü parçacıklar veya iyonlar oluşturan X-ışınları ile radyoaktif maddelerden yayılan alfa, beta, gama ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyon tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Madde içinden kolayca geçebilen ve gözle görülemeyen bu ışınlar bir maddeden geçerken pozitif ve negatif iyonların oluşmasına neden olduklarından iyonlaştırıcı radyasyonlar olarak tanımlanırlar.<sup>[6]</sup> Lineer hızlandırıcı tedavi cihazları, uzun tüp boyunca yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanarak elektronlar gibi yüklü parçacıkların enerjilerini artırmak için hızlandırılarak elektron ve X ışını üretmek amacı ile kullanılırlar.<sup>[7]</sup>

İyonize radyasyon uygulamak amacıyla radyoaktif Co-60 kaynağının bozunması sırasında açığa çıkan gama ışınları ile tedavi yapan mega voltaj tedavi cihazları, elektromanyetik alanda hızlandırılan elektronları ya da bu hızlandırılmış elektronların yüksek atom ağırlıklı bir maddeye çarptırılmasıyla elde edilen yüksek enerjili X ışınlarını kullanan lineer hızlandırıcılar

**Tablo 6.** İki ışınlama yöntemi kullanılarak 18 MeV X ışınlarının doğrusallık verileri

	R4	R1,1	R1,2	R1,3	R1,4	End effect
	Yüzde					
18 MeV X ışını (300 MU/dk)	0.7814	0.1953	0.3906	0.5859	0.7812	3.4

MU: Monitor unit.

ve röntgen tüplerinde daha düşük enerjilerde X ışınları üreten orta voltaj tedavi cihazları kullanılmaktadır. X ışınlarının enerji ve dalga boyu hedefin atom numarasına ve katot ışını elektronlarının enerji ve hızlarına bağlıdır. Düşük enerjili X ışınları (50-500 KeV) değişik gerilimli röntgen cihazlarıyla sağlanarak, tanı ve yüzey tümörlerin (3 cm derinlikten az) tedavisinde kullanılır. Yüksek enerjili X ışınları (4-25 MeV) ise; günümüzde lineer hızlandırıcılarla elde edilmektedir ve derine yerleşmiş tümörlerin tedavisinde kullanılır.<sup>[7]</sup>

**Tablo 7.** 18 MeV X ışını için (50 MU/dk) doğrusallık verileri

	18 MeV X ışını (50 MU/dk)			
	d=10 cm		k=1.000	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	78.2	78.3	78.5	78.333
20 MU	156.8	156.8	156.9	156.833
50 MU	392.6	392.7	392.8	392.700
100 MU	784.2	784.3	784.4	784.300
200 MU	1568.0	1569.0	1567.0	1568.000

MU: Monitor unit.

**Tablo 8.** 6 MeV X ışını için 300 MU/dk'da ve 50 MU/dk'da verim değişmezliği verileri

	6 MeV X ışını	
	50 MU/dk	300 MU/dk
Ölçüm 1	1.348	1.342
Ölçüm 2	1.346	1.345
Ölçüm 3	1.345	1.346
Verim değişmezliği (%)	0.223	0.298

MU: Monitor unit.

**Tablo 9.** 18 MeV X ışını için 300 MU/dk'da ve 50 MU/dk'da verim değişmezliği verileri

	18 MeV X ışını	
	50 MU/dk	300 MU/dk
Ölçüm 1	1.578	1.570
Ölçüm 2	1.575	1.569
Ölçüm 3	1.576	1.570
Verim değişmezliği (%)	0.190	0.063

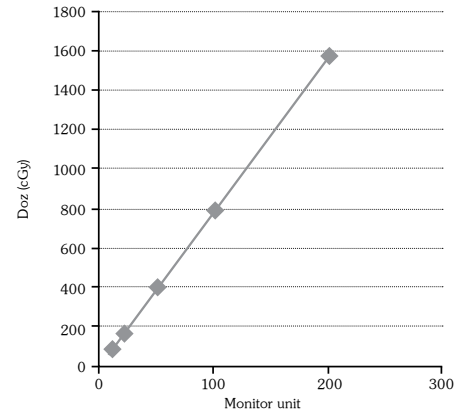
MU: Monitor unit.

**Tablo 10.** 6 MeV elektron için doğrusallık verileri

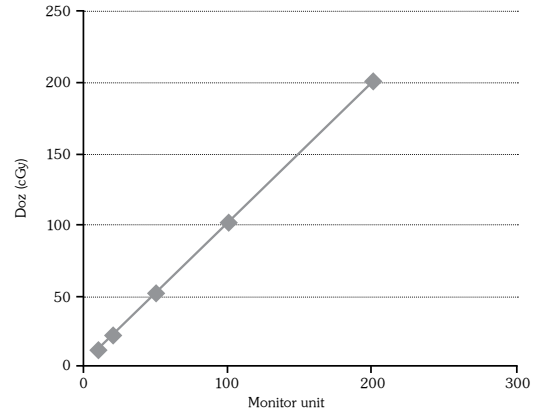
	6 MeV elektron			
	d max=1.2		k=0.982	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	10.2	10.0	10.4	10.2
20 MU	20.2	20.2	20.2	20.2
50 MU	50.4	50.0	50.2	50.2
100 MU	99.8	100.0	100.0	99.9
200 MU	199.4	199.4	199.6	199.5

MU: Monitor unit.

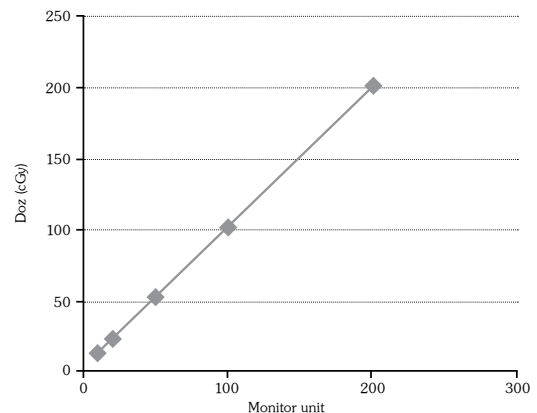
İyonizan radyasyonların kanser tedavisinde kullanılmaya başlamasından bu yana da sayıları çok fazla olmamakla birlikte küçük veya büyük çaplı bazı kazalar meydana gelmiştir. Sevindirici olan son 10 yılda meydana gelen kazaların sayılarının



**Şekil 4.** 18 MeV X ışını için (50 MU/dk) doğrusallık grafiği. MU: Monitor unit.



**Şekil 5.** 6 MeV Elektron için doğrusallık grafiği.



**Şekil 6.** 18 MeV Elektron için doğrusallık grafiği.

**Tablo 11.** 6 MeV elektron için iki ışınlama yöntemi kullanılarak doğrusallık verileri

	R4 (100 MU)	R1,1 (25 MU)	R1,2 (25 MU)	R1,3 (25 MU)	R1,4 (25 MU)	End effect Yüzde
E6	0.6706	0.1676	0.3353	0.5029	0.6706	0.5

MU: Monitor unit.

azalmasıdır. Bu kazaların büyük bir çoğunluğu ya personelin eğitim yetersizliği ve dikkatsizliğinden ya da idari mekanizmaların yanlışlıklarından kaynaklanmıştır.<sup>[8]</sup>

Tümörün ve normal dokuların aldığı dozu hesaplarırken dikkate alınması gereken pek çok faktör vardır. Bu faktörlerden birinde yapılacak hata hedef bölgenin yeterli doz alamamasına veya korunması gereken normal dokuların yüksek doza maruz kalmasına neden olabilir. Bu durum ise hastanın tedavisinin başarısız olması, tedavi sonrası radyasyon nedeniyle ikincil kanserlerin gelişmesi, hatta bazı ender durumlarda hastanın yüksek doz nedeniyle ölmesiyle sonuçlanabilir.<sup>[9]</sup>

Radyoterapi tedavisi sırasında yüksek teknolojiyle üretilmiş cihazlar kullanılmaktadır, fakat yüksek teknolojiye sahip cihaz kullanıyor olmak iyi ve kusursuz bir radyoterapi uygulamasının garantisini vermez. Tedavi sırasında bir takım kazalar meydana gelebilir. Nedenleri açısından incelendiğinde, kazaların en sık görülen nedeni %50 ile endüstriyel radyolojik radyasyon kazaları, ikinci sıklıktaki nedeni ise %37 ile tıbbi radyolojik kazalardır. Tıbbi kazalarda radyoterapi-brakiterapi bu olayların başında gelmektedir (%70). Diğer nedenler ise sterilizasyon amaçlı ışınlamalar (%15), girişimsel radyoterapi ve nükleer tıp kazalarıdır. Kosta Rika'nın başkenti San José'deki San Juan de Dios Hastanesi'nde Co-60 radyoterapi cihazı değiştirildikten sonra, yeni kaynak kalibre edilirken doz hızının %50-60 daha düşük hesaplanması radyasyon kazasına neden olmuştur. Bu yanlış hesaplama sonucunda hastalara verilmesi

gereken hem çok daha yüksek dozlarda hem de daha uzun sürelerde uygulanmıştır. Kaza, radyoterapi uygulaması sonrasında hastalarda deride kızarıklıklar, diyare, karın ağrısı gibi akut radyasyon sendromu etkileri görülmesi üzerine doktorun, hastanede bulunan iki radyoterapi ünitesinin (Theratron ve Alcyon II) doz hızlarının yeniden incelenmesini talep etmesi üzerine ortaya çıkmış, yapılan hesaplamalar sonucunda hastalara 1.66 kat daha yüksek doz verildiği anlaşılmıştır. Yapılan incelemede bir ay boyunca tedavi gören toplam 115 hastanın yüksek doza maruz kaldığı anlaşılmıştır. Bu hastaların 42'si dokuz ay içinde hayatını kaybetmiştir. Hasta dosyalarından yapılan değerlendirmeler sonucunda, üç hastanın fazla doz nedeniyle öldüğü, dört hastanın ölümünde de yüksek dozun büyük katkısı olduğu saptanmıştır.<sup>[10]</sup>

Yüksek doza maruz kalmayı takiben hastaların çoğunda, deride ülserleşme, şiddetli mukositis, mide bulantısı, kusma ve diyare gibi akut etkiler görülmüştür. Bu dozlarda meydana gelebilecek subakut ve kronik etkilerin büyük bir kısmı radyasyona duyarlı bazı dokuların fazla doza maruz kalması veya bazı arteriyollerin lümenlerinin radyasyon nedeniyle çoğunlukla geri dönüşümsüz veya çok uzun süreli daralması sonucu gelişmektedir.<sup>[9]</sup>

Üç boyutlu konformal radyoterapinin amacı, hedef alandaki kanserli hücreleri öldürebilecek maksimum dozu sağlarken çevre sağlam dokulardaki hücrelere minimum ölçüde zarar vermektir. Bunun içindir ki lineer hızlandırıcı tedavi cihazları için IAEA'nın belirlediği belirli periyotlarda (yıllık, aylık, günlük) yapılması gereken kalite kontrol ve kabul testlerinin düzenli bir şekilde cihaza uygulanması gerekir. Dozimetrik parametreler tolerans limitleri içinde olmalıdır. Bu çalışma sonucunda testlerini yaptığımız lineer hızlandırıcı tedavi cihazının kabul testlerinin ve monitör iyon odası performans testlerinin kabul edilebilir limit değerler içerisinde olduğu tespit edildi.

Radyasyon tedavisinin başarısı veya başarısızlığında tümöre verilen dozun doğruluğu önemlidir. Belirlenmiş noktaya verilen doz,

**Tablo 12.** 18 MeV elektron için doğrusallık verileri

	18 MeV elektron			
	d max=2 cm		k=0.918	
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Oran
10 MU	10.2	10.0	10.2	10.133
20 MU	20.4	20.2	20.4	20.133
50 MU	50.2	50.0	50.2	50.133
100 MU	100.2	100.0	100.0	100.066
200 MU	199.4	199.4	199.4	199.400

MU: Monitor unit.

**Tablo 13.** 18 MeV elektron için iki ışınlama yöntemi kullanılarak doğrusallık verileri

	R4 (100 MU)	R1,1 (25 MU)	R1,2 (25 MU)	R1,3 (25 MU)	R1,4 (25 MU)	End effect Yüzde
E18	0.988	0.248	0.496	0.744	0.996	-0.267

MU: Monitor unit.

tanımlanan dozun  $\pm\%5$ 'i içinde olmalıdır. Tedavi cihazlarına iyi bir radyoterapi için kabul edilebilir bir standardın konması ve cihazın başarıyla çalışmasının sağlanması için kalite temini programlarına gereksinim vardır. Medikal lineer hızlandırıcılar radyasyon tedavi cihazlarının çoğunluğunu kapsar. Bu cihazların giderek yoğun bilgisayar kontrollü olarak imal edilmeleri bu cihazların kontrollerini daha da karmaşık hale getirmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar Siemens marka Oncor Impression Plus model lineer hızlandırıcı tedavi cihazının 10 MU, 20 MU, 50 MU, 100 MU ve 200 MU değerlerinde performansının iyi olduğunu ortaya koymuştur. Demet profili kararlılığı 200 MU değerinde dahi istenen sınır değerleri içindedir. Lineer hızlandırıcı tedavi cihazının küçük MU değerlerinde ve küçük segment boyutlarında dozimetrik performansının değerlendirilmesi ve planlama sis-

**Tablo 14.** 6 MeV X ışını için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı verileri

100 MU	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3
Kısa dönem	0.779	0.781	0.782
Uzun dönem	0.780	0.782	0.780

**Tablo 15.** 6 MeV elektron demeti için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı verileri

100 MU	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3
Kısa dönem	0.682	0.680	0.679
Uzun dönem	0.681	0.679	0.678

**Tablo 16.** 6 MeV elektron demeti için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı verileri

100 MU	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3
Kısa dönem	0.682	0.680	0.679
Uzun dönem	0.681	0.679	0.678

**Tablo 17.** 18 MeV Elektron demeti için kısa dönem ve uzun dönem kararlılığı verileri

100 MU	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3
Kısa dönem	100.1	100.1	100.0
Uzun dönem	100.2	100.0	100.0

temi ile uyumu konulu yapılan bir çalışmada yoğunluk ayarlı radyoterapi tekniği kullanılarak daha küçük MU değerlerinde monitör iyon performansı incelenmiş ve sonuçların beklenen değer içinde olduğu görülmüştür.<sup>[11]</sup> Yaptığımız çalışmada çeşitli MU değerlerinde konformal radyoterapi uygulandı ve cihazın monitör iyon odası performansının normal referans aralıkları içerisinde olduğu tespit edildi. Sonuçlar beklenen referans değerlerinin üstünde olsaydı, bu durumda hastalar fazla doza maruz kalacaklardı ve radyoterapinin amacına uyulmamış olacaktı.

Çalışma sonucunda Siemens marka Oncor Impression Plus M5395 model lineer hızlandırıcı tedavi cihazının, BJR ve IAEA standartlarında uygun olduğu tespit edildi. Böylelikle bu lineer hızlandırıcı cihaz ile tedavi olan hastalar için en iyi radyasyon tedavisinin gerçekleşmiş olduğu görüldü. Lineer hızlandırıcı cihazları için günlük, aylık ve yıllık yapılması gereken kalite kontrol testlerinin düzenli olarak yapılmasının radyasyon kazalarını önlemede etkili olacağı düşünüldü.

#### Çıkar çakışması beyanı

Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlanması aşamasında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan etmişlerdir.

#### Finansman

Yazarlar bu yazının araştırma ve yazarlık sürecinde herhangi bir finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

## KAYNAKLAR

1. Oyar O. Radyolojide Temel Fizik Kavramlar. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 1998. s. 3-5.
2. Pala FS. Accidents in radiation therapy units; reasons and consequences. Balkan Med J 2006;23:103-8.
3. International Atomic Energy Agency. Accidental over exposure of radiotherapy patients in San Jose, Costa Rica. Vienna: IAEA; 1998.
4. Linear Accelerator Physics Primer Manual, Siemens Medical Solutions. Forchheim: Siemens AG; 2005. p. 7-12.



5. UROK. Temel radyoterapi. Radyasyon Fiziği ve Radyobiyojoloji Kursu Programı. V. Ulusal Radyasyon Onkolojisi Kongresi. 20-23 Nisan, Kuşadası, İzmir: 2002.
6. Daşdağ S. Ionizing radiations and cancer. *Dicle Med J* 2010;37:177-85.
7. Khan FM. The physics of radiation therapy. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 3-58.
8. International Atomic Energy Agency and World Health Organization. Planning the medical response to radiological accidents. Vienna: IAEA Safety Report Series 1998. p. 31.
9. International Atomic Energy Agency. ICRP 86. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. Vienna: IAEA; 2000.
10. International Atomic Energy Agency report. Investigation of an accidental exposure of radiotherapy patients in Panama. Vienna: IAEA; 2001.
11. Ceylan C, Kucuk N, Bas Ayata H, Guden M, Engin K. Dosimetric and physical comparison of IMRT and CyberKnife plans in the treatment of localized prostate cancer. *Rep Pract Oncol Radiother* 2010;15:181-9.