

## Yüksek Enerjili Fotonlarda Fiziksel ve Sanal Kama Filtrelerin Dozimetrik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Aycan ŞAHİN<sup>1</sup>, Sema TUNÇ<sup>1</sup>, Zeki Gökay KAYNAK<sup>2</sup>, Lütfi ÖZKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Bursa.

<sup>2</sup> Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

### ÖZET

Çalışmamızda, radyoterapide doz dağılımını modifiye etmek için kullanılan fiziksel ve sanal kama filtrelerin dozimetrik özelliklerini inceleyerek, uygulamadaki avantaj ve dezavantajlarının saptanması amaçlandı. Fiziksel ve sanal kama filtrelerin kama faktörleri (WF), yüzde derin doz (%DD) eğrileri, yüzey ve çevre dozların verilerini karşılaştırmak amacıyla elde edildi. Ölçümler Siemens Artiste cihazında 6 MV ve 15 MV X-Işın enerjileri kullanılarak 5x5, 10x10, 15x15 ve 20x20 cm<sup>2</sup> alanlarda, SSD: 100 cm'de su ve katı su fantomunda farklı iyon odaları ile yapıldı. Kama faktör ölçümleri 5 cm derinlikte Farmer iyon odası ile yapılırken, %DD eğrileri Semifleks iyon odası ve yüzey dozu ölçümlerinde ise Markus paralel plak iyon odası kullanıldı. Çevre dozu ölçümleri için 2-D Array kullanılarak d<sub>max</sub> ve 5 cm derinliklerde alındı. Aynı derinlikte, küçük alanlardan büyüğe doğru gidildikçe WF'leri fiziksel ve sanal kama için arttığı görüldü. Sanal kama filtrelerin çevre dozu fiziksel kama filtreye göre yüksek bulundu. Sanal kama için küçük alanlarda kama açısının çevre dozlarına etkisinin olmadığı ancak büyük alanlarda kama açısıyla birlikte etkinin arttığı görüldü. Fiziksel kama için derinlik ve alan boyutu arttıkça çevre dozunun arttığını buna karşın kama açısı arttıkça çevre dozunun azaldığını saptandı. Sonuç olarak sanal kama filtreler set-up kolaylığı ve tedavi süresinin kısalması sebebiyle tercih edilebilir. Ayrıca daha fazla aç alternatifini sunması planlamada avantaj sağlar.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayarlı tedavi planlama. Yüksek enerjili X-Işını. Konformal radyoterapi. Sanal kama filtre. Fiziksel kama filtre. Dozimetri.

### Comparing Dosimetric Properties of Physical and Virtual Wedge Filters At High Energy Photons

#### ABSTRACT

The aim of this study is to determine the advantages and disadvantages of physical and virtual wedge filters used in radiotherapy for modifying dose distribution by investigating the dosimetric features of them. In order to comparing the wedge factors (WF), percent depth dose (%DD) curves, surface and the environment dose values were obtained. The measurements were performed in Siemens Artiste linear accelerator at the energies of 6 MV and 15 MV with the fields of 5x5, 10x10, 15x15 ve 20x20 cm<sup>2</sup> at SSD 100 cm by using different ion chambers in water and solid water fantoms. The WF measurements were done at 5 cm depth by Farmer ion chamber, while the percent DD curves and surface dose values were measured by Semifleks ion chamber and Marcus paralel plate ion chamber, respectively. The environment dose measurements using the 2-D Array at d<sub>max</sub> and 5 cm depth were performed. It was found that the physical and the virtual WFs were increased from small to large fields in the same depth. The environment dose values of the virtual wedge was higher than the physical wedge. For the virtual wedge, the effect of wedge angle on environment dose was negligible unlike large fields. For the physical wedge, the environment dose was decreased by increasing wedge angle and increased by increasing depth and field size. As a result, virtual wedge filters would be preferred due to the ease of setup and shortening of treatment time. Additionally virtual wedge filters were provided more angle alternatives compared to physical wedge filters.

**Key Words:** Radiotherapy treatment planning. High energy X-Ray. Conformal radiotherapy, Virtual wedge filter. Physical wedge filter. Dosimetry.

Geliş Tarihi: 03 Temmuz 2015  
Kabul Tarihi: 27 Ocak 2016

Dr. Aycan ŞAHİN  
Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı,  
Bursa.  
Tel: 0544 695 64 06  
e-posta: aycansngi@hotmail.com

Radyoterapide, hedef hacimde homojen doz dağılımını sağlamak amacıyla çeşitli doz düzenleyiciler (bolus, kama filtre, kompensatör, vb.) kullanılmaktadır. Kama filtreler; X-Işını izodoz dağılımını değiştirmek, merkezi eksen boyunca düşey olarak derin dozu düzeltmek, eğik yüzeylerde (meme, larenks, vb.) doku etkisini kompanse etmek ve tümörün şekli ve konumuna göre ideal doz dağılımını sağlamak için kullanılır. Kama filtre kullanıldığında alandaki doz yoğunluğu ince taraftan kalın tarafa doğru gittikçe azalır. Böylece izodoz dağılımı planlanmış bir asimetriye sahip olur.<sup>1</sup>

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte fiziksel kama filtrelerin yerini bilgisayar kontrollü sanal kama filtreler almaya başlamıştır. Sanal kama filtreler doz dağılımını y kolimatörünün açık durumdan kapalı duruma doğru hareket etmesiyle değiştirirler. Bilgisayar kontrollü olarak oluşan bu dağılımın fiziksel kama filtre ile karşılaştırılması gerekmektedir.

### Fiziksel Kama Filtre

İlk olarak Ellis ve Miller tarafından 1944 yılında tanımlanan kama filtreler, kama şeklinde değişik açılardaki ışın azaltıcılarıdır.<sup>1</sup> Genellikle pirinç, çelik, tungsten veya kurşun gibi yüksek atom numaralı malzemelerden imal edilmişlerdir. Bu filtreler, saçılan ikincil elektronlar nedeniyle hasta cildinden en az 15 cm uzağa yerleştirilmelidir.<sup>2</sup>

### Sanal Kama Filtre Sistemleri

Sanal kama; tedavi sırasında, tedavi alanının bilgisayar kontrolü ile küçülmesiyle doku içinde kama filtreli doz profiline eşdeğer bir doz profili elde edilmesine yarayan sistemdir. Bu; hareketli çenenin sabit hızda hareket ettirilmesi ve ışın yayma sırasında doz hızının değiştirilmesi ile sağlanır.

Kijewski ve ark.<sup>3</sup> tarafından 1978'de, tedavi boyunca kurşun bloğun hareket etmesi mantığı ortaya atıldı. Ancak uygulamaya geçilemedi. Daha sonra 1990'da Leavitt ve ark.<sup>4</sup> yaptıkları çalışmada, lineer hızlandırıcılarda bu sistemin bilgisayarlar yardımıyla gerçekleştirilebileceğini gösterdiler. Son olarak Siemens virtual (sanal) kama filtreyi tanıttı.

Siemens Artiste lineer hızlandırıcısında sanal kama filtreler, bir kolimatörün açık durumdan kapalı duruma her 2 mm'de doz verimini değiştirerek hareket etmesiyle oluşturulmaktadır. Doz verimi bilgisayar kontrollü olarak değişir ve merkezi ekseninde açık alana eşdeğer doz verir. Kolimatör çenesinin hareketi sonucu ışın şiddetinin değişmesiyle 15°, 20°, 30°, 40°, 45°, 50° ve 60° fiziksel kama filtre benzeri doz dağılımı üretilir.<sup>5</sup>

### Kama Faktörü

Kama filtrelerin varlığı cihazın verim (out-put) değerini azaltır. Bu yüzden tedavi için zaman veya ışınlama birimi (Monitor unit, MU) hesaplamalarında bu etki hesaba katılır ve bu etki kama faktörü (WF) tarafından karakterize edilir. WF, ışın merkez eksenini boyunca belirli bir derinlikteki noktada kama filtreli alandaki dozun, açık alandaki doza oranı olarak tanımlanır. Bu faktör fantomda maksimum doz derinliğinin ötesinde, uygun bir derinlikte ölçülmelidir.<sup>2</sup> Böylece yüzde derin doz hesaplamasında oluşan hata en aza indirilir. WF,  $d$  derinliğine ve alan büyüklüğüne bağlıdır.<sup>6</sup>

$$WF(\text{Enerji, aç, alan boyutu, } d) = \frac{D_p(\text{Enerji, aç, alan boyutu, } d)}{D(\text{Enerji, alan boyutu, } d)}$$

Denklemden yer alan  $D$  ve  $D_w$ , tanımlanan bir alan için merkezi eksenin  $d$  derinliğindeki radyasyon dozunu sırasıyla açık ve kamalı alanda ifade eder.

Kama faktörü, 10x10 cm<sup>2</sup> alan boyutlarında belirlenir. Kama faktörünün alana bağlı olarak değiştiğini gösteren çalışmalarda 15x15 cm<sup>2</sup> den büyük alanlarda %3 ile %5 arasında hata olabileceği belirtilmiştir. 20x20 cm<sup>2</sup>'den büyük alanlarda kullanılmaması tavsiye edilir.<sup>7</sup>

### Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada, tüm ölçümler Siemens Artiste cihazında 6 ve 15 MV X-Işımlarında SSD 100 cm<sup>2</sup>'de, 5x5, 10x10, 15x15, 20x20 cm<sup>2</sup> alan boyutlarında yapıldı. Cihaz lif genişliği 5 mm olan 160 liften oluşan bir kolimatör sistemine sahiptir (x kolimatörü). Cihaz elle takılıp çıkartılan 15°, 30°, 45°, 60° fiziksel kama filtrelerine ve bilgisayar kontrollü 15°, 30°, 45°, 60° sanal kama filtrelerine sahiptir.<sup>5</sup>

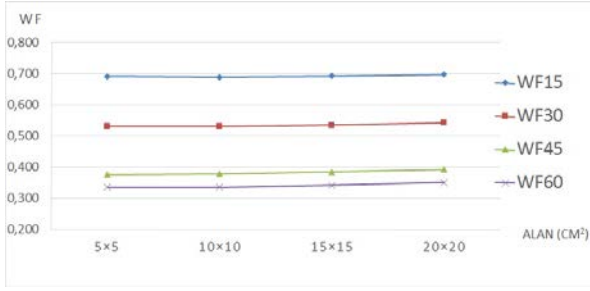
Kama faktör ölçümleri katı su fantomda PTW Farmer iyon odası ve PTW Unidos elektrometre kullanılarak yapılmıştır. Kama faktörü, elektron kontaminasyonu etkisi nedeniyle fantomda maksimum doz derinliği yerine 5 cm derinlikte ölçülmüştür. %DD ölçümleri MP3-M su fantomunda, PTW Semifleks iyon odası ile açık alan, fiziksel ve sanal kama filtreli alanlarda alınmıştır. Sanal kama %DD ölçümleri için "gradient scan mode" seçilmiştir. % DD eğrilerinden her alana ait  $d_{max}$  derinlikleri elde edildi. 2-D Array ile  $d_{max}$  ve 5 cm'de 15°, 30°, 45° ve 60° sanal ve fiziksel kama filtreli alanlarda çevre dozları elde edildi. Her bir ışınlama için 100 MU uygulandı. PTW VeriSoft programı kullanılarak; x ekseninde, alanın 2 cm sağında ve solunda nokta doz okumaları yapıldı. Yüzey dozu ölçümleri, SSD:100 cm'de PTW Markus tipi paralel plak iyon odasıyla katı su fantomu ve Unidos elektrometre kullanılarak ölçülmüştür. Her ölçüm 100 MU verilerek üç kere tekrarlandı. Bu değerlerin ortalaması kullanıldı. Okunan değerlerden her biri kendi alanının  $d_{max}$  derinliğindeki doza normalize edildi.

### Bulgular

#### Kama Faktörleri: Alan Bağlılığı

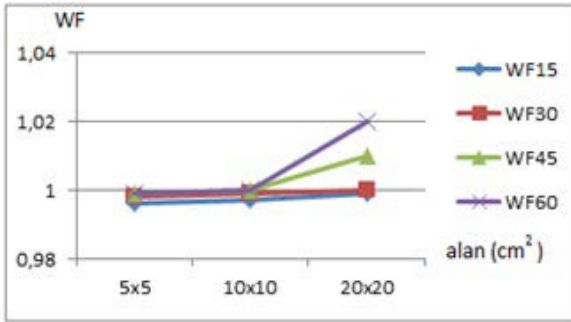
Şekil-1 ve Şekil-2'de görüldüğü üzere, 6 MV'de 5 cm derinlikte, küçük alanlardan büyük alanlara doğru gidildikçe WF'leri hem fiziksel hem de sanal kama için artmıştır. 10x10 alandan 20x20 cm<sup>2</sup> alana çıkarırken fiziksel WF'nün %2,98 oranında, sanal WF'nün ise %0,82 oranında arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar 15 MV için de bulundu.

## Fiziksel ve Sanal Kama Filtreler



Şekil-1:

6 MV X-Işını fotonlarda her bir fiziksel kama filtre açısı için alana bağlı WF'leri

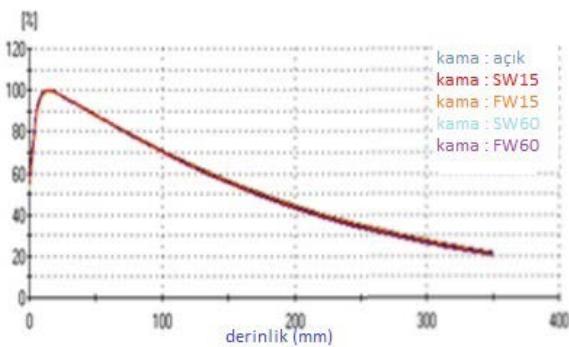


Şekil-2:

6 MV X-Işını fotonlarda her bir sanal kama filtre açısı için alana bağlı WF'leri

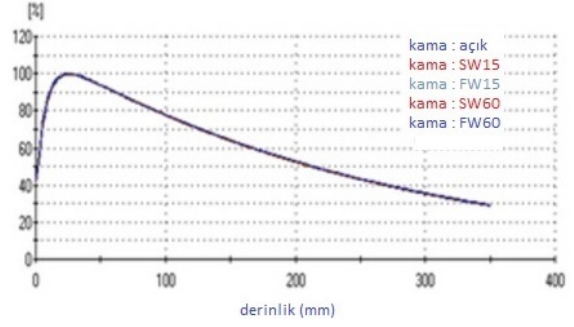
## Yüzde Derin Doz

6 ve 15 MV'de SSD:100 cm'de, açık alan, fiziksel kama ve sanal kama filtreli alanlarda % DD'lar elde edildi. %DD eğrilerinden bulununan  $d_{max}$  değeri 6 MV için  $15 \pm 2$  mm bulundu. (Şekil-3) 15 MV için ise  $30 \pm 2$  mm olarak bulundu. (Şekil-4)



Şekil-3:

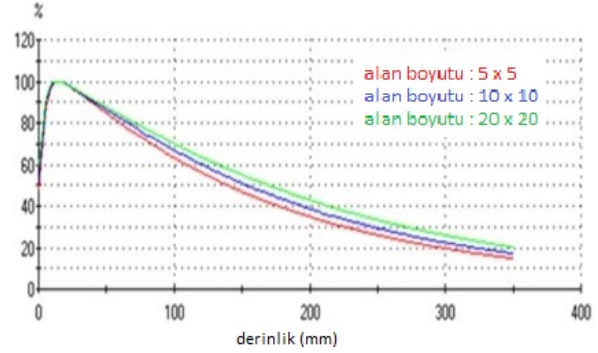
6 MV X-Işını fotonlarda  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> açık alan, fiziksel ve sanal kama için %DD



Şekil-4:

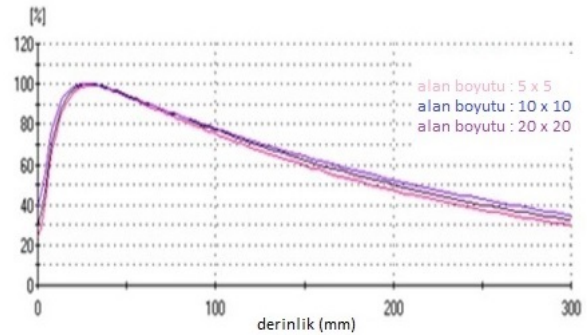
15 MV X-Işını fotonlarda  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> açık alan, fiziksel ve sanal kama için %DD

Şekil-5 ve Şekil-6'da %DD eğrilerinden görüldüğü üzere  $d_{max}$  değerinin kama filtrelerin değişimiyle değişmediği yalnızca enerjinin artışıyla arttığı görülmektedir.



Şekil-5:

6 MV X-Işını fotonlar için %DD açık alan



Şekil-6:

15 MV X-Işını fotonlar için %DD açık alan

## Çevre Dozları: Alan, Derinlik ve Açık Bağlılığı

6 ve 15 MV foton enerjilerinde,  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$  ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> alanlarda  $d_{max}$  ve 5 cm'de SSD=100 cm'de 2D-Array kullanılarak ölçümler alındı.

Sanal kama filtreli alanlarda, kama açısı ve alan boyutu arttıkça çevre dozunun arttığı, bu artışın özellikle 1,5 cm'den sonraki derinliklerde daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Tablo-I ve Tablo-II'den görül-

düğü üzere; sanal kama filtreler için filtrenin ince ve kalın tarafında belirgin doz farkı bulunmamaktadır.

**Tablo I.** 6 MV X Işını, Fiziksel (fw) ve sanal (sw) kama filtre açılarda 10 x 10 ve 20 x 20 cm<sup>2</sup> alan, 1,5 ve 5 cm derinliklerde dozlar

Alan (cm <sup>2</sup> )	Derinlik (cm)	X(cm)	Wedge açısı							
			15 fw	30 fw	45 fw	60 fw	15 sw	30 sw	45 sw	60 sw
20x20	1,5	-2	0,057	0,056	0,052	0,062	0,076	0,083	0,095	0,095
		+2	0,05	0,043	0,033	0,035	0,069	0,064	0,06	0,06
		-2	0,069	0,067	0,057	0,074	0,089	0,097	0,111	0,143
	5	+2	0,061	0,049	0,033	0,034	0,083	0,077	0,071	0,065
		-2	0,027	0,024	0,019	0,024	0,047	0,049	0,051	0,057
		+2	0,024	0,02	0,015	0,016	0,048	0,047	0,046	0,045
10x10	1,5	-2	0,033	0,029	0,022	0,027	0,054	0,056	0,059	0,065
		+2	0,032	0,025	0,017	0,018	0,056	0,055	0,053	0,051
		-2	0,032	0,025	0,017	0,018	0,056	0,055	0,053	0,051

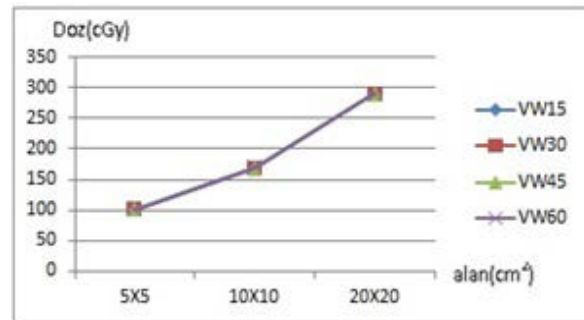
**Tablo II.** 15 MV X Işını, Fiziksel (fw) ve sanal (sw) kama filtre açılarda 10 x 10 ve 20 x 20 cm<sup>2</sup> alan, 3 ve 5 cm derinliklerde dozlar

Alan (cm <sup>2</sup> )	Derinlik (cm)	X(cm)	Wedge açısı							
			15 fw	30fw	45fw	60fw	15sw	30sw	45sw	60sw
20x20	3	-2	0,074	0,063	0,069	0,069	0,08	0,086	0,095	0,115
		+2	0,052	0,052	0,037	0,042	0,079	0,075	0,07	0,065
		-2	0,066	0,065	0,061	0,071	0,079	0,085	0,095	0,116
	5	+2	0,061	0,051	0,037	0,04	0,078	0,074	0,071	0,065
		-2	0,038	0,03	0,029	0,029	0,053	0,054	0,055	0,06
		+2	0,029	0,028	0,02	0,021	0,057	0,055	0,053	0,051
10x10	3	-2	0,032	0,029	0,024	0,029	0,05	0,051	0,053	0,057
		+2	0,031	0,026	0,019	0,02	0,053	0,052	0,05	0,048
		-2	0,031	0,026	0,019	0,02	0,053	0,052	0,05	0,048

Fiziksel kama filtreli alanlarda, çevre dozları derinlik ve açı arttıkça azalırken, alan büyüklüğü arttıkça artmaktadır. Tablo-I ve Tablo-II'den görüldüğü üzere; filtrenin ince tarafında doz kalın tarafa göre daha yüksektir ancak bu fark derinlik arttıkça azalmaktadır. Ayrıca sabit bir alan büyüklüğü için derinlik arttıkça fiziksel kama filtrenin daha düşük çevre dozları gösterdiği görülmektedir. Benzer şekilde sabit bir derinlik için alan büyüklüğü arttıkça fiziksel kama filtrenin daha düşük çevre dozlarıyla sanal kama filtreye göre üstün olduğu saptandı.

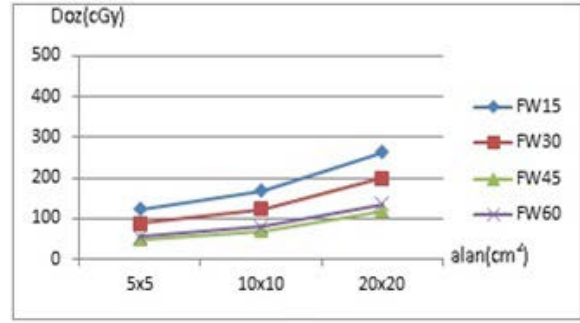
### Yüzey Dozları

6 ve 15 MV enerjilerinde SSD:100 cm'de 5x5, 10x10, 20x20 cm<sup>2</sup>, sanal ve fiziksel kama filtreli alanlarda alınan yüzey dozu ölçümlerinden elde edilen grafikler sırasıyla Şekil-7 ve Şekil-8'de gösterilmiştir.



Şekil-7:

Enerji 6 MV X Işını sanal kama (vw) açılarda alana bağlı yüzey dozları



Şekil-8:

Enerji 6 MV X Işını fiziksel kama (fw) açılarda alana bağlı yüzey dozları

6 MV enerjide 5x5 cm<sup>2</sup> alandan 20x20 cm<sup>2</sup> alana gidildikçe hem sanal hem de fiziksel kama için yüzey dozunun arttığı görülmektedir. Sanal kama filtreli alanlarda yüzey dozunun kama açısının artışıyla değişmediği görülmektedir (Şekil-7). Fiziksel kama filtreli alanlarda ise yüzey dozu açının artışıyla, sanal kama filtrenin aksine, azalmaktadır (Şekil-8). Benzer sonuçları 15 MV için de elde edildi.

### Tartışma

Kama filtrelerin fotonların saçılmasına neden olması, orijinal foton enerji spektrumunu değiştirmektedir. Bu nedenle, klinik doz hesaplamasında WF'nün alan bağımlılığını göz önünde bulundurmak gerekir. Kama filtreler çeşitli parametrelere bağlı olarak alan içindeki doz dağılımını değiştirirler. Sanal kama filtreler doz dağılımını y kolimatörünün açık durumdan kapalı duruma doğru hareket etmesiyle değiştirirler. Bu dağılım alan, derinlik, kama filtre açısı, enerji vb. gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişir. Bilgisayar kontrollü olarak oluşan bu dağılımın fiziksel kama filtre ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle sanal kama filtreli alanların, farklı parametrelere bağlı olarak izodoz dağılımlarının, yüzey ve çevre dozlarının değişimini inceleyerek fiziksel kama filtrelerle karşılaştırıldı.

### Kama Faktörleri

Bu çalışmada, 6 MV'de aynı derinlikte, küçük alanlardan büyük alanlara doğru gidildikçe, fiziksel WF'nün %2,98 oranında, sanal WF'nün ise %0,82 oranında arttığı bulundu. Benzer sonuçları 15 MV içinde saptadı. Sanal WF'nü küçük alandan büyük alana gidildikçe, küçük kama açılarında, %0,1 ve 30°'nin üstündeki açılarda %1,06 arttığı görüldü.

Gürsoy ve ark.<sup>8</sup> aynı enerjilerde fiziksel WF'lerin alan boyutuna bağımlılığını %2'nin altında bulmuşlardır. Yeon-Sil ve ark.<sup>9</sup> yaptıkları çalışmada fiziksel WF'lerin artan alan boyutuyla %1'den az oranda arttığını göstermişlerdir.

## Fiziksel ve Sanal Kama Filtreler

Zhu ve ark.<sup>10</sup> 6 MV’de iyon odasıyla yaptıkları ölçümlerde sanal WF’ünü  $1 \pm 0,002$  bulmuşlardır. Benzer şekilde Kuei-Hua ve ark.<sup>11</sup> sanal WF’ünü yaklaşık 1 bulmuşlar ve tedavi planlama sisteminde her açı, her derinlik ve alan büyüklüğü için 1 olarak kaydetmişlerdir.

Santvoort<sup>12</sup> sanal WF’ünü küçük alandan büyük alana gidildikçe, küçük kama açılarında, %0,1 ve  $30^0$ ’nin üstündeki açılarda %0,4 arttığını bulmuştur. Richard ve ark.<sup>13</sup> WF’ünün alan büyüklüğüne bağımlılığını 6 ve 15 MV için sırasıyla %0,6 ve %1 bulmuşlardır. Aynı set-up parametreleri ve eşkare metodu kullanıldığında sanal WF’ünde %2’ye varan hatalar olabileceğini belirtmişlerdir.  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> alan için bulunan WF’ünü her alan büyüklüğü için kullanmanın hem 6 MV hem de 15 MV için %10 oranında hataya yol açabileceğini göstermişlerdir. McGhee ve ark.<sup>14</sup> yaptıkları çalışmada sanal WF’nin  $1 \pm 0,15$  içinde olduğunu göstermişlerdir.

Genel olarak WF’nin alan büyüklüğüne bağımlılığı, kama tarafından saçılan fotonların etkisiyle açıklanabilir. Fiziksel kama açısının artmasıyla birlikte kama filtrenin metalik hacmi de artar. Bunun sonucu olarak saçılan fotonların sayısında da artış görülür. Sanal WF’nin alan bağımlılığı ise bu şekilde açıklanamaz. Gibbons ve Vassy<sup>15</sup> simetrik ve asimetric WF’lerini tahmin etmek için bir model kullandılar. Bu model kama filtrenin ince tarafındaki alana eklenen ekstra MU değerini doz hesabına katar ve alan boyutu arttıkça eklenen MU artar. Bu nedenle sanal WF’ü özellikle büyük kama açılarında artan alan büyüklüğü ile %0,2 artar. Ancak sabit bir derinlikte sanal WF’nin küçük artışı, cihazın çıkış değerindeki dengesizlik ve enerji dalgalanmalardan dolayı olabilir.

Santvoort<sup>12</sup> sanal WF’ünün alan büyüklüğü ve açıyla artışının muhtemelen, hareketli kolimatörün kapalı durumdan açık duruma geçişi ve kolimatör altında oluşan radyasyonun etkilerinden kaynaklandığını ileri sürdü. Bu etki büyük alanlar ve açılar için kolimatör hareketi sırasında toplam MU’nun daha büyük bir kısmının verilmesiyle artar.

### %DD

Açık alan ve kama filtreli alanlar arasında %DD farkları, sanal ve fiziksel kama için aynı şekilde gözlemlendi. %DD grafiklerinden elde edilen  $d_{max}$  değerleri; 6 MV için  $15 \pm 2$  mm ve 15 MV için  $30 \pm 2$  mm’dir. % DD eğrilerinden bulunan TPR (Tissue Phantom Ratio; Doku fantom oranı) değerleri, her iki enerji için de BJR-25<sup>16</sup> ile uyumlu bulundu. %DD değerlerinin enerji artışıyla arttığı görülmektedir. %DD değerleri foton enerjisi ile artar, bu artış verilen derinlik için %DD eğrilerinin eğiminin azalması ve ışının penetrasyonunun artması ile açıklanabilir.<sup>1</sup>

### Çevre Dozları

Ölçüm sonuçları incelendiğinde, küçük alanlarda kama açısının çevre dozları üzerine etkisinin olmadığı

ancak büyük alanlara doğru gidildikçe, kama açısı arttıkça saçılmadan dolayı çevre dozlarının arttığı görüldü. Sanal kama için, filtrenin ince ve kalın tarafındaki çevre dozlarında belirgin bir fark görülmedi. Sanal kama filtreler için çevre dozlarının özellikle  $d_{max}$ ’tan sonra derinlik arttıkça %1 oranında arttığını gözlemledik. Ancak alan boyutunun artmasıyla birlikte çevre dozundaki artışın %5’e kadar varması görüldü.

Yapılan çalışmada, fiziksel kama için derinlik ve alan büyüklüğü arttıkça çevre dozunun arttığı, kama açısı arttıkça özellikle 5 cm’den sonraki derinliklerde çevre dozunun azaldığını saptandı. Alanın 2 cm sağında ve solunda yapılan nokta doz ölçümlerinde sanal kama filtrenin çevre dozlarının, fiziksel kama filtreye kıyasla daha yüksek olduğu görüldü.  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> alanda  $45^0$ ’lik fiziksel kama filtrelerde çevre dozunun sanal kama filtrenin yaklaşık %56’sı olduğu hesaplandı.

Fiziksel ve sanal kama filtreler için çevre dozlarındaki farkın; derinliğin ve kama açısının artmasıyla arttığı görüldü. Özellikle yüksek kama açılarında bu fark yükselme eğilimi göstermektedir. Kuei-Hua Lin ve ark.<sup>11</sup> benzer şekilde sapma oranının derinlik ve açı ile değiştiğini göstermişlerdir. McGhee ve ark.<sup>14</sup> yayınladıkları raporda özellikle  $60^0$  fiziksel kama filtrelerde çevre dozunun sanal kama filtrenin yaklaşık yarısı olduğunu belirtmişlerdir.

### Yüzey Dozları

Yapılan çalışmada 6 MV foton enerjisinde açık alan yüzey dozları  $5 \times 5$  cm<sup>2</sup> alanda %10,1,  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>’de %16,9, ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup>’de %29,07 olarak bulundu. 15 MV foton enerjisinde ise açık alan yüzey dozları  $5 \times 5$  cm<sup>2</sup> alanda % 5,5,  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>’de %12,7, ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup>’de %26,2 bulundu. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde her iki enerjide, alan boyutu arttıkça yüzey dozlarının beklendiği gibi arttığı görüldü.

Yüzey dozları alan boyutunun artmasıyla birlikte sanal ve fiziksel kama filtre kullanımında da artmaktadır. Örnek olarak 6 MV foton enerjisi için  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$  ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> alan boyutlarında yüzey dozları  $30^0$  sanal kama filtrelerde sırasıyla %10,11, %16,89 ve %29,06, bu veriler  $30^0$  fiziksel kama filtrelerde ise sırasıyla %8,74, %12,21 ve %20,03’dir. Kama filtre kullanımında, sanal kama için yüzey dozunu değiştirmeden fiziksel kama için yüzey dozunu azaltır.

Zhu ve arkadaşları<sup>10</sup> 6 MV enerjide Markus paralel plan iyon odasıyla yaptıkları ölçümlerde yüzey dozlarını  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> alanda %14,5 ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> alanda %24,4 bulmuşlardır. Ochran ve arkadaşları<sup>17</sup> 6 MV enerjide silindirik iyon odasıyla yaptıkları ölçümlerde yüzey dozlarını  $5 \times 5$  cm<sup>2</sup> alanda %11,1,  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> alanda %17,4 ve  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> alanda %28,3 bulmuşlardır. Rapley ve arkadaşları<sup>18</sup> aynı enerjide  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> de yüzey dozunu ekstrapolasyon iyon odasıyla  $16 \pm 0,5$  olarak bulmuştur. Cheng ve arkadaşları<sup>19</sup> ölçümlerinde ise  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> de yüzey dozu %18,8’dir. Li ve Klein<sup>20</sup>’nin aynı enerjide yaptığı ölçümlerde ise

yüzey dozu 10x10 cm<sup>2</sup> alanda %12,8 ve 20x20 cm<sup>2</sup> alanda %24,5'tir.

Bilge ve arkadaşları<sup>21</sup> yaptığı çalışmada, 5x5, 10x10 ve 20x20 cm<sup>2</sup> alan boyutlarında yüzey dozları 30° sanal kama filtrelerde sırasıyla %10,36, %15,5 ve %22,04 bulunmuşken 30° fiziksel kama filtrelerde ise sırasıyla %6,84, %11,23 ve %19,82 bulunmuştur. Li ve Klein'in<sup>20</sup> ölçümlerinde 10x10 ve 20x20 cm<sup>2</sup> alan boyutlarında 30° sanal kama filtre yüzey dozları sırasıyla %13,5 ve %26 bulunmuşken, 30° fiziksel kama filtre için ise yüzey dozları %10,4 ve %21,6 bulunmuştur. Zhu ve arkadaşları<sup>10</sup> aynı enerjide yaptıkları ölçümlerde 10x10 ve 20x20 cm<sup>2</sup> alan boyutlarında yüzey dozları 30° sanal kama filtrelerde sırasıyla %14,5, %24,7, 30° fiziksel kama filtrelerde ise sırasıyla %10,4 ve %19,2'dir.

Elde edilen sonuçlar 6 ve 15 MV' de sanal kama filtre kullanıldığında yüzey dozlarının, özellikle küçük alanlarda, açık alan değerleri ile benzer olduğunu göstermektedir. Fiziksel kama filtre kullanıldığında ise yüzey dozlarının açık alana göre azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak cilt koruyucu etkinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni fiziksel kama filtrenin kontamine elektronları soğurması ve daha geniş bir açıyla saçılmalarını sağlayarak, yüzeye ulaşmalarını engellemesi şeklinde açıklanabilir.

## Sonuç

Sonuçlar hem sanal hem de fiziksel kama için literatürle uyumlu bulunmuştur. Ancak görülen küçük farkların, kullanılan cihazların kolimatör yapısından, ölçüm düzeneğinin fiziksel ve dozimetrik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülebilir.

Sonuç olarak; sanal kama filtrelerin fiziksel kama filtreye, çevre ve yüzey dozu açısından dozimetrik olarak üstünlüğü yoktur. Sanal kama filtreler set up kolaylığı ve tedavi süresinin kısalması sebebiyle tercih edilebilir. Ancak tedavi sırasındaki kolimatör hareketi ve doz oranının değişmesinin karmaşıklığı nedeniyle hasta hareketi veya geçici makine arızaları gibi nedenlerle tedavinin durdurulması durumunda kalan tedavinin doğru bir şekilde tamamlanması da karmaşık bir işlemi gerektirmektedir. Sanal kama filtreler, fiziksel kama filtreye göre daha fazla açı alternatifi sunar. Bu planlama açısından avantaj sağlar. Sanal kama kullanımıyla fiziksel kama benzeri izodoz dağılımı elde edilirken, MU değerinde açık alana göre bir değişim gözlenmez. MU artmadığı için tedavi süresi fiziksel kama kullanımına göre daha kısa olur. Böylece tedavi sırasında hasta ve organ hareketlerinden kaynaklanan set up hataları minimuma indirgenmiş olur. Bu çalışmada, sanal kama filtrelerin uygun kalite kontrol programları oluşturularak tedavilerde güvenle kullanılacağı görülmüştür sanal ve fiziksel kama filtreli alanlar arasındaki dozimetrik farklılıklar nedeniyle filtrele-

rin birbiri yerine kullanımında bu doz farklılıkları dikkate alınmalıdır.

## Kaynaklar

1. James A. Purdy, Srinivasan Vijayakumar, Carlos A. Perez, and Seymour H. Levitt. Technical Basis of Radiation Therapy Practical Clinical Applications, Editors: L.W.Brady, P.Heilmann, M.Molls, Munich, 4th Edition, Physics of Treatment Planning in Radiation Oncology.2006 ; p.74-76
2. Khan F.M.The Physics of Radiation Therapy Editörler: Lippincott Williams, Wilkins, 3rd edition, Treatment Planning I: Isodose Distributions 2003; p. 205-209
3. Kijewski P.K, Chin L.M, Bjangard B.E. 'Kama Shaped Dose Distributions by Computer Controlled Collimator Motion' Medical Physics 1978; 5(5): p.426-9
4. Leavitt D.D, Martin M, Moeller J.H, Lee W.L. 'Dynamic Kama Field Tecniques Through Computer- Controlled Collimator Motion and Dose Delivery'. Medical Physics 1990; 17(1): p.87-91
5. Siemens Artiste User's Guide 2009
6. ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements). Determination of absorbed dose in patients irradiated by beams of x or gamma rays in radiotherapy procedures. Report 24, 1976; p.67
7. Brown L.H, Siddon R.L, Bjangard B.E. 'Scatter dose for kama fields. Physics and Medical Biology' 1987; 32(10) : p.1321-1326
8. Gürsoy O, Kemikler G, Demir D, Çakır A, İncekara O, ' Yüksek enerjili foton huzmeleri için 'kama' faktörlerinin derinlik ve alan bağımlılıklarının araştırılması'[Research of 'kama' factors dependence on depth and field for high-energy photon beams]. Türk Onkoloji Dergisi 2002;17(2): p.80-85
9. Yeon-SIL K, Sung-Whan K, Sei-Chul Y, Jung-Seok L, Seok-Hyun S, Ihl- Bong C. 'Comparison of virtual kama versus physical kama affecting on dose distribution of treated breast and adjacent normal tissue for tangential breast irradiation'. Journal of the Korean Society for Therapeutic Radiology and Oncology 2004; 22(3): p. 225-233
10. Zhu X, Gillin M, Jursinic A, Lopez F, Grimm D, Rownd J.'Comparison of dosimetric characteristics of Siemens virtual and physical kamas'. Medical Physics 2000; 27(10): p.2267-2277
11. Kuei-Hua L, Jao-Perng L, Mu-Tai L, Tieh-Chi C.'Comparing virtual with physical kama for the transmission factors. International Radiation Protection Association ,7(64) : p.1-3
12. Santvoort J. Dosimetric evaluation of the Siemens Virtual Kama, Physics and Medical Biology 1998;43(9):26: p.51-63
13. Richard A, Brezovich, Duan J, Shen S, Pareek P, 'Determination of field size dependent kama factors from a few selected measurements'. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2005; 6(1): p. 1-10
14. Meghee P,CHU T,Leszczynski K, Dunscombe P. 'The Siemens Virtual Kama'. Medical Dosimetry,1997; 22(1): p.39-41
15. Gibbons J, Vassy D. 'Calculation of virtual kama factors for symmetric and asymmetric photon fields', Medical Physics,1998; (25) : p.188
16. Central axis Depth dose data for use in radiotherapy: British Journal of Radiology Supplement 25, 1996.
17. Ochran T, Boyer A, Nyerick C, Otte V.'Dosimetric characteristics of kamas mounted beyond the blocking tray'. Medical Physics,1992; 19(1): p.187-194
18. Rapley P. 'Surface dose measurement using TLD powder extrapolation'. Medical Dosimetry, 2006; 31(3): p.209-215

## Fiziksel ve Sanal Kama Filtreler

19. Cheng C, Tang W, Das I. 'Beam characteristics of upper and lower physical kama systems of Varian accelerators'. *Physics and Medical Biology* 2003;48: p.3667-3683
20. LÍ Z, Klein E.'Surface and peripheral doses of dynamic and physical kamas', *International Journal of Radiation Oncology, Biology.Physics.* 1997;37 (4) : p.921-925
21. Bilge H, Ozbek N, Okutan M, Cakir A, Acar H , 'Surface dose and build-up region measurements with wedge filters for 6 and 18 MV photon beams', *Journal of Radiology*,2010; 28(2): p.110-116

