

## Elektron Işınlarnın Farklı Kaynak - Yüzey Mesafelerinde Dozimetrik Olarak İncelenmesi

Kansu ŞENGÜL, Sibel KAHRAMAN ÇETİNTAŞ, Sema GÖZCÜ, Sevim ŞAHİN,  
Meral KURT, Candan DEMİRÖZ, Ümit GÜRLEK, Lütfi ÖZKAN

Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Bursa.

### ÖZET

Elektron demetlerinde yüzey düzensizliği ve farklı kaynak yüzey mesafelerinde (SSD Source to Skin Distance) doz dağılımındaki ve profilindeki değişimi öngören değişik hesaplama algoritmaları tanımlanmıştır. Bu algoritmaların temel önerisi her cihazın doz profil değişiminin ölçülmesi gerektiridir. Bu çalışmada hesaplama algoritmaları ile elde edilen output değerlerini deneysel olarak ölçerek kontrol etmeyi amaçladık. Çalışmamızda 6,9,12 ve 15 MeV elektron huzmelerinde farklı SSD'lerde farklı alan boyutlarında output değerleri ölçüldü. Bu değerler ile Efektif SSD yöntemine göre hesaplanan kuramsal değerlerle karşılaştırıldı. Output değerleri incelendiğinde küçük alanlarda yüzde farkın fazla olduğu görülmektedir. Enerji ve alan boyutu küçüldükçe etkin SSD değeri küçülmektedir. Yüksek enerjilerde saçılan elektronların fazla olması sebebiyle oluşan doz daha yüksek ölçülür. Sonuç olarak özellikle küçük alan ve düşük enerjilerde etkin SSD bulma yöntemi daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle küçük alan ve düşük enerjilerde değişen SSD'ye bağlı olarak her cihaz için ölçümler alınıp düzeltme faktörleri saptanmalı ve Monitör Unit (MU) hesaplamasında düzeltme faktörünün kullanımı gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektron ışını. SSD. Uzatılmış kaynak yüzey mesafesi. Elektron dozimetri. Monitör Unit.

### Dosimetric Analysis of Electron Beam at Different Source to Surface Distances

### ABSTRACT

In electron beam treatment, various calculation algorithms have been described for the change of dose disturbance and profiles caused by surface disorders and different source-skin-distance. The main issue of those algorithms is the necessity of dose profile changing measurement for each machine. The aim of this study was to experimentally assess the output values which were obtained by calculating the algorithms. The output scores for 6, 9, 12 and 15 MeV electron beams were obtained in different source-skin-distance as well as in different field sizes. Results were compared with the values which were obtained by using effective SSD method. When the output values were compared, the percentage difference in small field sizes was found to be more. Due to the reduction of field size and energy, the effective SSD is reduced. In higher energies, the measured dose is higher because of the high amount of scattering electrons. In particular for small field sizes and low energies, the effective SSD method gains more importance. Hence, in small fields and low energies, depending upon variable SSD, measurements should be done and gap correcting factors should be detected for each linear accelerator and air correcting factor should be used in Monitor Unit (MU) calculation.

**Key Words:** Electron beam. SSD. Extended Source-to-surface distance. Electron dosimetry. Monitor Unit.

Radyoterapide, hızlandırılmış elektronlar 1950'li yıllardan beri kullanılmakla birlikte 1970'li yıllarda foton ve değişken enerjili elektron üreten modern lineer akseleratörlerin gelişmesine bağlı olarak klinikte daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektron ışınlarının radyoterapide kullanılmasının rasyoneli, derin doz eğrilerinin şekli ve görelisi olarak

kısa erimde yüksek yüzey dozu verilmesine olanak sağlayarak, derin dokuların korunabilmesidir<sup>1,2</sup>. Elektron demetleriyle tedavide yüzde derin doz (% DD), profil ve verim ölçümlerinin standart kaynak yüzey uzaklığında (SSD Source to Skin Distance) alınması gerektiği bilinmektedir<sup>3</sup>.

Elektron ışınlarıyla tedavi ideal olarak derin doz profilleri ve output faktörleri bilinen nominal kaynak yüzey mesafesinde uygulanır<sup>4</sup>. Ancak bazı durumlarda lateral posterior boyun bölgelerinin tedavisinde düzensiz cilt yüzeyi veya omuz gibi anatomik kısıtlamalardan dolayı nominal SSD ile tedavi mümkün olmadığından uzatılmış SSD ile tedavi gereksinimi doğar. Ek olarak uzatılmış SSD tedavisi bilerek daha geniş alanlar elde etmek için de kullanılır. Posterior boyun

Geliş Tarihi: 31.01.2011  
Kabul Tarihi: 28.02.2011

Dr. Sibel KAHRAMAN ÇETİNTAŞ  
Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Bursa  
Tel: 0224 295 34 41  
e-mail: scetintas@uludag.edu.tr

bölgesi spinal kordun aşırı doz almasını engellemek amacıyla bitişik foton ve yüksek enerjili elektron alanlarıyla tedavi edilir. Foton ışınlarıyla beraber uzatılmış SSD' li elektron ışınlarının kullanımı alanların birleşme bölgesinde yükselen doz inhomojenitesine sebep olur.

Uzatılmış SSD'de elektron ışınlarıyla tedavi, nominal SSD'deki tedavi ile karşılaştırıldığında uygulanan kesin dozda belirsizliklere neden olabilir. Bu belirsizlikler (a) değişken SSD'ye bağlı olarak ışın profillerindeki değişimler, (b) nominal SSD'ye (100 cm) bağlı olarak ışın outputundaki düşüşleri de kapsar. Uzatılmış SSD kullanılan elektron ışınlarıyla tedaviye başvurulmadan önce bu belirsizliklerin her tedavi ünitesinde değerlendirilmesi kaçınılmazdır.

Deneysel çalışmalar derin dozda uzatılmış SSD'ye bağlı olarak yüksek enerjilerde daha fazla değişime olduğunu göstermiştir. SSD değiştikçe elektron demetlerinin verimlerinin foton demetlerinin verimlerindeki gibi ters kare kanununa uymadığı bildirilmiştir<sup>1</sup>.

Çalışmada 6,9,12 ve 15 MeV elektron enerjilerinde ve farklı alan boyutlarında 100, 104, 108, 110 ve 115 cm arasında değişen SSD'ye bağlı doz dağılımlarının ve doz verimlerinin ölçülerek absorbe dozun değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

## Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada Mevatron KD2 (SIEMENS AG, USA, 1996) Lineer Hızlandırıcısı, RW3 katı su fantomu, PTW unidos elektrometre, 0,055 cc markus paralel plan iyon odası kullanılmıştır. Ölçümler 6,9,12 ve 15 MeV elektron enerjileri için kendi  $d_{max}$  derinliklerinde 4x4, 6x6, 10x10, 15x15 alan boyutlarında cerrobend alaşım bloklar kullanılarak uygun aplikatörlerle kaynak yüzey mesafesi 100, 104, 108, 110 ve 115 cmde alınıp okuma değerleri bulunmuştur.

Elektron kolimatörü ile hasta arasındaki hava boşluğuna göre doz outputunun düzeltilmesini sağlamada **Etkin (efektif) SSD** yöntemini kullandık. Bu yöntem mesafe ile outputtaki değişim için doğru bir ters kare kanunu bağlantısı verir.

**Etkin (efektif) SSD Yöntemi:** Khan ve arkadaşları<sup>1</sup> mümkün olduğunca klinik uygulamaya yakın bir metod önermişlerdir. Bu metodda fantom elektron konusuna temas ederken yani arada hiç hava boşluğu yokken ve sonra çeşitli aralıklarda hava boşluğu bırakarak konus ucundan yaklaşık 20 cm uzaklıkta olacak şekilde fantom üzerinde maksimum doz derinliğinde ( $d_{max}$ ) doz ölçümleri alınır.  $f$ =efektif SSD;  $I_0$  = sıfır hava boşluğundaki doz;  $I_g$  = standart SSD mesafesi ile fantom arasında  $g$  kadar boşluk olduğunda ölçülen doz. Elektronlar ters kare kanununa uyuyorsa;

$$\frac{I_o}{I_g} = \left( \frac{f + d_{max} + g}{f + d_{max}} \right)^2 \quad (2-1) \text{ veya}$$

$$\sqrt{\frac{I_o}{I_g}} = \frac{g}{f + d_{max}} + 1 \quad (2-2)$$

Şeklinde ifade edilir.

$$\sqrt{\frac{I_o}{I_g}} \text{ değerinin çizilmesiyle boşluk } g \text{ nin bir fonksiyonu olarak eğimi } \frac{1}{f + d_{max}} \text{ olan düz bir doğru elde edilir. Böylece } f = \frac{1}{egim} - d_{max} \text{ olur. (2-3)}$$

Bununla birlikte efektif SSD  $d_{max}$  derinliğinde ölçümlerin alınmasıyla elde edilebilir, fakat değeri ölçümün derinliğiyle anlamlı şekilde değişmez<sup>5</sup>.

Ölçümlerden elde edilen verilerle Khan tarafından tanımlanmış "Etkin SSD" metodu ile hesaplanan absorbe doz değerleri ile ölçülen absorbe doz değerleri karşılaştırılıp % farkları bulunmuştur.

Bununla birlikte efektif SSD  $d_{max}$  derinliğinde ölçümlerin alınmasıyla elde edilebilir, fakat değeri ölçümün derinliğiyle anlamlı şekilde değişmez<sup>5</sup>.

Ölçümlerden elde edilen verilerle Khan tarafından tanımlanmış "Etkin SSD" metodu ile hesaplanan absorbe doz değerleri ile ölçülen absorbe doz değerleri karşılaştırılıp % farkları bulunmuştur.

## Bulgular ve Sonuç

Khan'ın etkin SSD metoduyla hesaplanan etkin SSD'ler Tablo I de gösterilmiştir.

**Tablo I-** Markus iyon odası için hesaplanan etkin SSD değerleri.

Etkin SSD (cm)	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV
4x4 cm <sup>2</sup>	55,9	59,9	59,3	56,7
6x6 cm <sup>2</sup>	80,8	88,6	88	88,3
10x10 cm <sup>2</sup>	84,9	97,9	97,3	97,6
15x15 cm <sup>2</sup>	84,9	97,9	97,3	97,6

Enerji ve alan boyutu büyüdükçe etkin SSD değeri büyümektedir. 4x4 cm<sup>2</sup> alanda 6 MeV için 55,9 cm<sup>2</sup> den 15x15 cm<sup>2</sup> alanda 84,9 cm<sup>2</sup> e kadar artmaktadır. 9 MeV için etkin SSD 4x4 cm<sup>2</sup> alanda 55,9 cm<sup>2</sup> den 15x15 cm<sup>2</sup> alanda 97,9 cm<sup>2</sup> e, 12 MeV için 4x4 cm<sup>2</sup> alanda 59,9 cm<sup>2</sup> den 15x15 cm<sup>2</sup> alanda 97,3 cm<sup>2</sup> e ve 15 MeV için 4x4 cm<sup>2</sup> alanda 56,7 cm<sup>2</sup> den 15x15 cm<sup>2</sup> alanda 97,6 cm<sup>2</sup> e kadar artmaktadır.

Etkin SSD metoduna göre hesaplanan ile ölçülen absorbe doz değerleri ve yüzde farkları Tablo II ile Tablo V arasındaki tablolarda görülmektedir.

Küçük alanlarda yüzde farkın daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm enerjiler ve alanlar için SSD artıkça absorbe dozun lineer olarak azaldığı ve 4x4 cm<sup>2</sup> alanda ölçülen absorbe dozun diğer alanlara göre daha

## Elektron Işınlarnın Dozimetrik Olarak İncelenmesi

fazla düştüğü görülmektedir. 6x6 cm<sup>2</sup> dan büyük alanlarda ise fark % 1 altındadır.

SSD 100 cm'den 115 cm'e uzattığımızda 10x10 cm<sup>2</sup> alanda 6 MeV enerjili elektron demetlerinin derin doz eğrisindeki değişim Markus iyon odası için %1.72 olarak bulunmuştur. Aynı alanda 9 MeV için fark %14.7, 12 MeV için % 5,46 ve 15 MeV için %32,3 olarak bulunmuştur. 5x5 cm<sup>2</sup> nin üzerindeki alanlarda gözlenen uzatılmış SSD'nin etkisinin daha önce yayınlanan çalışmalarla uyumlu olduğu gözlenmiştir<sup>6,7</sup>.

### Tartışma

Elektron enerjilerinde dozdaki değişimi gösteren ters kare kanunun geçerli olmadığı bilinmektedir<sup>1,8</sup>. Elektron ışını saçıcı filtrenin altında kalan odak merkezinden oluşmaktadır. Elektron ışınının enerjisine ve

aplikatör boyutuna bağlı olan bu odak merkezi mesafeleri SSD=100 cm olan standart kaynak yüzey mesafesi yerine uzatılmış SSD'lerin output değerlerinin belirlenmesinde ters kare kanunu benzeşmesinde kullanılmalıdır.

Khan 1984 yılında etkin SSD metodunu ortaya koymuştur<sup>1</sup>. Elektron demetlerinin verimlerini standart SSD'lerde ve uzatılmış SSD'lerde ölçmüş ve oranlamıştır. Bu oranın karekökünü alıp aradaki hava boşluğuna (g.gap) göre grafiklendirmiştir. Grafikte elde edilen düz çizginin eğiminden etkin SSD'yi tanımlamıştır.

Etkin SSD elektron enerjisine alan boyutuna ve cihazın kolimasyon sistemine bağlı olarak değişim göstermektedir<sup>2,7,9,10</sup>.

Enerji ve alan boyutu küçüldükçe etkin SSD değeri küçülmektedir. Etkin SSD metoduna göre hesaplanan ile ölçülen absorbe doz değerleri ve yüzde farkları Tablo II ile V arasındaki tablolarda görülmektedir.

**Tablo II-** Markus iyon odası için 6 MeV enerjide hesaplanan ve ölçülen output değerleri ve yüzde farkları.

Markus İyon Odası 6 MeV												
SSD	4x4 alan			6x6 alan			10x10 alan			15x15 alan		
	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %
100	107,60	107,60	0,00	246,60	246,60	0,00	562,70	562,70	0,00	993,17	993,17	0,00
104	93,99	95,76	1,88	224,22	226,87	1,18	513,90	517,68	0,74	907,04	913,72	0,74
108	82,82	83,93	1,34	204,75	207,14	1,17	471,18	472,67	0,32	831,64	834,26	0,32
110	77,96	78,55	0,76	195,96	197,28	0,68	451,79	450,16	-0,36	793,42	794,54	0,14
115	67,54	67,79	0,37	176,30	177,55	0,71	408,25	410,77	0,62	720,57	725,01	0,62

Hspln: hesaplanan Etkin SSD değeri

**Tablo III-** Markus iyon odası için 9 MeV enerjide hesaplanan ve ölçülen output değerleri ve yüzde farkları.

Markus İyon Odası 9 MeV												
SSD	4x4 alan			6x6 alan			10x10 alan			15x15 alan		
	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %
100	215,27	215,27	0,00	423,93	423,93	0,00	760,07	760,07	0,00	972,53	972,53	0,00
104	189,97	193,74	1,99	388,87	390,02	0,29	702,73	699,26	-0,49	899,16	894,73	-0,49
108	178,96	172,22	-3,77	357,99	356,10	-0,53	651,64	646,06	-0,86	833,79	826,65	-0,86
110	159,63	161,45	1,14	343,91	339,14	-1,39	628,16	623,26	-0,78	803,74	797,47	-0,78
115	139,57	139,93	0,26	312,15	305,23	-2,22	574,72	570,05	-0,81	735,37	729,40	-0,81

**Tablo IV-** Markus iyon odası için 12 MeV enerjide hesaplanan ve ölçülen output değerleri ve yüzde farkları.

Markus İyon Odası 12 MeV												
SSD	4x4 alan			6x6 alan			10x10 alan			15x15 alan		
	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %
100	273,17	273,17	0,00	503,50	503,50	0,00	821,17	821,17	0,00	983,47	983,47	0,00
104	241,06	245,85	1,99	461,86	463,22	0,29	759,22	763,69	0,59	909,27	914,63	0,59
108	214,30	218,54	1,98	425,19	422,94	-0,53	704,02	706,21	0,31	843,17	845,78	0,31
110	202,56	204,88	1,14	408,47	402,80	-1,39	678,65	681,57	0,43	812,79	816,28	0,43
115	177,11	177,56	0,26	370,74	362,52	-2,22	620,92	624,09	0,51	743,64	747,44	0,51

**Tablo V-** Markus iyon odası için 15 MeV enerjide hesaplanan ve ölçülen output değerleri ve yüzde farkları.

Markus İyon Odası 15 MeV												
SSD	4x4 alan			6x6 alan			10x10 alan			15x15 alan		
	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %	Hspln.	Ölçülen	Fark %
100	379,03	379,03	0,00	637,07	637,07	0,00	885,90	885,90	0,00	1024,33	1024,33	0,00
104	332,50	341,13	2,60	584,39	586,10	0,29	819,06	815,03	-0,49	947,05	942,38	-0,49
108	294,04	303,22	3,12	537,98	535,14	-0,53	759,52	753,02	-0,86	878,20	870,68	-0,86
110	277,26	280,48	1,16	516,82	509,66	-1,39	732,15	726,44	-0,78	846,55	839,95	-0,78
115	241,11	242,58	0,61	469,09	458,69	-2,22	669,87	664,43	-0,81	774,54	768,25	-0,81

Küçük alanlarda yüzde farkın daha fazla olduğu görülmektedir. 6x6 cm<sup>2</sup> dan büyük alanlarda ise fark % 1 altındadır. Tüm enerjiler ve alanlar için SSD artıkça absorbe dozun lineer olarak azaldığı ve 4x4 cm<sup>2</sup> ölçülen absorbe dozun diğer alanlara göre daha fazla düştüğü görülmektedir. Verim değişikliğinde en önemli faktör alan boyutudur. Alan boyutu genişledikçe saçılan elektronların ölçüm noktasına ulaşma olasılığı azalırken, alan boyutu azaldıkça saçılan elektronların ölçüm noktasına ulaşma olasılığı artar<sup>11,12</sup>. SSD arttırıldığında ise, düşük elektron enerjilerinde ve küçük alanlarda verimin daha fazla düşüş göstermesi beklenmektedir.

Ayrıca alan boyutunun azalmasıyla beraber azalan lateral elektronik denge, merkezi eksenide görülecek; derin doz ve doz verimi faktörleri, alan şekline ve boyutuna göre büyük hassasiyet gösterecektir<sup>13</sup>. Alan boyutu ve SSD'nin değişimiyle birlikte derin doz eğrilerindeki değişim C.B Saw ve arkadaşlarının<sup>6,7</sup> çalışmalarında belirttiği gibi daha çok yüksek enerjili ışınlar için vurgulanmaktadır.

Alan boyutunun değişimiyle derin dozdaki farklılıklar Sharma ve Wilson<sup>10</sup> tarafından da çalışılmış ve açıklanmıştır. Merkez eksen derin dozunda değişen SSD'ye bağlı değişimlerin etkisinin çok küçük olduğu gözlenmiştir.

Hongstrom<sup>14</sup> çalışmasında SSD 100 ve SSD 110 cm<sup>2</sup>'de 10x10 cm<sup>2</sup> lik açık konuslu alan için çizilen izodoz eğrilerinin arasında merkez eksenide yaklaşık olarak % 2 lik ufak bir fark olduğunu göstermiştir. Saw ise 101 ile 116 cm arasında değişen SSD farklarında, çeşitli alan boyutlarında % 1'in altında bir değişim olduğunu göstermiştir<sup>6</sup>. Çalışmamızda ise değişen SSD boyutlarında farkın % 1 civarında olduğu gözlenmiştir.

Homojen ortam ve kare alanlarda alınan ölçümlere göre ışın düzenliliğinin kaybolması; küçük alanlar, düşük enerjiler ve geniş SSD'ler için söylenebilir. Klinik pratikte enerji ve alan boyutunun bir fonksiyonu olarak etkin SSD, lineer hızlandırıcı cihazına ait uzatılmış SSD'ler ile alınan ölçümlerle tablolastırılmalı ve hava boşluğu düzeltme faktörleri tanımlanmalıdır.

Verim değişiminde en önemli etken, aplikatör genişliği yani alan boyutudur<sup>15</sup>. Bilindiği gibi aplikatör genişliği fazla iken saçılan elektronların ölçüm noktasına ulaşması olasılığı azalırken, aplikatör genişliği azaldıkça saçılan elektronların ölçüm noktasına ulaşma olasılığı artar. SSD arttırıldığında ise düşük elektron enerjilerinde ve küçük alan boyutlarında verimin daha fazla düşüş göstermesi beklenmektedir. Çalışmamızda da görüldüğü gibi alan boyutu küçüldükçe verim düşüş hızı artmıştır.

Özellikle küçük alan ve düşük enerjilerde etkin SSD bulma yöntemi daha fazla önem kazanmaktadır. Bu

yüzden küçük alan ve düşük enerjilerde değişen SSD'ye bağlı olarak her bir klinik kendi cihazı için ölçümler alıp boşluk düzeltme faktörlerini bulmalıdır. Böylece elektron enerjilerinde tedavi planlama sistemi algoritmasının verim değeri hesaplamasında kullandığı Hava Gap Düzeltme Faktörü'nün (HGDF) kontrolü yapılabilmektedir. Uzatılmış SSD'ye bağlı olarak MU hesaplamasında hava düzeltme faktörünün kullanımı gerekmektedir. Bu faktör kullanılmadığı takdirde verim ölçümü yapılmasını önermekteyiz.

## Kaynaklar

1. Khan FM., The Physics of Radiation Therapy, The 3rd Editon, Minnesota: Williams & Wilkins, 2003.
2. Cygler J, Li XA, Ding GX and Lawrence E. Practical approach to electron beam dosimetry at extended SSD. Physics in Medicine and Biology 42 1505-1514 (1997).
3. Klevenhagen SC. Physics of Electron Beam Therapy. Bristol: Adam Hilger Ltd., in collaboration with the Hospital Physicist' Association; 1985.
4. IAEA TRS-398, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standarts of Absorbed Dose to Water, 2000, V.10.
5. Khan FM, Sewchand W, Levitt SH. Effect of air space on depth dose in electron beam therapy. Radiology ;126:249, 1978.
6. Saw CB, Ayyangar KM, Pawlicki T, Korb LJ. Dose distribution considerations of medium energy electron beams at extended source to surface distance. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics: 32, 159-164, 1995
7. Saw CB, Pawlicki T, Korb LJ, Wu A. Effects of extended SSD on electron-beam depth dose curves. Medical Dosimetry:19 (2); 77-81, 1994.
8. Rajasekar D, Datta NR, Maria Das KJ, Ayyangari S. Electron beam therapy at extended SSDs: an analysis of output correction factors for a Mitsubishi linear accelerator. Physics in Medicine and Biology :47 3301-3311, 2002.
9. Das IJ, Mcgee KP. Electron beam characteristics at extended treatment distances. Medical Physics :22 (10); 1667-1674, 1995.
10. Sharma SC. and Wilson DL, "Depth dose characteristics of elongated fields for electron beams from a 20 MeV accelerator," Medical Physics. 12,419-423,1985.
11. Sharma SC., Johnson MW., Gossman MS., Practical Considerations For Electron Beam Small Field Size Dosimetry, Medical Dosimetry 2005; Vol. 30(2), 104-106.
12. Rincon M, Sanchez-Doblado F, Perucha M, Leal A, Arrans R, Carrasco E, Sanchez-Calzado JA, Errazquin L, A Monte Carlo Approach For Small Electron Beam Dosimetry, Radiotherapy and Oncology 2001, Vol. 58(2), 179-185.
13. IAEA. Podgorsak EB. Technical editor, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, Vienna; 2005.
14. Hongstrom KR, "Clinical electron beam dosimetry: Basic dosimetric data," in Advances in Radiation Oncology Physis, Dosimetry, Treatment Planning, and Brachytherapy, AAPM Monograph No.19, edited by J.A. Purdy, 390-429, 1992.
15. Venselaar JLM, Bierhuizen HWJ, A Solution For The Treatment of Small Lesions Using Electron Beams From A Saturne Linear Accelerator With Continuous Variable Trimmers; Dosimetrical Aspects, Medical Dosimetry 1998, Vol. 23(2), 99-103