

Radyoterapi Işınlarnının Kalite Kontrolünde Yarı İletken Diyot ve Silindirik İyon Odası Performanslarının Karşılaştırılması

Serkan Okay^{1,*}, Bayram Demir², Asuman Öztaş³

¹MESİ Medikal Sistemler A.Ş. Altunizade, 34662, Üsküdar, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 34134, Fatih, İstanbul

³Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, 34384, Şişli, İstanbul

*Yazışılan yazar e-posta: serkanokay@hotmail.com

Alınış: 19 Ağustos 2013, Kabul: 01 Ekim 2012

Özet: Bu çalışmada; 6 ve 18 MV foton ışınları kullanılarak yarı iletken diyotlar ve silindirik iyon odalarının su fantomunu performansları incelenmiştir. Bu amaçla, yüzde derin doz ve doz profillerinden elde edilen çeşitli veriler bir birleri ile karşılaştırıldı. Değerler arasındaki farklar genel olarak limitler içinde tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda diyot ve iyon odası tipindeki detektörlerin her ikisinin de su fantomu ile yapılan rutin ölçümlerde kullanılabileceği görülmüştür. Fakat detektör yapılarının tamamen farklı oluşu sebebiyle aralarında bazı dozimetrik farklar mevcuttur. Bu farklar gözetilerek detektör kullanımları arasında tercih yapılabilir.

Anahtar kelimeler: Diyot, iyon odası, radyoterapi, dozimetri

A Comparison for the Performances of Semiconductor Diodes and Cylindrical Ion Chambers in the Quality Control of Radiotherapy Beams

Abstract: In present study, water phantom performances of using 6 and 18 MV photon beams were investigated. For this purpose, several data obtained from percent depth dose graphics and dose profiles were compared to each other. It was determined that the differences between the values were generally found within the limits. In the end of study, it was seen that semiconductor diodes and cylindrical ion chambers can be used interchangeably. But, there are some dosimetric differences between both detectors because of different detector structures. Choice of the detector can be made by taking into account these differences.

Key words: Diode, ion chamber, radiotherapy, dosimetry

1.Giriş

Radyoterapi, kanserli hücreleri yok etmek için iyonizan radyasyon kullanılarak uygulanan bir tedavi şeklidir. Gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan yeni tedavi teknikleriyle kansere karşı verilen savaşta her geçen gün ilerleme görülmektedir. Tedavinin uygulanması esnasındaki amaç tümöre en yüksek dozu verirken, sağlıklı hücreleri ve kritik organları olabildiğince korumaktır. Bu nedenle tümörün lokalizasyonu çok önemlidir. Doğru lokalizasyonla birlikte aynı öneme sahip doğru ışınlama da tedavinin temelini oluşturmaktadır. Doğru ışınlama yapılabilmesi için demet kalitesinin düzenli olarak kontrol edilmesi gereklidir. İşte bu ihtiyaçtan ötürü dozimetri kavramı ortaya atılmış ve kontrol amaçlı yapılması gerekli çalışmalar ve periyotları zaman içerisinde belirlenmiştir [1,2].

Kontrol amaçlı yapılması gereken ölçümlerin bir kısmı da su fantomu adı verilen, içi su doldurulmuş bir tank ve tank içerisinde bir detektörü üç boyutta hareket edebilecek şekilde tasarlanmış, bilgisayar kontrollü sisteme sahip olan cihazlar ile yapılır. Radyasyonun detektörle etkileşimi ile ortaya çıkan düşük seviyeli elektrik yükleri yükseltilecek analiz edilebilecek seviyelere getirilir. Bu işlemi gerçekleştiren su fantomu birimine elektrometre denir. Elektrometrede oluşturulan yükseltilmiş sinyaller bilgisayara yüklü olan yazılım vasıtasıyla işlenerek grafik haline gelir [3,4].

Su fantomu ile ışının demet kalitesi kontrol edilir. Işının girciliği ve homojenitesi demet kalitesini belirleyen temel parametrelerdir. Işının girciliğinin tespit edilmesi amacıyla merkezi eksen boyunca su içerisinde hareket eden bir detektör aracılığıyla elde edilen derin doz grafiği kullanılır. Homojenite kontrolü için ise merkezi eksenini dik kesen yatay ekseninde farklı derinliklerde ve alanlarda alınan doz profilleri kullanılır. Su fantomuyla yapılan ölçümlerde genellikle küçük hacimli iyon odaları kullanılmakla birlikte gelişen malzeme teknolojisi ile yarı iletken detektörler ortaya çıkmış ve iyon odalarına iyi bir alternatif olarak çeşitli ışınların dozimetrisinde kullanılmaya başlanmıştır [5,6].

Bu çalışmada bir medikal lineer hızlandırıcının ışın kalite kontrolünde kullanılan üç boyutlu su fantomuna ait farklı detektör tiplerinden; yarı iletken diyotlar ve silindirik iyon odaları ile aynı şartlarda alınan ölçümler incelenmiştir. Ölçümler sonucunda bu iki farklı tip detektörün rutin kullanımları ile ilgili veriler elde etmek, bu veriler yardımıyla bunların kullanım uygunluğunu incelemek ve elde edilen verileri birbirleriyle karşılaştırmak amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Elekta Precise Lineer Hızlandırıcı Cihazı

Çalışma sırasında kullanılan Elekta Precise lineer hızlandırıcı cihazı, 6 MV ve 18 MV enerjili iki foton, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20 ve 22 MeV enerjili sekiz elektron enerjisine sahip bir lineer hızlandırıcıdır. Elde edilen yüksek enerjili elektronlar direkt olarak yüzeysel tümörlerin tedavisinde kullanılabildiği gibi, tungsten bir hedefe çarptırılarak X-ışınları elde edilerek daha derinlerdeki tümörlere ulaşılmasını mümkün kılmaktadır. Elekta Precise lineer hızlandırıcı cihazının ışınlama kafası içinde sırayla tungsten hedefi, hareketsiz birincil kolimatör, ışın tedavisinde kullanılan tungsten, wolfram ve alüminyum kombinasyonu olan ve bir çanı andıran düzleştirici filtre, iki tane monitör iyon odası, 60°'lik motorize kama filtre, x-y diyafram ve 80 yapraklı kolimatör (MLC) sistemi bulunur. Cihaz 360° gantri, 360° kolimatör, 180° tedavi masası eşmerkez rotasyonu yeteneğine sahiptir. Ayrıca tedavi masası düşey, ileri-geri ve yatay doğrultularda hareket edebilmektedir. Hastanın tedavi konumunu sabitlemede kullanılan iki ayrı doğrultuda (düşey- yatay) üç lazer ve kaynak yüzey mesafesini gösteren ışıklı bir gösterge mevcuttur. Hastaya gönderilebilen ışın demetinin boyutları 2x2 cm² ile 40x40 cm² arasındadır.

2.2. IBA WP700 Üç Boyutlu Su Fantomu Dozimetre Sistemi

Su fantomu, ışına ait derin doz, profil, doz verimi gibi dozimetrik ölçümlerin yapılmasını sağlayan ve buradan elde edilen verilerin analizini yapan bilgisayar kontrollü sistemdir. Su fantomunun fiziksel hacmi $58 \times 61 \times 53 \text{ cm}^3$ ebatlarında olup, mekanik limitleri $x=48\text{cm}$, $y=48 \text{ cm}$, $z=48 \text{ cm}$ 'dir. Duvar kalınlığı ise $1,2 \text{ cm}$ 'dir. Yazılım (software) olarak OmniPro Accept 6.1 program versiyonu kullanılmıştır. Su fantomunda alınacak ölçümler için alan ve referans detektörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu detektörler iyon odası veya diyot tipi olabilir. Referans ve alan dedektörleri CU500E model elektrometreye bağlı olarak kullanılır. Bütün su fantomu kontrolleri bu elektrometreye RS232 tipi kablo ile bağlı olan bilgisayardaki yazılım ile sağlanır.

2.3. IBA CC13 İyon Odası Detektörü

IBA CC13 iyon odası detektörleri bağıl (rölatif) ölçümler sırasında üç boyutlu su fantomu ile kullanılırlar. Hem elektron hem de foton ışınları ölçümlerinde kullanılabilirler. Su geçirmezlik özelliği sayesinde su içinde ve ayrıca özel ölçüm şapkalarıyla birlikte hava ölçümlerinde de kullanılabilirler. İyon odasının hacmi 0.13 cm^3 'tür. Duvar kalınlığı 0.4 mm (70 mg/cm^2) ve toplam uzunluğu 5.8mm 'dir. Duvar malzemesi yoğunluğu 1.32 g/cm^3 olan PEEK'ten, elektrotu ise yoğunluğu 1.76 g/cm^3 olan Shonka C522'den yapılmıştır. Ölçüm alabilmesi için ihtiyaç duyduğu polarizasyon voltajı $\pm 300 \text{ V}$ 'tur.

2.4. IBA Yarı İletken Diyot Detektörler

IBA yarı iletken diyot detektörleri 1992 yılından itibaren radyasyon dozimetrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Tıpkı CC13 iyon odaları gibi bağıl (rölatif) ölçümler sırasında üç boyutlu su fantomu ile kullanılırlar. Tipine bağlı olarak foton veya elektron ölçümlerinde kullanılırlar. Su geçirmezlik özelliği sayesinde su içinde, ayrıca özel ölçüm şapkalarıyla hava ölçümlerinde kullanılabilirler. P tipi silikon malzemeden üretilmişlerdir. Ölçüm alabilmesi için herhangi bir polarizasyon voltajına ihtiyaç duymaz. Yüksek uzaysal çözünürlük gerektiği ölçümlerde çok iyi netice vermektelerdir. Elektron ölçümlerinde iyonizasyon-doz çevirimine ihtiyaç duymaksızın direk olarak sonucu gösterir.

2.5. Ölçüm Düzenegi

Bu çalışmada incelenen yüzde derin doz ve doz profili ölçümleri için şekil 1 de görülen ölçüm düzenegi kurulmuştur. Sistem hızlandırıcı odası içerisinde kurulu olup, oda dışına yerleştirilmiş bilgisayarlı kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir.

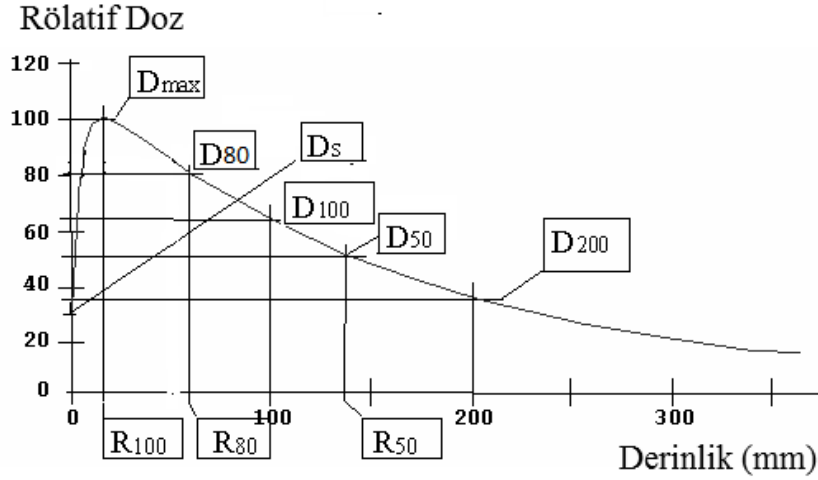


Şekil 1. Lineer hızlandırıcı, su fantomu ve dedektörlerden oluşan ölçüm düzeneği.

2.6. Yüzde Derin Doz (%DD) Ölçümleri

Yüzde derin doz, kaynak-yüzey arası mesafe sabit kalacak şekilde merkezi eksen üzerinde herhangi bir noktada ölçülen dozun maksimum doz noktasında (d_{max}) ölçülen doza oranının yüz ile çarpımı olarak ifade edilir. Dozimetrik açıdan %DD değerlerinin ölçülmesindeki amaç, lineer hızlandırıcının kabul testlerinde elde edilen değerlerden maksimum %2 sapmaya izin verilerek makinenin çalışmasını temin edilmesidir. Elde edilen derin doz eğrisindeki bazı önemli dozimetrik noktaların değerleri kontrol edilir. (Şekil 2)

%DD ölçümleri iki foton enerjisi 6MV ve 18MV enerjileri için hedef-su yüzeyi mesafesi 100 cm olacak şekilde merkezi eksen boyunca yapıldı. Ölçümler 10 cm x 10 cm alanda yüzey seviyesinden 21cm'lik derinliğe kadar yapıldı. Ölçümler su fantomunun sürekli (continuous) modunda alındı. Bu grafikte; R_{max} : yüzey ile maksimum dozun olduğu nokta arası mesafedir. R_{80} : yüzey ile maksimum dozun %80'e indiği nokta arasındaki mesafedir. R_{50} : yüzey ile maksimum dozun %50'sine indiği nokta arasındaki mesafedir. D_s : yüzey dozudur. Ancak diyot ve silindirik iyon odası ile yüzey dozu ölçümünün mümkün olmamasından dolayı yüzey dozu kıyaslaması yapılmamıştır. Çalışmada bu değerlerin yanında D_{200} / D_{100} doz oranına da bakılarak enerjilerin tespitinde diyot ve iyon odası kıyaslaması da yapılmıştır.

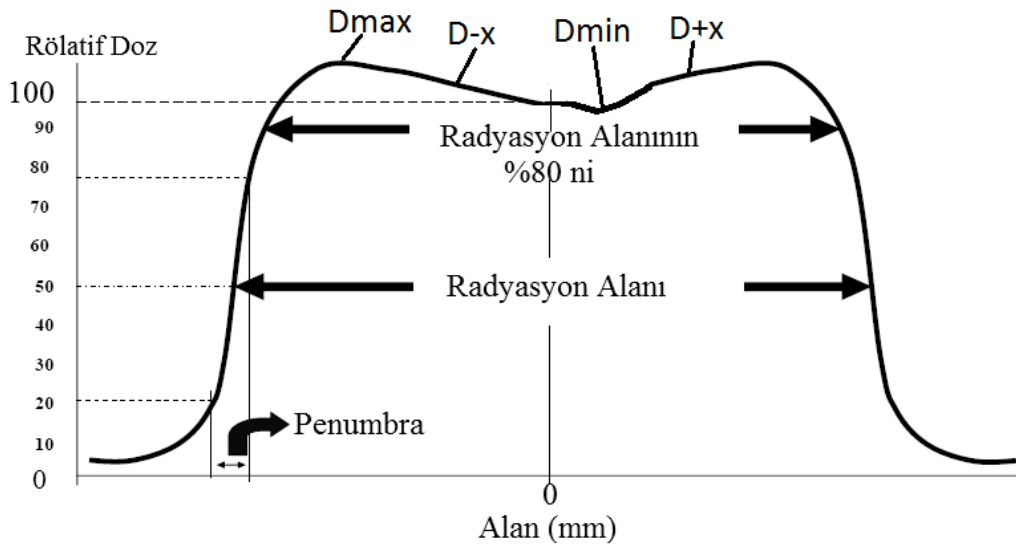


Şekil 2. Yüzde derin doz eğrisi üzerinde tanımlanmış önemli dozimetrik noktalar. Grafik maksimum doz noktasına (D_{max}) normalize edilmiştir.

2.7. Doz Profili Ölçümleri

Doz profili bize ışının merkezi ekseninden sapma oranını verir. Bu değer fantom içerisinde ışın merkez eksenine dik bir düzlemde ve belirli bir derinlikte, merkez noktası dışında kalan noktalarda okunan doz değerinin merkez noktasında okunan doz değerine oranlanmasıyla bulunur. Bu noktalarla oluşturulan grafiğe profil denir (Şekil 3).

Profil ölçümleri iki foton enerjisi 6MV ve 18MV enerjileri için hedef-su yüzeyi mesafesi 100 cm ve merkezi eksene dik olacak şekilde yapıldı. Ölçümler maksimum doz noktaları (d_{max}), 10 cm, 20 cm olmak üzere üç farklı derinlikte ve 30cm x 30cm'lik alanda, X eksenı boyunca (inline) ve Y eksenı boyunca (crossline) alındı. Ölçümler su fantomunun sürekli (continuous) modunda alındı.



Şekil 3. Doz profili grafiği. Grafik alan merkezine normalize edilmiştir.

2.7.1. Simetri

Işın homojenitesinin kontrolünde kullanılan ilk parametre simetridir. Simetri değerleri nokta farkı prensibine (point difference) göre hesaplandı. Bu hesaba göre; düzleştirilmiş alan (flattened area) boyunca, merkez ekseninden eşit uzaklıktaki grafiğin solundaki ve sağındaki noktalar arasındaki maksimum doz farkı, simetri olarak tanımlıdır (Şekil 3). Aşağıdaki formülle hesaplanır ve % üzerinden tanımlanır [7].

$$\text{Simetri} = (D_{-x} / D_{+x}) \times 100$$

2.7.2. Düzgünlük (Flatness)

İkinci parametre ışın düzgünlüğüdür. Düzgünlük, ortanın üzerindeki değişimler prensibine (variation over mean %80) göre hesaplandı. Buna göre; merkezinde 100'e normalize edilmiş profil eğrisinde düzleştirilmiş alan boyunca dozun %80 ve üzeri olan bölgesinde hesaplanır (Şekil 3) Aşağıdaki formülle hesaplanır ve % üzerinden tanımlanır [7].

$$\text{Düzgünlük} = (D_{\max} / D_{\min}) \times 100$$

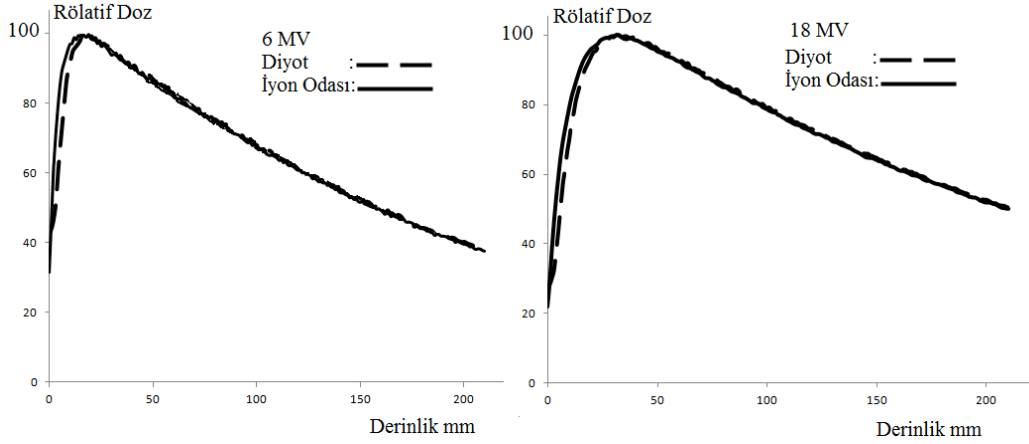
2.7.3. Penumbra

Profilin sağında ve solunda olmak üzere iki değerden oluşur. Grafiğin her iki yanında %20 ile %80 lik izodozların geçtiği mesafelerin farkları olarak tanımlanmış mesafedir, birimi mm dir (Şekil 3) [8].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada bir lineer hızlandırıcının kalite kontrolünde kullanılan üç boyutlu su fantomuna ait farklı detektör tiplerinden; yarı iletken diyotlar ve silindirik iyon odalarıyla aynı şartlarda alınan ölçümler incelenmiştir. Bu incelemede demet kalitesinin belirlenmesinde kullanılan yüzde derin doz eğrileri ve doz profilleri ölçümleri kullanılmıştır. Tüm ölçümler 6MV ve 18MV olmak üzere iki farklı foton enerjisi için tekrarlanmıştır. Bu ölçümlerde diyot ve iyon odası ile çeşitli grafikler elde edilmiş ve bu grafiklerde dozimetrik açıdan önemli sayılan parametreler karşılaştırılmıştır.

İlk ölçümler olan yüzde derin doz ölçümleri 10x10 cm² alanda, yüzeyden 21cm derinliğe kadar ölçülmüştür (Şekil 4). Bu grafikten elde edilen veriler ışığında ışının giriciliği hakkında çeşitli bilgiler edinildi (Tablo 1). Bunlar dozun maksimum olduğu nokta R_{max}, dozun %80'a düştüğü mesafe olan R₈₀ ve maksimum dozun yarıya düştüğü mesafe R₅₀'dir. Ayrıca 10cm deki doz değeri (D₁₀₀), 20 cm deki doz değeri (D₂₀₀), enerji kalitesini gösteren D₂₀₀/D₁₀₀ oranları da hesaplandı. Diyot ve iyon odası %DD parametreleri arasında genel olarak iyi bir uyumun olduğu, en yüksek farkın 6 MV R₈₀ değerleri arasında 5 mm olduğu, diğer bütün farkların 2 mm içinde kaldığı tespit edilmiştir. Enerji tespitinde kullanılan D₂₀₀/D₁₀₀ değerlerinin gayet iyi çakıştığı ve farklarında % 2 içinde kaldığı tespit edilmiştir.

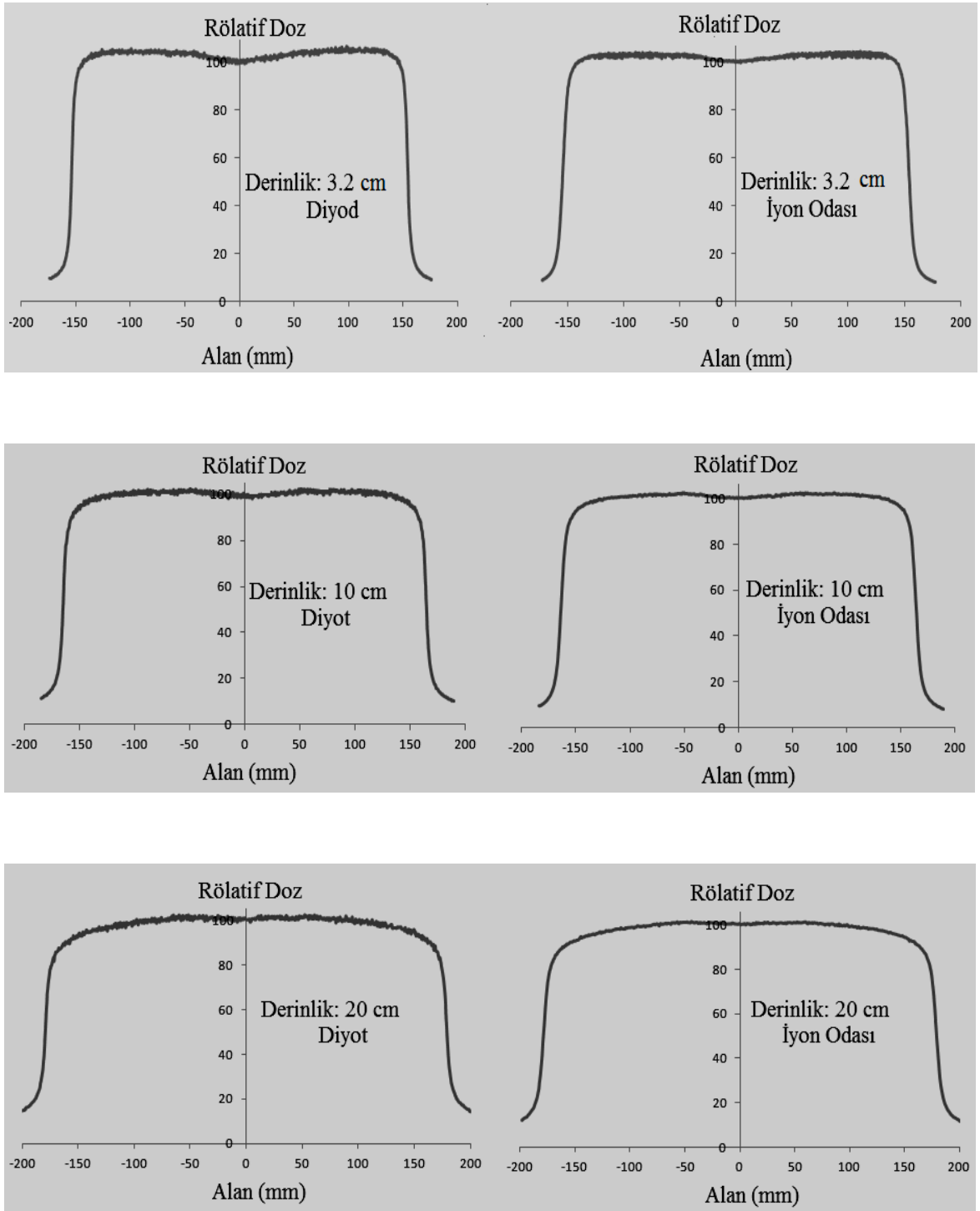


Şekil 4. 6 ve 18 MV toton enerjileri için diyet ve iyon odası ile ölçülmüş derin doz eğrileri.

Tablo 1. %DD eğrilerinden elde edilen bazı derin doz parametreleri

6MV						
	R_{max}	R_{80}	R_{50}	D_{100}	D_{200}	D_{200}/D_{100}
Diyot	16 mm	64 mm	157 mm	%67.2	%39.4	0.586
İyon odası	16mm	69 mm	159 mm	%67.9	%40.3	0.594
18 MV						
Diyot	32 mm	97 mm	210 mm	%78.7	%51.9	0.659
İyon odası	32 mm	98 mm	209 mm	%78.9	%52.7	0.668

Profil ölçümleri ise iki farklı ekseninde (x ve y eksenini veya inline ve crossline), 30 cm x 30 cm alanda olmak üzere D_{maks} , 10 cm ve 20 cm derinliklerinde yapılmıştır. Bu grafiklere örnek olarak Şekil 3 de diyet ve iyon odası ile bu derinliklerde ölçülen crossline doz profilleri verilmiştir. Ölçülen bu grafikler kullanılarak ışın demetinin her iki eksen ve tüm derinliklerde simetrisi ve düzgünlüğü belirlenmiştir (Tablo 2). Ayrıca yine ışın demet kalitesinde önemli bir parametre olan penumbra değerleri de bu profillerden alınan bilgiler kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Diyet ve iyon odası ölçümleri profil eğrilerine göre incelendiğinde, genel olarak simetri ve düzgünlük değerlerinde birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Simetri ve düzgünlük değerinin kabul sınırı; hedef-cilt mesafesi 100 cm olacak şekilde, 30cm x 30cm alanlarda, 10cm derinlikte alınan profiller için, üst limiti % 3 olacak şekilde tanımlıdır.



Şekil 5. Diyet ve iyon odası ile çeşitli derinliklerde ölçülen 18 MV crossline doz profilleri.

Tablo 2. 30x30 cm² alanda 6 ve 18MV crossline ve inline eksenleri simetri ve düzgünlük değerleri.

		6MV (Crossline)			6MV (Inline)		
		D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀	D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀
Düğünlük	Diyot	4.1	2.4	5.4	4.2	2.6	5.2
	İyon odası	3.1	1.4	4.1	3.7	2.0	4.0
Simetri	Diyot	2.2	1.7	2.4	2.1	2.2	2.4
	İyon odası	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2
		18MV (Crossline)			18MV (Inline)		
		D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀	D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀
Düğünlük	Diyot	3.5	2.8	4.1	3.8	2.3	4.1
	İyon odası	2.2	1.8	3.7	2.6	1.3	3.7
Simetri	Diyot	2.8	2.5	3.2	2.6	2.3	2.3
	İyon odası	2.4	1.7	1.5	1.3	1.0	1.5

Bazı ölçümlerde limit dışı olmayan fakat iki detektör ölçümü arasında düşük sayılamayacak farklar tespit edildi. Bunların nedeninin bir kısmının elektrometreden kaynaklı elektriksel gürültünün grafiğe yansması olduğu ve ayrıca yüzeye yakın ölçümlerde detektörün hareketine bağlı olarak suyun dalgalanması ile derinliğin değişmesi neticesinde bu farkın ortaya çıktığını düşünölmektedir.

Profillerin penumbra bölgeleri incelendiğinde ise karşımıza belirgin farklar çıktığı görölmektedir. İyon odası ile alınan ölçümlerde penumbra mesafesi, aynı şartlarda diyot ile alınan ölçümlerdeki penumbra mesafesinden daha geniş olduğu tespit edildi. Bunun nedeni olarak iyon odası hacminden dolayı radyasyon alanında oluşan pertürbasyon (düzensizlik) olduğu bilinmektedir [9]. Ayrıca içerisinde hava olduğundan radyasyon enerjisini dokuya göre daha uzağa aktarmaktadır. Bu durum penumbra bölgesinde genişlemeye yol açmaktadır.

Tablo 3. 6 ve 18 MV penumbra değerleri.

		6MV (Crossline)			6MV (Inline)		
		D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀	D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀
Sol Penumbra	Diyot	4.5	11.0	12.8	4.3	9.1	13.0
	İyon odası	6.4	11.3	14.0	6.0	9.5	14.2
Sağ Penumbra	Diyot	4.6	11.1	12.9	4.1	9.2	13.0
	İyon odası	6.3	11.1	14.0	5.6	9.3	14.0
		18MV (Crossline)			18MV (Inline)		
		D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀	D _{maks}	D ₁₀	D ₂₀
Sol Penumbra	Diyot	6.3	8.4	13.3	5.6	7.8	12.5
	İyon odası	8.2	9.6	13.6	7.5	9.1	12.8
Sağ Penumbra	Diyot	6.3	8.3	12.6	5.1	7.8	12.6
	İyon odası	8.1	9.5	12.9	7.4	9.0	13.2

4. Sonuç

Bu çalışmanın sonucunda diyot ve iyon odası tipindeki detektörlerin her ikisinin de üç boyutlu su fantomu ile yapılan rutin ölçümlerde güvenle kullanılabilceği görülmüştür. Fakat detektör yapılarının tamamen farklı oluşu sebebiyle aralarında bazı dozimetrik farklarında mevcut olduğu anlaşılmıştır. Bu farklılıklar bazı durumlarda birbirlerine göre avantaj veya dezavantaj olarak kabul edilebilir. Aşağıdaki farklar gözetilerek kullanımları arasında tercih yapılabilir [9,10,11].

Bunlar;

i) Diyot hacim olarak iyon odalarına göre çok daha küçüktür ve hava içermez. İyon odalarının büyük hacmi ve hava dolu yapısı daha geniş penumbra oluşturur. Bu durum rutin ölçümlerde daha az bir öneme sahipken, küçük alan dozimetresinde dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husustur. Buna göre küçük alan dozimetrisinde penumbra yönünden diyot kullanımı daha uygundur.

ii) Silindirik iyon odalarında diyotların aksine yönelim bağımlılığı yoktur. Fakat bu durum ölçüm düzeneği kurulumunda bir avantaj sağlamadığı gibi, diyotun düz tepesi su yüzeyi seviyesi belirlenmesinde çok yardımcıdır. İyon odalarında ihtiyaç olduğu gibi bunun için ayrıca bir başlık gerekmez. Bununla birlikte diyotların efektif nokta düzeltmesinden bağımsız oluşları ölçüm düzeneği kurulumunu çabuklaştırmasında etkindir.

iii) Diyot detektörler yarı iletken yapılarından ötürü iyon odalarının aksine yaklaşık 300 V civarı olan bias voltajına ihtiyaç duymadan ölçüm alabilirler. Her ne kadar su fantomu elektrometrelerinde herhangi bir elektriksel sorunla karşılaşıldığında güvenlik önlemi olarak bu voltajı topraklayan devreler barındırsalar da, suyun içinde hareket eden bir detektörün yüksek voltajla çalışıyor olması her zaman kaza riskini beraberinde taşır. İyon odalarının su fantomunda kullanılmasında bu faktöre dikkat edilmelidir. Diyotlarda yüksek voltaj olmaması bu yönüyle avantaj sayılabilir.

iv) İyon odalarının enerji bağımlılığı yoktur. Bir silindirik iyon odasıyla tedavide kullanılan her enerjide ölçüm alma imkânı vardır. Diyotların ise foton ve elektron olmak üzere iki tipi mevcuttur. Bu durum özellikle elektron ve foton enerjilerde birlikte alınacak ölçümler sırasında diyotların kullanımında fazladan bir kurulum gerektirir ve bu da çalışma süresini arttırır. Ayrıca fazladan bir detektör alma zorunluluğu maliyeti arttırıcı bir faktördür.

v) Diyotlar için en belirgin dezavantaj uzun süreli ışınlamalarda diyotların aşırı yüklenmesi (overcharge) olayıdır. Bu durumla çalışma için alınan ölçümler sırasında da karşılaşılmıştır. Bu durumun ortadan kaldırılması için ışın kesilerek kısa bir süre beklenmelidir.

5. Kaynaklar

- [1] Berniera J., Horiot J.C., Poortmans P., 2002. Quality assurance in radiotherapy: from radiation physics to patient and trial-oriented control procedures, *European Journal of Cancer*, 38: 155-158.
- [2] Horiot J.C, van der Schueren E., Johansson K.A., 1994. Quality assurance in radiotherapy. In Tobias JS, Thomas PRM, eds. *Current Radiation Oncology*, Vol. 1. London, Edward Arnold, 365-381.
- [3] Konopacka M., Rogolinski J., Slosarek K., 2011. Direct and bystander effects induced by scattered radiation generated during penetration of radiation inside a water-phantom, *Mutation Research*, 721: 6-14.
- [4] Styk M., Litoborski M., 2010. Verification in the water phantom of the irradiation time calculation done by the algorithm used in intraoperative radiotherapy, *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 15:132-137.
- [5] Sidhu, N.P.S, 1999. Interfacing a linear diode array to a conventional water scanner for the measurement of dynamic dose distributions and comparison with a linear ion chamber array, *Medical Dosimetry*, 24(1): 57-60.
- [6] Ziebell A.L, Clasiac, B., Wroe, A. 2011. Solid state diode e Ionization chamber method for measuring out-of-field neutron dose in proton therapy, *Radiation Measurements*, 46 (12): 1638-1642.
- [7] IEC (International Electrotechnical Commission) Medical electrical equipment-Medical electron accelerator. Functional performance characteristics. 1989. IEC publication 979, IEC, Geneva.
- [8] **International Commission on Radiation Units. Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X- or gamma rays in radiotherapy procedure. 1976. ICRU Report 24, Washington, DC. International Commission on Radiation Units & Measurements :54.**

- [9] Huyskens, D., Bogaerts, R., Verstraete, J. 2001. Partical guidelines for the implementation of in vivo dosimetry with diodes in external radiotherapy with photon beams (entrance dose), ESTRO Estro Booklet on Physics for clinical radiotherapy N 85.
- [10] Khan F.M., 2003. The Physics of Radiation Therapy. Williams & Wilkins; Minnesota. Sayfa 148-151.
- [11] AAPM (American Association of Physicists in Medicine), Task Group 62: Diode in vivo dosimetry for patients receiving external beam irradiation therapy. 2005. Medical physics publishing, Madison WI.

Serkan Okay e-posta: serkanokay@hotmail.com

Bayram Demir e-posta: bayramdemir69@yahoo.com

Asuman Öztaş e-posta: asumankaynar@yahoo.com