

# Dikdörtgen Elektron Alanlarına Ait Işın Çıkışı (Doz Verimi) Faktörlerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Farklı Elektron Enerjileri İçin Karşılaştırılması

THE USAGE OF METHODS THAT ARE USED FOR THE DETERMINATION OF THE  
RECTANGULAR ELECTRON FIELDS OUT-PUT FACTORS FOR DIFFERENT  
ELECTRON ENERGIES

Fiz. Uzm. Songül Ç. Karaçam, Fiz. Uzm. Bayram Demir, Fiz. Müh. Uzm. Basri Günhan, Fiz. Dr. Ayşe Koca, Dr. Ahmet Öber

İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul

## ÖZET

**Giriş:** Lineer akseleratörlerde elektron ışınlarının doz veriminin(işın çıkışı) belirlenmesi bir çok araştırmanın konusu olmuştur. Elektron ışınlarının doz verimi; ışının enerjisi ile birlikte alan boyutuna da bağlıdır. Ayrıca lineer hızlandırıcının kolimasyon sisteminin dizaynıda önemlidir. Kolimasyon sistemindeki farklılık; saçılma faktörlerinin birbirinden farklı olmasına yol açar. Bu farklılık, dikdörtgen alanlara ait doz verimlerinin belirlenmesini güçleştirir. Dikdörtgen elektron alanlarına ait doz verimi faktörlerinin tayininde kullanılan karekök, tek boyutlu(1D) yöntemler bölümümüzde kullanılan doğrudan ölçüm yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem:** Ölçümler Saturne-42 lineer akseleratör cihazında klinikte kullanımı daha çok olan 6, 9 ve 15 MeV elektron enerjilerinde yapıldı. SSD 100 cm'de  $d_{max}$  derinliklerinde karşılaştırılması yapılacak tüm kare ve dikdörtgen alanlar için PTW 0,6 cc. iyon odası ve RW-3 katı fantomla ölçümler alındı. Ölçümler karekök yöntemi ve tek boyutlu yöntem ile karşılaştırıldı.

**Bulgular:** 6 MeV doz verimi faktörlerinin karekök yöntemi ile doğrudan ölçüm yöntemi arasında %0.4-3.2; ölçülen ve 1D hesaplanan arasında %0.0-2.4 arasında değiştiği saptandı. 9 MeV için sırasıyla %0.7-3.0; 0.0-0.4; 15 MeV için %0.1-2.2; %0.1-0.9 arasında değişim saptandı. Ayrıca büyük ve küçük trimerler arasında maksimum değişimin %0.7 olduğu hesaplandı.

**Sonuç:** Doğrudan ölçüm yönteminin yanında karekök ve 1D yöntemlerinde günlük uygulamada kullanılabileceği görülmüştür. Ancak 1D yöntemiyle elde edilen doz verimi faktörlerinin doğrudan ölçüm yöntemine daha yakın olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doz verimi, karekök yöntemi, doğrudan ölçüm yöntemi

## SUMMARY

**Purpose:** The out-put determination of electrons is subject to a lot of research. The electrons out-put is dependent on the field size of the electron energy used. Moreover the collimation configuration of the linear accelerator is also important. The difference in the collimation system will cause differences in the scattering factors. These differences will harden the determination of the rectangular fields output. The square root, the one dimensional(1D) and direct measurement methods are used to determine rectangular electron field outputs for 6, 9 and 15 MeV electron energies in a Saturne 42 linear accelerator.

**Material and Methods:** We performed our measurements on a Saturne 42 lineer accelerator for the most frequently used electron energies of 6, 9 and 15 MeV in our clinic. Measurements were made at SSD 100 cm at the  $d_{max}$  of the electron energies for all of the methods for square and rectangular fields with PTW 1882 0.6 cc ionization chamber and RW-3 solid water phantom. Measurements were compared to the square root and the 1D methods.

**Results:** The difference between the square root method and direct measurement method in output factor for 6 MeV

was between %0.4-3.2; the same difference for measured and 1 D calculated was varied between %0.0-2.4. The variation was between %0.7-3.0 and %0.0-2.4 for 9 MeV and %0.1-2.2; %0.1-0.9 for 15 MeV respectively. Besides; the maximum deviation between the small and large sets of trimmers were found to be % 0.7.

**Conclusion:** It has been seen that the square root and 1 D method can safely be used in the clinics. However since the output factors obtained from 1D method is closer to the directly measured values. Due to the accuracy of output factors of 1D method to the directly measured values, it has been shown that 1D method has advantages over the square root method.

**Key Words:** Out-put, square root method, direct measurement method

## GİRİŞ

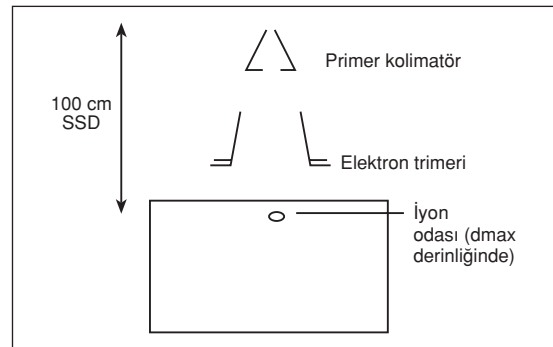
Hastada farklı klinik target volümlerde tanımlanan dozun tedavi sırasında hedef volüme doğrulukla verilebilmesi için öncelikle foton ya da elektron ışınlarının enerjilerini, fantomda merkezi eksen- de rölatif doz dağılımını belirlemek gereklidir<sup>1</sup>. Huzme kalitesi, profil düzgünlüğü (PD) ve simetrisinin yanısıra cihaz için önemli fiziksel parametrelerden biri olan doz veriminin (ışın çıkışı) uygun dozimetrik donanım kullanılarak belirlenmesi oldukça önemlidir<sup>1</sup>. Radyoterapide kullanılan elektron ışınları için doz verimi faktörü, merkezi eksen- de alan büyüklüklerinin maksimum derinlikteki ( $d_{max}$ ) dozunun, bir referans alanın ( $10 \times 10$ )  $d_{max}$ 'daki dozuna oranı olarak tanımlanır<sup>2,3</sup>. Radyoterapi cihazlarında kaynak-yüzey mesafesi sabit kalmasına rağmen ışın alanının değişmesi doz veriminin değişmesine neden olmaktadır. Elektron ışınlarında alan boyutuna bağlı doz verimindeki değişim;  $d_{max}$ 'tan saçılan radyasyonun rölatif katkısı sebebiyle yüksek enerjili foton ışınlarına oranla daha fazladır. Bir foton ışını için doz, primer ve sekonder bileşenlerden oluşur ve sekonder bileşen doz veriminde değişikliklere neden olur. Ancak elektron ışınındaki dozda primer bileşen olmaması ve her yöne saçılma olabilmesi sebebiyle alan boyutuna bağlı doz verimi değişiminin daha fazla olması beklenir. Kolimatörler, huzme düzgünlüğünü iyileştirmek ve farklı alan boyutlarını elde etmek için tasarlanmıştır. Tüm elektron kolimatörleri, maksimum alan boyutunu belirlemek için kaynağa yakın bir primer kolimasyon ve tedavi alanını belirlemek için hastaya yakın sekonder kolimasyondan oluşur. Son kolimasyon şekli trimerler veya bir seri konüs ile yapılır. Saturne-42 lineer akseleratör cihazında elektron tedavi modunda monte edilen trimerler, x-ışın kolimatör çeneleri açılarak örneğin  $20 \times 20$  cm açıldığında diaframın dibindeki ayarlanmış yerlere monte edildiğinde  $10 \times 10$  cm'lik bir tedavi alanı elde edilir. Farklı alan boyutlarında ışın demetini kolime eden primer kolimatörlerde oluşan farklı kolimatör açıklığı ve sekonder kolimatör-

lerin geometrilerinde oluşan değişiklikler saçılan radyasyon oranlarında farklılıklar oluşturur<sup>3,4</sup>. Bu durum dikdörtgen elektron alanlarına ait doz verimlerinin belirlenmesini güçleştirir.

Bu çalışmada; 6, 9 ve 15 MeV elektron enerjilerinde, dikdörtgen elektron alanlarının doz verimi tayinlerinde kullanılan karekök, tek boyutlu (1D) yöntemleri<sup>3,5,6</sup> ve kliniğimizde kullanılmakta olan doğrudan ölçüm yöntemiyle olmak üzere üç farklı enerjide karşılaştırılarak; yöntemler arasında oluşan farklılıklar incelenmiştir. Ayrıca küçük ve büyük olmak üzere iki set şeklinde dizayn edilmiş olan trimerlerin klinikte rutin olarak kullanılması sebebiyle; her iki set için doz verimi ölçümleri tekrarlanarak değişim araştırılmıştır.

## GEREÇ VE YÖNTEM

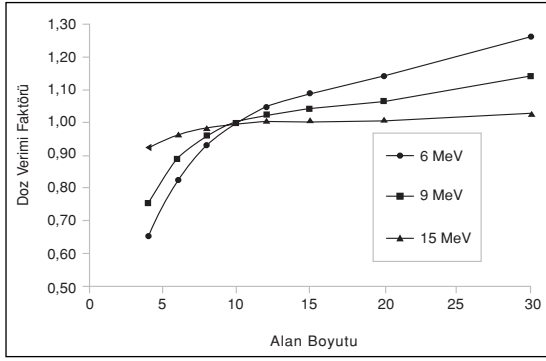
Ölçümler Saturne 42 lineer akseleratör cihazda yapıldı. Cihazda 6 ve 15 MV iki foton enerjisi ve 4.5 ile 21 MeV arasında değişen 8 elektron enerjisi bulunmaktadır. Cihazın kolimatör sistemi, primer kolimatörlerden ve bunlara monte edilebilen ve primer kolimatörlerle aynı anda hareket olanağı olan  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  trimerlerinden oluşur. Elektron tedavilerinde kullanılmak üzere cihazda 2 set elektron trimeri bulunmaktadır. Setlerden biri  $10 \times 10$  cm'e kadar olan alanlar, diğeri  $30 \times 30$  cm'e kadar olan tüm tedavi alanlarında kullanılmak üzere küçük ve büyük olmak üzere iki set şeklinde di-



**Şekil 1.** Farklı alan boyutları için doz verimi ölçüm düzeneği

Alan Boyutu	6 MeV	9 MeV	15 MeV	Alan Boyutu	6 MeV	9 MeV	15 MeV
4x10	0,831	0,883	0,980	10x25	1,117	1,062	1,019
6x10	0,929	0,960	0,993	10x30	1,158	1,090	1,023
8x10	0,974	0,987	0,998	4x4	0,654	0,751	0,922
10x10	1,000	1,000	1,000	6x6	0,825	0,889	0,962
12x10	1,017	1,006	1,001	8x8	0,930	0,958	0,983
15x10	1,028	1,009	1,003	12x12	1,048	1,023	1,001
20x10	1,050	1,018	1,004	15x15	1,090	1,044	1,005
25x10	1,076	1,038	1,007	20x20	1,140	1,067	1,009
30x10	1,090	1,044	1,012	25x25	1,210	1,107	1,013
10x4	0,797	0,854	0,946	30x30	1,265	1,142	1,026
10x6	0,898	0,929	0,972	5x7	0,832	0,886	0,966
10x8	0,957	0,971	0,986	5x15	0,945	0,960	0,989
10x12	1,032	1,015	1,003	5x20	0,967	0,972	0,993
10x15	1,060	1,031	1,007	7x15	1,012	1,005	1,000
10x20	1,084	1,044	1,012	7x20	1,035	1,017	1,004

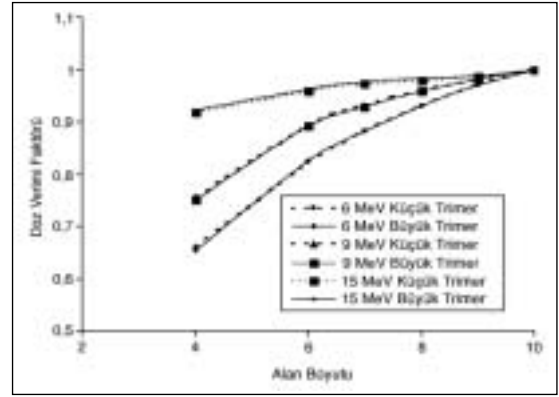
Alan Boyutu	6 MeV		9 MeV		15 MeV	
	Küçük Trimer	Büyük Trimer	Küçük Trimer	Büyük Trimer	Küçük Trimer	Büyük Trimer
4x10	0,831	0,831	0,883	0,883	0,980	0,980
5x10	0,893	0,891	0,931	0,931	0,987	0,988
6x10	0,929	0,929	0,959	0,960	0,992	0,993
7x10	0,955	0,956	0,974	0,975	0,997	0,997
8x10	0,973	0,974	0,986	0,987	0,998	0,998
9x10	0,989	0,990	0,994	0,995	0,998	0,999
10x10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10x4	0,799	0,797	0,858	0,854	0,947	0,946
10x5	0,853	0,857	0,901	0,897	0,960	0,961
10x6	0,895	0,898	0,931	0,929	0,972	0,972
10x7	0,928	0,930	0,955	0,951	0,980	0,981
10x8	0,957	0,957	0,973	0,971	0,982	0,986
10x9	0,981	0,983	0,988	0,987	0,989	0,991
10x10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4x4	0,657	0,654	0,754	0,751	0,919	0,922
5x5	0,778	0,780	0,836	0,835	0,945	0,946
6x6	0,824	0,825	0,892	0,889	0,959	0,962
7x7	0,894	0,895	0,930	0,928	0,973	0,976
8x8	0,930	0,930	0,959	0,958	0,979	0,983
9x9	0,970	0,971	0,981	0,981	0,980	0,989
10x10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4x7	0,768	0,773	0,845	0,840	0,950	0,953
5x7	0,821	0,827	0,887	0,886	0,960	0,966
6x8	0,885	0,888	0,932	0,931	0,972	0,978
7x9	0,937	0,936	0,964	0,961	0,981	0,985



Şekil 2. Kare alan doz verimi faktörleri

zayn edilmiştir. Her iki sette de; X trimerleri kaynaktan 90 cm., Y trimerleri 87.5 cm mesafededir.

Saturne 42 lineer akseleratör cihazında 6, 9 ve 15 MeV enerjileri için kare ve dikdörtgen alanlarına ait doz verimleri ölçülmeden önce WP 700 Wellhöfer su fantomu ile 10x10 cm<sup>2</sup> alan boyutunda derin doz de-

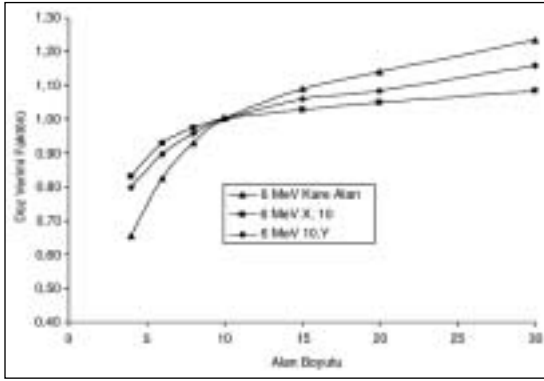


Şekil 3. 6, 9 ve 15 MeV için 10x10 cm alan boyutunda büyük ve küçük trimer karşılaştırması

ğerleri alındı. Elde edilen derin doz eğrilerinden her bir enerjiye ait maksimum doz derinlikleri sırasıyla 1.3, 2.0 ve 2.9 cm olarak belirlendi. Belirlenen derinliklerde, SSD: 100 cm'de PTW Unidos dozimetre,

**Tablo 3.** 6 MeV için karekök, 1D ve doğrudan ölçüm için doz verimi faktörleri

Alan Boyutu	OF Ölçülen	OF Hesaplanan (Karekök)	OF Hesaplanan (1D)
4x10	0,831	0,808	-
6x10	0,929	0,908	-
8x10	0,974	0,964	-
10x10	1,000	1,000	-
15x10	1,028	1,044	-
20x10	1,050	1,068	-
30x10	1,090	1,125	-
10x4	0,797	0,809	-
10x6	0,898	0,908	-
10x8	0,957	0,964	-
10x10	1,000	1,000	-
10x15	1,060	1,044	-
10x20	1,084	1,068	-
10x30	1,158	1,125	-
4x4	0,654	-	0,662
6x6	0,825	-	0,834
8x8	0,930	-	0,932
10x10	1,000	-	1,000
15x15	1,090	-	1,090
20x20	1,140	-	1,138
30x30	1,265	-	1,255
5x7	0,832	0,829	0,829
5x15	0,945	0,922	0,944
5x20	0,967	0,943	0,966
7x15	1,012	0,988	1,013
7x20	1,035	1,010	1,036



Şekil 4. Tek boyutlu ve kare alan doz verimi faktörleri

PTW 1882 0.6 cc iyon odası ve RW-3 katı su fantomu kullanılarak farklı alan boyutlarında kare ve dikdörtgen alanlar için ölçümler alındı. Ölçüm düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir. Ölçülmüş kare alanlardan yararlanarak matematiksel formüllerle dikdörtgen

alanların doz verimlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler hakkındaki bilgi aşağıda verilmiştir.

**1-Karekök yöntemi:** Mills ve ark.<sup>2</sup> 1982'de yayınladıkları bir yöntemdir. Bu yöntemde kare alanlar için alınmış ölçüm değerleri kullanılır. Elde edilen doz verimi değerleri 10x10 cm alan büyüklüğündeki doz verimi değerine normalize edilir. Bu verilerden yararlanarak kare alandan bir dikdörtgen (X,Y) alanı için doz verimi (OF) faktörüne aşağıdaki bağıntıyla geçilir.

$$OF(X,Y) = (OF(X,X) \times OF(Y,Y))^{1/2} \text{ (Formül 1)}$$

OF(X,Y) = X, Y dikdörtgen alan boyutu için ışın çıkışı faktörü

OF(X,X) = Dikdörtgen alan boyutunun X kenarı ile oluşturulan kare alan ışın çıkışı faktörü

OF(Y,Y) = Dikdörtgen alan boyutunun Y kenarı ile oluşturulan kare alan için ışın çıkışı faktörü

**Tablo 4.** 9 MeV için karekök, 1D ve doğrudan ölçüm için doz verimi faktörleri

Alan Boyutu	OF Ölçülen	OF Hesaplanan (Karekök)	OF Hesaplanan (1D)
4x10	0,883	0,867	-
6x10	0,960	0,943	-
8x10	0,987	0,979	-
10x10	1,000	1,000	-
15x10	1,009	1,022	-
20x10	1,018	1,033	-
30x10	1,044	1,069	-
10x4	0,854	0,867	-
10x6	0,929	0,943	-
10x8	0,971	0,979	-
10x10	1,000	1,000	-
10x15	1,031	1,022	-
10x20	1,044	1,033	-
10x30	1,090	1,069	-
4x4	0,751	-	0,752
6x6	0,889	-	0,892
8x8	0,958	-	0,958
10x10	1,000	-	1,000
15x15	1,044	-	1,040
20x20	1,067	-	1,063
30x30	1,142	-	1,138
5x7	0,886	0,880	0,885
5x15	0,960	0,934	0,960
5x20	0,972	0,944	0,972
7x15	1,005	0,984	1,005
7x20	1,017	0,995	1,018

**b) Tek boyutlu (1D) yöntem:** Mills ve ark.<sup>4</sup> tarafından 1985'de yayınlanan bir yöntemdir. Bu yöntemde kolimatörlerden biri referans alanda (10 cm) sabit tutulurken diğeri değiştirilir. Bu işlem her iki (X ve Y) kolimatörler içinde yapılır. Elde edilen doz verimi değerleri 10x10 cm alan büyüklüğündeki doz verimi değerine normalize edilir. Bu verilerden yararlanarak bir dikdörtgen (X,Y) alanı için doz verimi faktörüne aşağıdaki bağıntıyla geçilir.

$OF(X,Y) = (OF(X,10) \times OF(10,Y))$  (Formül 2)

$OF(X,Y) = X, Y$  dikdörtgen alan boyutu için ışın çıkışı faktörü

$OF(X,10) =$  Dikdörtgen alan boyutunun X kenarı ile oluşturulan kare alan için ışın çıkışı faktörü (Y sabit, 10 cm)

$OF(10,Y) =$  Dikdörtgen alan boyutunun Y kenarı ile oluşturulan kare alan için ışın çıkışı faktörü (X

sabit, 10 cm)

**3- Doğrudan Ölçüm Yöntemi:** Kliniğimizde ise her bir kare ve dikdörtgen alanda doğrudan ölçümler alınmakta ve elde edilen değerler 10x10 cm alana normalize edilerek bir tablo haline getirilerek rutinde kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsettiğimiz tüm bu yöntemler için doz verimi değerleri karşılaştırılarak aralarında oluşan farklılıklar incelenmiştir.

## BULGULAR

Saturne 42 lineer akseleratör cihazında 6, 9, 15 MeV için kare ve dikdörtgen alanlarda büyük trimmer kullanılarak elde edilen doz verimi faktörleri tablo 1'de verildi. Kare alan doz verimi faktörleri şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca 10x10 cm<sup>2</sup> tedavi alanına kadar kullanılabilen küçük trimmer ile büyük

**Tablo 5.** 15 MeV için karekök, 1D ve doğrudan ölçüm için doz verimi faktörleri

Alan Boyutu	OF Ölçülen	OF Hesaplanan (Karekök)	OF Hesaplanan (1D)
4x10	0,980	0,958	-
6x10	0,993	0,981	-
8x10	0,998	0,991	-
10x10	1,000	1,000	-
15x10	1,003	1,002	-
20x10	1,004	1,003	-
30x10	1,012	1,006	-
10x4	0,946	0,958	-
10x6	0,972	0,981	-
10x8	0,986	0,991	-
10x10	1,000	1,000	-
10x15	1,007	1,002	-
10x20	1,012	1,003	-
10x30	1,023	1,006	-
4x4	0,922	-	0,927
6x6	0,962	-	0,965
8x8	0,983	-	0,984
10x10	1,000	-	1,000
15x15	1,005	-	1,010
20x20	1,009	-	1,016
30x30	1,011	-	1,035
5x7	0,966	0,961	0,969
5x15	0,989	0,975	0,995
5x20	0,993	0,976	0,999
7x15	1,000	0,990	1,004
7x20	1,004	0,991	1,009

trimerden aynı set-up koşullarında elde edilen doz verimi değerleri tablo 2'de verildi. 6 MeV için trimerler arası doz verimi değişimi %0.0-0.7; 9 MeV için %0.0-0.6; 15 MeV için %0.0-0.6 olarak belirlendi. 6, 9 ve 15 MeV enerjileri için trimere bağlı doz verimi değişimi Şekil 3'de verildi.

Karekök yöntemi, 1D ve doğrudan ölçüm yöntemiyle elde edilen değerler tablo 3, 4 ve 5'te verildi. 6 MeV doz verimi değerleri karekök yöntemi ile doğrudan ölçüm yöntemi arasında tüm alan boyutları için %0.4-3.2; ölçülen ve 1D hesaplanan arasında %0.0-2.4 arasında değişim saptandı (Tablo 3). Ayrıca 6, 9 ve 15 MeV için kare alan ve tek boyutlu yöntem kullanılarak elde edilen doz verimi değerleri şekil 3'te gösterildi. 9 MeV için doz verimi faktörleri karekök yöntemi ile doğrudan ölçüm yöntemi arasında tüm alan boyutları için %0.7-3.0; ölçülen ve 1D hesaplanan arasında %0.0-0.4 arasında değişim saptandı (Tablo 4). 15 MeV için doz verimi faktörleri karekök yöntemi ile doğrudan ölçüm yöntemi arasında tüm alan boyutları için %0.1-2.2; ölçülen ve 1D hesaplanan arasında %0.1-0.9 arasında değişim saptandı (Tablo 5).

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Dikdörtgen elektron alanlarının doz verimi tاینlerinde kullanılan yöntemlerden yararlanarak 6, 9 ve 15 MeV elektron enerjilerinde elde ettiğimiz doz verimi faktörleri, farklı alan boyutları için doğrudan ölçüm yöntemi ile karşılaştırıldığında yüzde (%) değişimin 1D yönteminin karekök yöntemine göre daha düşük olduğu görüldü. Mills ve ark.<sup>2</sup> tarafından 9 MeV'de, 20x20 cm alan boyutuna kadar farklı alan boyutları için doz verimi faktörlerinin belirlenmişler ve doğrudan ölçtükları değerlerle elde ettikleri sonuçlar arasında %3 fark bulmuşlardır. Yine Mills ve ark.<sup>4</sup> tarafından 20 MeV'de 30x30 cm alan boyutuna kadar farklı alan boyutları için doz verimi faktörlerindeki değişim %3.1 olarak belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da 30x30 cm alan boyutuna kadar farklı alan boyutları için elde ettiğimiz doz verimi faktörlerinin karekök yöntemi ile tüm enerjiler için % 3.2'lik bir fark saptadık. Ölçülen ve karekök yöntemi arasında oluşan bu farkın karekök yönteminin kolimatör saçılmasını dikkate almayışı sebebiyle oluşmaktadır<sup>2,4</sup>. Yine aynı şekilde küçük alan boyutları içinde kolimatör saçılmasının karekök yönteminde dikkate alınmayışı sebebiyle ölçülenin üstünde doz verimi faktörleri belirlenmiştir (tablo 3, 4, 5), 1D yöntemi doğrudan ölçüm ile karşılaştırıldığında ise ölçüm sonuçlarına daha yakın doz verimi faktör-

leri bulunmuştur. Ayrıca küçük alan boyutunda (4x4) doğrudan ölçüm ve 1D yöntemi arasındaki belirgin fark küçük alanda iyon odasının aktif hacminin huzmenin penumbra kenarına gelmesi sebebiyle aktif hacimdeki küçük doz değişimi düşünülerek açıklanabilir<sup>2</sup>. 1D yöntemi kolimatör saçılmasını dikkate aldığından; elde edilen doz verimi faktörleri karekök yöntemine göre doğrudan ölçüm sonuçlarına yakın bulunmuştur. 1D doz verimi faktörlerinde X değişken Y sabit (10 cm), Y değişken X sabit (10 cm) koşullarında farklılığın sebebi Saturne 42 lineer akselerator cihazının X ve Y kolimatör geometrisinin farklı olması sebebiyledir.

Ayrıca 10x10 cm tedavi alanına kadar kullanılabilen küçük trimer ile tüm alan boyutlarında kullanılabilen büyük trimerden elde edilen doz verimi faktörlerinde maksimum % 0.7 değişim saptanmıştır. Her alan boyutu için yapılacak ölçümlerin her iki sistem içinde tekrarlanması gerektiğinden büyük trimere ait ölçüm değerlerinin kullanılabilceğı görülmüştür.

AAPM Task Group 40'ta<sup>1</sup> lineer akseleratorler için mekanik, elektrik ve geometrik kontrollerin yanısıra doz verimi, gibi dozimetrik değerlendirmeler için tolerans değerleri belirtilmiştir. Elektron ışınları için doz verimi sabitliği %3 olarak bildirilmiştir. Tüm yöntemlerin klinik kabul limiti içerisinde olması sebebiyle yaptığımız değerlendirme sonucunda karekök ve 1D yöntemlerinin de kullanılabilceğı görülmüştür. Kliniğimizde sıklıkla kullanılan elektron enerjileri için kullandığımız doğrudan ölçüm yöntemi; bir çok doz verimi faktörünün ölçümünü gerektirmesi sebebiyle uzun süren bir yöntemdir. Ancak 1D yöntemiyle elde edilen doz verimi faktörlerinin karekök yöntemine göre doğrudan ölçüm yöntemine daha yakın olması sebebiyle tercih edilebileceğı belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Gerald Y.K, Lawrance C. et al. Compherensive QA for radiation oncology Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. Med. Phys. 1994, 21(4): 581-592
2. Mills D, Hogstrom R.K, Almond R. P, Prediction of electron beam output factors. Med. Phys. 1982, 9(1): 60-68
3. Khan F.M. The Physics of Radiation Therapy Williams and Wilkins,1989: 318-320
4. Mills D, Hogstrom R.K, Fields R.S. Determination of electron beam output factors for a 20 MeV linear accelerator Med. Phys. 1985, 12(4): 473-476
5. Williams J.R, Thwaites D.I Radiotherapy Physics in Practice, second edition 2000: 71
6. Chen F.S An emprical formula for calculating the output factors of electron beams from a Therac 20 linear accelerator. Med. Phys. 1988,15(3): 348-350