

# Farklı protokollerdeki durdurma gücü oranlarının %DD eğrisine etkisi

The effect of stopping power ratios of different protocols on %DD curve

Hilal ACAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Klinik Onkoloji Anabilim Dalı, Radyasyon Onkolojisi Bilim Dalı

## AMAÇ

Bu çalışmada, farklı  $SW_{HAVA}$ 'ların %DD eğrilerine yaptığı etki araştırıldı.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Lineer hızlandırıcı cihazında 6, 8, 10, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjilerinde, SSD 95 cm'de 10x10 cm standart elektron konu için yüzde ionizasyon değerleri ölçüldü. Her derinlik için durdurma gücü oranları üç protokolün belirttiği şekilde bulundu ve bu değerler yüzde ionizasyon değerleri ile çarpılarak yüzde derin doz grafiği elde edildi. Üç protokolden elde edilen grafikler birbirleri ile karşılaştırıldı. Ayrıca farklı protokoller için bulunan durdurma gücü oranları birbirleri ile kıyaslanarak R50 karşı grafikleri çizildi.

## BULGULAR

Kullanılan farklı durdurma gücü oranlarının yüzde derin doz eğrilerinde farklılıklara neden olduğu görülmüştür. En fazla değişim yüzey dozlarında meydana gelmiştir. En büyük fark 10 MeV enerjisinde E0'a göre hesaplanmış TRS 381/TRS 277 farkı %1,45'dir. En az fark ise 6 MeV enerjisinde RP'ye göre hesaplanmış TRS 398/TRS 277 farkı %0,09'dur.

## SONUÇ

Realistik elektron demetleri için bulunmuş durdurma gücü oranlarını kullanmak literatürlerde de belirtildiği gibi yüzey dozlarını daha doğru şekilde değerlendirmemizi sağlamaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Durdurma gücü oranı; elektron demetleri; klinik protokoller/standartlar; IAEA protokolleri.

## OBJECTIVES

The effects of the stopping power ratios of different protocols on %DD curve were investigated in this study.

## METHODS

Percentage ionization curve was measured at SSD=95 cm using 10x10 standard cone and 6, 8, 10, 12, 15 and 18 MeV electron energies. Stopping power ratios at each depth were determined as recommended by the three protocols. %DD curves were then found and compared. The stopping power ratios of the different protocols were determined and plotted against R50.

## RESULTS

The stopping power ratios of the different protocols did have an effect on %DD curves. The clearest difference was seen at the surface. The maximum difference was 1.45% at 10 MeV, while the minimum difference was 0.09% at 6 MeV.

## CONCLUSION

Stopping power ratios as found using realistic electron beams provide more accurate surface doses, as reported in the literature.

**Key words:** Stopping power ratios; electron beams; clinical protocols/standards; IAEA protocols;

İyon odası kullanarak ortamdaki soğrulan dozun bulunması Bragg-Gray ilkesine dayanır. Bu da ortamda (su) belirli bir noktadaki soğrulan dozu detektördeki (hava) ortalama soğrulan doz ve

çarpışma durdurma gücünün su/hava oranı ile aşağıdaki formüldeki gibi ilişkilendirir.

$$D_W = D_{HAVA} SW_{HAVA}$$

Bragg-Gray ilkesine göre su fantomunda belirli bir noktada detektördeki elektron akısı detektör yokken ki elektron akısına eşittir. Yüksek enerjili foton ve elektron demetlerinde gazlı iyon odaları Bragg-Gray detektörüne benzer. Bragg-Gray davranışından herhangi bir sapma perturbasyon faktörü olarak adlandırılır. Bozulmamış ortamda belirli bir noktadaki elektron spektrumunun durdurma gücü oranı detektörden bağımsızdır.

Tek enerjili elektronlar için su\hava durdurma gücü oranlarının en önemli karakteristiği enerji ve derinliğe olan güçlü bağımlılığıdır. Bunun sebebi de suda farklı derinliklerde enerji dağılımında önemli değişiklikler olmasıdır. Son zamanlara kadar elektron dozimetre protokollerinde kullanıcının demeti için durdurma gücü oranlarının seçimi, elektron demetinin karakteristiğini fantom yüzeyindeki ortalama elektron enerjisi ve ölçüm derinliği ile belirtilen tek enerjili datanın kullanımına dayanmaktaydı. Ancak klinikte kullanılan demetler fantom yüzeyinde tek yönlü ve tek enerjili olmaktan uzaktır.  $S_{W,HAVA}(E_0, z)$ 'nin seçiminin geçerliliği paralel plak odalar için olan IAEA protokolü TRS 381'de<sup>[1]</sup> detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuçta yüksek enerji ve yüksek açısal dağılıma sahip demetler için bile böyle bir işlemin maksimum hatası %1 içerisinde. Klinikte kullanılan pek çok demet için, hatta önemli derecede foton kontaminasyonuna sahip olanlarda bile hesaplanan durdurma gücü oranlarının tahmin edilen belirsizliği %0,6 civarındadır. Son zamanlarda realistik elektron demetleri için olan durdurma gücü oranları klinik hızlandırıcıların tedavi kafasının detaylı bir simülasyonu ile elde edilir ve sudaki soğrulan doz tabanlı protokollerde kullanılır. Ancak durdurma gücü oranlarının hesaplanmasında ki bu gelişmeye bağlı olarak elektron demetinin dozimetresinde çok önemli değişiklikler meydana gelmediği görülmüştür.

Bu çalışmadaki amaç, farklı  $S_{W,HAVA}$  değerlerinin kullanılmasının %DD eğrilerine yaptığı etkinin araştırılmasıdır.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Lineer hızlandırıcı cihazında 6, 8, 10, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjilerinde, SSD 95 cm'de

10x10 cm standart elektron konu için %DD'ler ölçüldü. Ölçümler RW3 katı su fantomunda, Markus iyon odası ile yapıldı. Kaynak ile fantom yüzeyi arasındaki mesafe SSD = 95 cm sabit kalacak şekilde iyon odası farklı derinliklere yerleştirilerek, 50 MU verilerek ölçüm yapıldı, SSD'ye ve alan büyüklüğüne bağlı olarak özellikle  $d_{MAKS}$  derinliğinde meydana gelecek değişimi tam olarak belirleyebilmek için "build-up" bölgesinde 1 mm aralıklarla ölçüm alındı. Maksimum dozun oluşturduğu derinlik her bir enerji için belirlendikten sonra tüm ölçümler bu maksimum doz değerine normalize edilerek yüzde iyonizasyon eğrileri çizildi. Elde edilen yüzde iyonizasyon eğrisi kullanılarak her enerjinin  $R_{50}$  (cm cinsinden yarı değer derinliği) ve  $R_p$  (elektron demetinin pratik erişim mesafesi) değeri hesaplandı. TRS 277<sup>[2]</sup> ve TRS 381 no'lu protokollerde durdurma gücü oranları fantom derinliği ve  $E_0$  (fantom yüzeyine çarpan ortalama elektron enerjisi) ve  $R_p$ 'ye bağlı olarak verildi. TRS 398<sup>[3]</sup> no'lu protokolde ise durdurma gücü oranları fantom derinliği ve  $z \setminus R_{50}$ 'ye bağlı olarak verildi.

TRS 277 no'lu protokol için  $E_0$ ,  $E_0 = C_4 R_{50}$  formülü kullanılarak bulundu. Her derinlik için durdurma gücü oranları, hem  $E_0$ 'a hem de  $R_p$ 'ye bağlı olarak hesaplandı ve bu değerler yüzde iyonizasyon değerleri ile çarpılarak yüzde derin doz eğrisi elde edildi.

TRS 381 no'lu protokol için  $E_0$ ,  $E_0 = 0,818 + 1,935R_{50} + 0,040R_{50}^2$  formülü kullanılarak elde edildi. Her derinlik için durdurma gücü oranları hem  $E_0$ 'a hem de  $R_p$ 'ye bağlı olarak hesaplandı ve bu değerler yüzde iyonizasyon değerleri ile çarpılarak yüzde derin doz grafiği elde edildi.

TRS 398 no'lu protokol için her bir derinliğe karşılık gelen  $z \setminus R_{50}$  değerleri bulundu ve  $R_{50} = 1,029R_{50,İYON} - 0,006$  formülü kullanılarak  $R_{50}$  hesaplandı. Her derinlik için durdurma gücü oranları  $R_{50}$ 'ye bağlı olarak bulundu ve bu değerler yüzde iyonizasyon değerleri ile çarpılarak yüzde derin doz grafiği elde edildi. Üç protokolden elde edilen grafikler birbirleri ile karşılaştırıldı. Ayrıca farklı protokoller için bulunan durdurma gücü oranları birbirleri ile kıyaslanarak  $R_{50}$  karşı grafikleri çizildi.

## BULGULAR

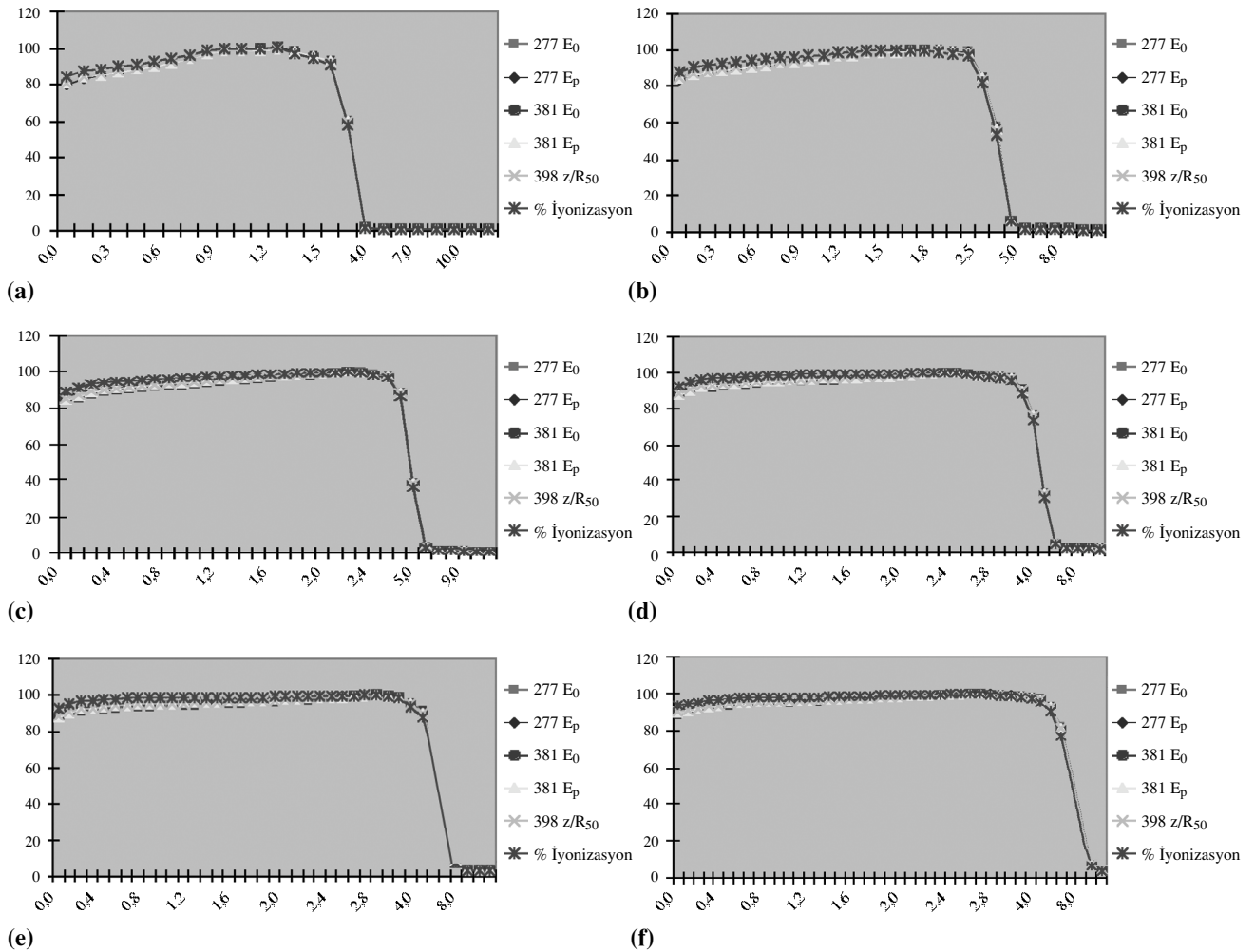
6 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 2,45$  cm ve  $R_{50} = 2,1378$  cm elde edildi. TRS 277 için  $E_0 = 4,98$  MeV, TRS 381 için  $E_0 = 5,13745$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,İYON} = 2,1398$  cm olarak belirlendi. Maksimum derinlik 1,2 cm'dir. Şekil 1a'da farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir. Üç protokol için farklılıkların en fazla meydana geldiği bölge "build up" noktasına kadar olan bölgedir.

6 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 1'de verilmiştir.

8 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 3,6$  cm ve  $R_{50} = 3,0878$  cm hesaplandı. TRS 277 için  $E_0 = 7,195$  MeV, TRS 381 için  $E_0 = 7,1743$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,İYON} = 3,11737$  cm olarak belirlendi. Maksimum derinlik 1,6 cm'dir. Şekil 1b'de farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

8 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 2'de verilmiştir.

10 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 4,83$  cm ve  $R_{50} = 3,73$  cm hesaplandı. TRS 277 için  $E_0 = 8,6909$  MeV, TRS 381 için



Şekil 1. (a) 6 MeV, (b) 8 MeV, (c) 10 MeV, (d) 12 MeV, (e) 15 MeV ve (f) 18 MeV için farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması.

**Tablo 1**

6 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	- %0,57	- %0,66	- %1,23
R <sub>p</sub>	%0,59	%0,09	%1,30

**Tablo 2**

8 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	%0,54	%0,89	%0,36
R <sub>p</sub>	%1,022	%0,61	- %0,41

**Tablo 3**

10 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	%1,45	%0,73	- %0,71
R <sub>p</sub>	- %0,69	%0,14	- %0,84

**Tablo 4**

12 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	- %0,81	%0,5	%1,32
R <sub>p</sub>	- %0,88	- %0,034	%0,86

**Tablo 5**

15 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	- %1,072	%0,34	%1,43
R <sub>p</sub>	- %1,19	- %0,24	%0,96

**Tablo 6**

18 MeV için üç protokole göre hesaplanmış yüzey dozlarının karşılaştırılması

	TRS 381 / TRS 277	TRS 398 / TRS 277	TRS 398 / TRS 381
E <sub>0</sub>	- %1,19	%0,1	%1,31
R <sub>p</sub>	- %1,17	- %0,04	%1,14

$E_0 = 8,59$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,IYON} = 3,778$  cm olarak belirlendi. Maksimum derinlik 2,2 cm'dir. Şekil 1c'de farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

10 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 3'de verilmiştir.

12 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 5,71$  cm ve  $R_{50} = 4,54$  cm hesaplandı. TRS 277 için  $E_0 = 10,578$  MeV, TRS 381 için  $E_0 = 10,427$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,IYON} = 4,61$  cm olarak belirlendi. Maksimum derinlik 2,5 cm'dir. Şekil 1d'de farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

12 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 4'de verilmiştir.

15 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 6,99$  cm ve  $R_{50} = 5,45$  cm hesaplandı. TRS 277 için  $E_0 = 12,6985$  MeV, TRS 381 için  $E_0 = 12,55$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,IYON} = 5,548$  cm olarak belirlendi. Maksimum derinlik 2,8 cm'dir. Şekil 1e'de farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

15 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 5'de verilmiştir.

18 MeV için bulunan yüzde iyonizasyon eğrisinden  $R_p = 8,69$  cm ve  $R_{50} = 7,068$  cm hesaplandı. TRS 277 için  $E_0 = 16,469$  MeV TRS 381 için  $E_0 = 16,49$  MeV ve TRS 398 için de  $R_{50,IYON} = 7,21$  olarak belirlendi. Maksimum derinlik 3 cm'dir. Şekil 1f'de farklı protokollere göre hesaplanmış yüzde derin doz eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir. Üç protokol için "build-up" bölgesi dozları Tablo 6'da gösterilmiştir.

18 MeV de üç farklı protokol için  $E_0$  ve  $R_p$  göre bulunmuş durdurma gücü oranları ile çarpılarak

elde edilen yüzey dozu oranları Tablo 6'da verilmiştir.

## TARTIŞMA

Çalışmamızda elektron enerjileri için yüzde iyonizasyon eğrileri ölçülmüş, daha sonra bu eğrilerden  $R_{50}$  ve  $R_p$  değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak her derinlik için sudaki durdurma gücü oranları hem  $R_{50}$  hem de  $R_p$ 'ye bağlı olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler yüzde iyonizasyon değerleri ile çarpılarak yüzde derin doz eğrileri elde edilmiştir. TRS 227 ve TRS 381'de tek enerjili elektron demetleri için bulunmuş durdurma güçleri kullanılırken, TRS 398'de realistik elektron demetleri için bulunmuş durdurma güçleri kullanılmaktadır. Kullanılan farklı durdurma gücü oranlarının yüzde derin doz eğrilerinde farklılıklara neden olduğu görülmüştür. En fazla değişim yüzey dozlarında meydana gelmiştir. Buna göre en büyük fark 10 MeV enerjisinde  $E_0$ 'a göre hesaplanmış TRS 381 / TRS 277 farkı %1,45'tir. En az fark ise 6 MeV enerjisinde  $R_p$ 'ye göre hesaplanmış TRS 398 / TRS 277 farkı %0,09'dur. Bazı enerjiler için TRS 398 / TRS 277 ve TRS 381 / TRS 277 farkı negatif çıkmıştır. Bu durdurma gücü eğrisinin lineer bir eğri olmamasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, realistik elektron demetleri için bulunmuş durdurma gücü oranlarını kullanmak literatürlerde de belirtildiği gibi yüzey dozlarını daha doğru şekilde değerlendirmemizi sağlamaktadır.

Durdurma gücü değerlerinin karşılaştırılması, Pedro Andreo ve arkadaşları<sup>[4]</sup> tarafından da yapılmıştır. Elde edilen değerler çalışmamızda elde ettiğimiz verilerle uygunluk göstermektedir.

## KAYNAKLAR

1. International Atomic Energy Agency 'The use of plane parallel ionization chambers in high energy electron and photon beams: an international code of practice for dosimetry.' Technical Reports Series No.381 Vienna, Austria: 1997.
2. International Atomic Energy Agency 'Absorbe dose determination in photon and electron beams: an international code of practice.' Technical Reports Series No.277, Vienna, Austria: 1987.

3. International Atomic Energy Agency 'Absorbe dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbe dose to water.' Technical Reports Series No.398 Vienna, Austria: 2000.
4. Andreo P, Huq MS, Westermarck M, Song H, Tilikidis A, DeWerd L, et al. Protocols for the dosimetry of high-energy photon and electron beams: a comparison of the IAEA TRS-398 and previous international codes of practice. International Atomic Energy Agency. Phys Med Biol 2002;47(17):3033-53.
5. Ding GX, Yu CW. Determination of percentage depth-dose curves for electron beams using different types of detectors. Med Phys 2001;28(3):298-302.