



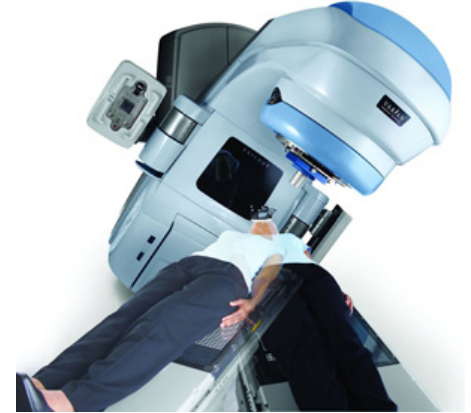
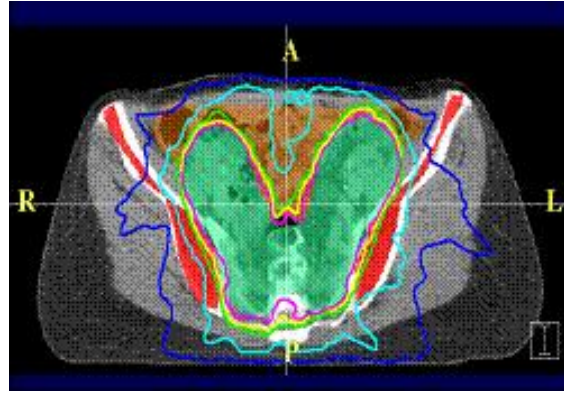
TRS 398 ve Elektron Enerjilerinde Doz Kalibrasyonu

Alper ÖZSEVEN, M.Sc.

***Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi
Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı***

XIV. Medikal Fizik Kongresi, Kasım 2013, Antalya

Radyoterapide Tedavi Basamakları



- ✓ Uygun immobilizasyon ve simülasyon
- ✓ Hedef ve normal dokuların konturlanması
- ✓ Optimal planlama
 - Hedef dokularda maksimum doz
 - Normal dokularda minimum doz
- ✓ Set - up
- ✓ Tedavinin uygulanması

Radyoterapide Tedavi Basamakları

Tedavinin uygulanması



**Tanımlanan dozun doğru olarak
verilmesi**



Tedavi cihazının mutlak kalibrasyonu



Mutlak kalibrasyon, ama nasıl ?

Kalibrasyon

- Uluslararası kuruluşlar tarafından yayınlanan ve güncel protokollerin uygulanması
- Uygun ekipmanların seçimi
- Kalibrasyon öncesi, belirtilen koşullarda ölçüm düzeneğinin kurulması



Kalibrasyon Aşamasının Basamakları

Ölçümler

Birbirine bağlı parametreler

Düzeltilme faktörleri

TRS (*Technical Report Series*)

Kalibrasyon basamaklarını anlatan, Uluslararası kuruluşlar tarafından yayınlanan ve güncel protokollerin uygulanması

TRS – 277 (1987)



TRS – 381 (1997)



TRS – 398 (2000)

TECHNICAL REPORTS SERIES No. **398**

Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy

**An International Code of Practice for Dosimetry
Based on Standards of Absorbed Dose to Water**

Sponsored by the IAEA, WHO, PAHO and ESTRO



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2000

TRS – 398' in Getirdiği Yenilikler

- İyon odalarının kalibrasyonunda doğrudan suda soğurulan doz faktörü kullanılması, kalibrasyon faktörü $N_{D,w}$
- Yeni referans derinliğin tanımlanması, z_{REF}
- Işın kalite ve ışın kalitesine bağlı parametrelerin enerji yerine R_{50} derinliği ile belirtilmesi
- Referans demet kalitesi Q için suda, z_{REF} derinliğindeki soğurulan doz

$$D_{w,Q} = M_Q \times N_{D,w}$$

TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398

Absorbed Dose Determination in
External Beam Radiotherapy
An International Code of Practice for Dosimetry
Based on Standards of Absorbed Dose to Water

Sponsored by the IAEA, WHO, PAHO and ESTRO



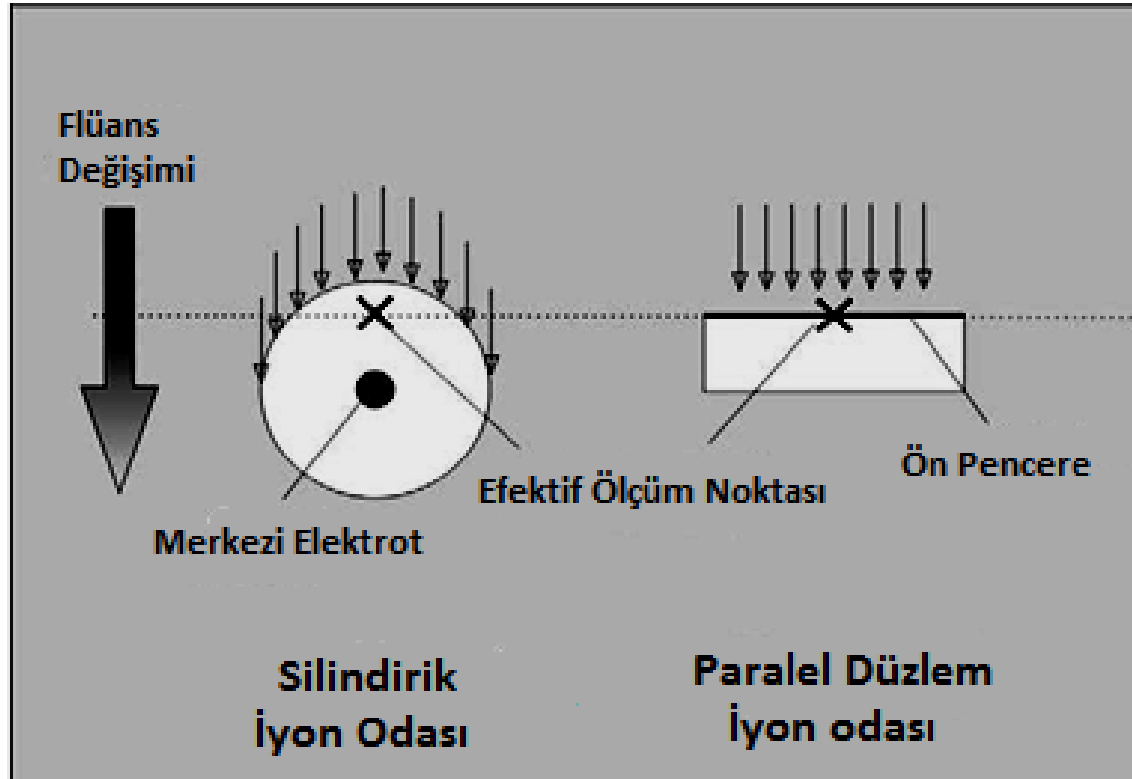
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2000

Işın Kalitesinin Ölçülmesi

Fantom Meteryali	▪ $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$ için, Su ▪ $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ için, Su ya da plastik
İyon Odasının Tipi	▪ $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem ya da silindir ▪ $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem
İyon Odasını Referans Noktası	▪ Paralel düzlem için pencerenin iç yüzeyi ve merkezde ▪ Silindirik için merkez eksen ve kavitenin merkezi
İyon Odasının Referans Noktasının Yeri	▪ Paralel düzlem için ilgilenilen noktada ▪ Silindirik için ilgilenen noktadan 0,5 rcyl daha derinde
SSD	100 cm
Fantom Yüzeyinde Alan Boyutu	$R_{50} \leq 7 \text{ g/cm}^2$ için, en az 10x10 $R_{50} > 7 \text{ g/cm}^2$ için, en az 20x20

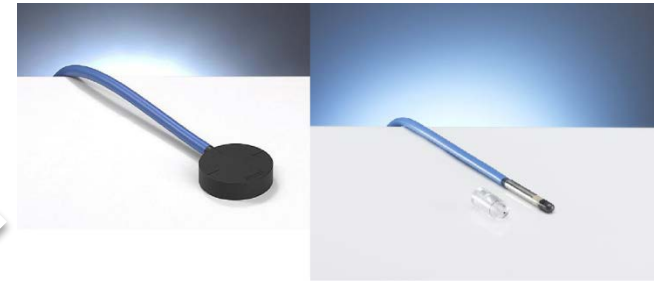
Tablo:1 Elektron enerjilerinde **ışın kalitesinin** belirlenmesi için referans koşullar

Efektif Ölçüm Noktası

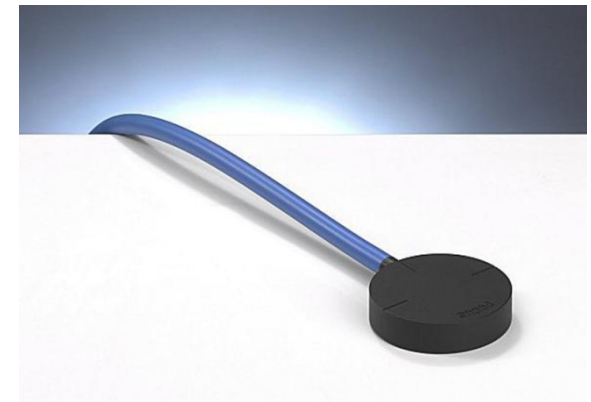


TRS-398

- $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$ ($E_0 \geq 10 \text{ MeV}$) elektron enerjilerinde paralel düzlem ya da silindirik iyon odalarını



$R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ ($E_0 < 10 \text{ MeV}$) elektron enerjilerinde ise sadece paralel düzlem iyon odalarının kullanılmasını tavsiye etmektedir.



TRS-398

İyon odası ile suda yapılan ölçümlerde, direk olarak ölçülen değer $R_{50,ion}$ ' u belirtmektedir.

$$R_{50, ion} \leq 10 \text{ g/cm}^2 \longrightarrow R_{50} = 1.029 R_{50, ion} - 0.06 \text{ g/cm}^2$$

$$R_{50, ion} > 10 \text{ g/cm}^2 \longrightarrow R_{50} = 1.059 R_{50, ion} - 0.37 \text{ g/cm}^2$$

Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Fantom Meteryali	▪ $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$ için, Su ▪ $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ için, Su ya da plastik
İyon Odasının Tipi	▪ $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem ya da silindir ▪ $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem
İyon Odasını Referans Noktası	▪ Paralel düzlem için pencerenin iç yüzeyi ve merkezde ▪ Silindirik için merkez eksen ve kavitenin merkezi
İyon Odasının Referans Noktasının Fantomdaki Yeri	▪ Paralel düzlem için z_{ref} de ▪ Silindirik için z_{ref} den $0,5 \text{ rcyl}$ daha derinde
SSD	100 cm
Fantom Yüzeyinde Alan Boyutu	10x10
Ölçüm derinliği z_{ref}	$0,6 R_{50} - 0,1 \text{ g/cm}^2$

Tablo:2 Elektron enerjilerinde **soğurulan dozun** belirlenmesi için referans koşullar

TRS - 277

$$D_w (p_{\text{eff}}) = M_u \cdot P_{\text{TP}} \cdot k_s \cdot k_h \cdot (s_{w,\text{air}})_u \cdot P_u \cdot N_D$$

TRS - 398

Kullanacağımız demet kalitesi Q referans demet kalitesinden Q_0 farklı ise sudaki soğurulan doz:

$$D_{w,Q} (p_{\text{eff}}) = M_Q k_{Q,Q_0} N_{D,w,Q_0}$$

$$D_{w,Q} = M_{Q0} k_{Q,Q0} N_{D,w,Q0}$$

- M_{Q0} : Basınç-sıcaklık ve yeniden birleşme faktörleri ve polarite etkisi ile düzeltilmiş okuma değeri
- $N_{D,w,Q0}$: İkincil standart laboratuvarın belirlemiş olduğu kalibrasyon katsayısı
- $k_{Q,Q0}$: Demet kalitesi R50' ye ve kullanılan iyon odasının tipine bağlı olarak protokolde verilen değer

Düzeltilme Faktörleri

Eğer iyon odası kalibrasyonun yapıldığı referans koşullardan farklı koşullarda kullanılırsa ölçülen sinyalin doğru olması için etki parametrelerinin düzeltilmesi gerekir.

- *Basınç, Sıcaklık, Nem Düzeltmesi*
- *Polarite Düzeltme Faktörü*
- *Yeniden Birleşme Faktörü*



Basınç, Sıcaklık, Nem Düzeltmesi (k_{TP})

$$k_{TP} = \frac{(273.16 + T)P_0}{(273.2 + T_0)P}$$

Basınç ve sıcaklığı düzeltmek için kullanıcının kullanması gereken basınç sıcaklık düzeltme faktörü,

Nemlilik %20-%80 arasında ise düzeltme gerekmez !



Polarite Düzeltme Faktörü (k_{pol})

Işınlama koşullarını değiştirmeden, polarize voltajın polaritesini tersine çevirdiğimizde farklı bir yük okuması yaparız. Bu olaya polarite etkisi denir.

$$k_{POL} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M}$$

Yeniden Birleşme Faktörü (k_s)

İyonların yeniden birleşmesi sebebiyle, iyon odası tarafından okunamayan yükler, dedeksiyon sırasında yük kayıplarına neden olabilir. Bu kayıpların düzeltilmesi amacıyla, yeniden birleşme faktörü uygulanır.

$$k_S = a_0 + a_1\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + a_2\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2$$



a_0 , a_1 ve a_2 değerleri (TRS-398, Tablo-9)

Kros Kalibrasyon

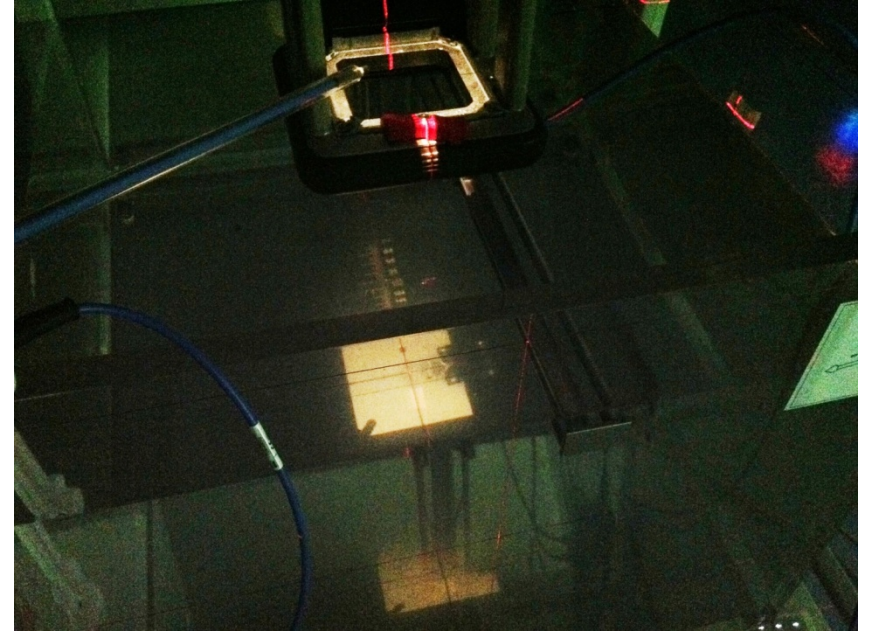
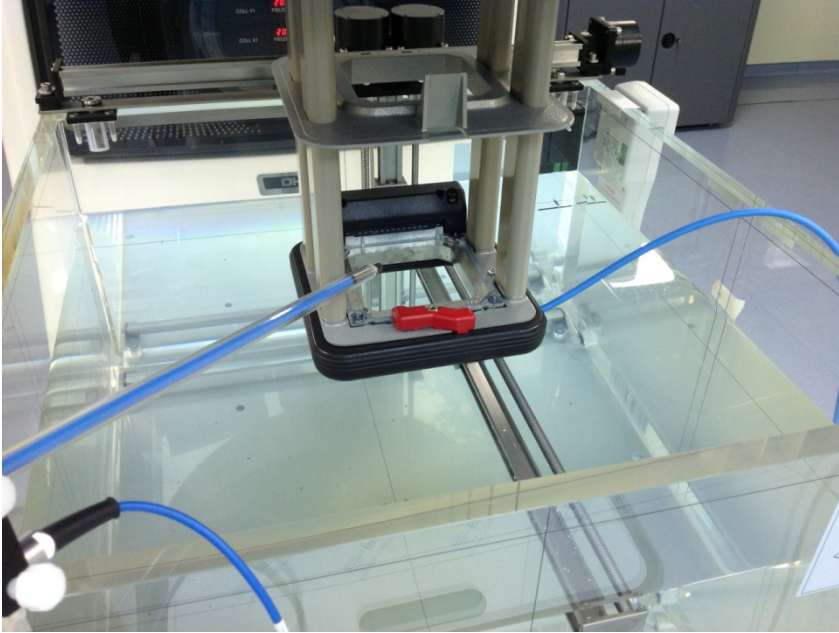
- Rutin olarak kullandığımız paralel düzlem iyon odaları, Co – 60 da kalibre edilmiş referans olarak kabul edebileceğimiz bir iyon odasına karşı kalibre edilebilir.
 - Önce referans iyon odası ile ölçüm
 - Sonra aynı referans derinlikte aynı yere paralel düzlem iyon odası yerleştirilerek ölçüm

$$N_{D,w,Q_{cross}}^x = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^x} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$$

Ölçümler



Ölçüm Düzenneđi



- Ölçümler Varian 2300 CD (DHX) cihazında 6, 9, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjileri için yapılmıştır.

Z max, R50 ve Z ref

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Z_{max}	1,30 cm	2 ,00 cm	2,70 cm	2,80 cm	3,00 cm
R50	2,40 cm	3,74 cm	5,18 cm	6,53 cm	7,84 cm
Z_{ref}	1,34 cm	2,14 cm	3,00 cm	3,81 cm	4,60 cm

*Tablo:3 Farklı elektron enerjileri için **paralel düzlem iyon odası** ile zmax, R50 ve zref değerleri*

Z max, R50 ve Z ref

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Z _{max}	1,30 cm	2 ,00 cm	2,70 cm	2,80 cm	3,00 cm
R50	2,35 cm	3,68 cm	5,16 cm	6,49 cm	7,84 cm
Z _{ref}	1,31 cm	2,11 cm	2,99 cm	3,79 cm	4,60 cm

Tablo:4 Farklı elektron enerjileri için **silindirik iyon odası** ile zmax, R50 ve zref değerleri

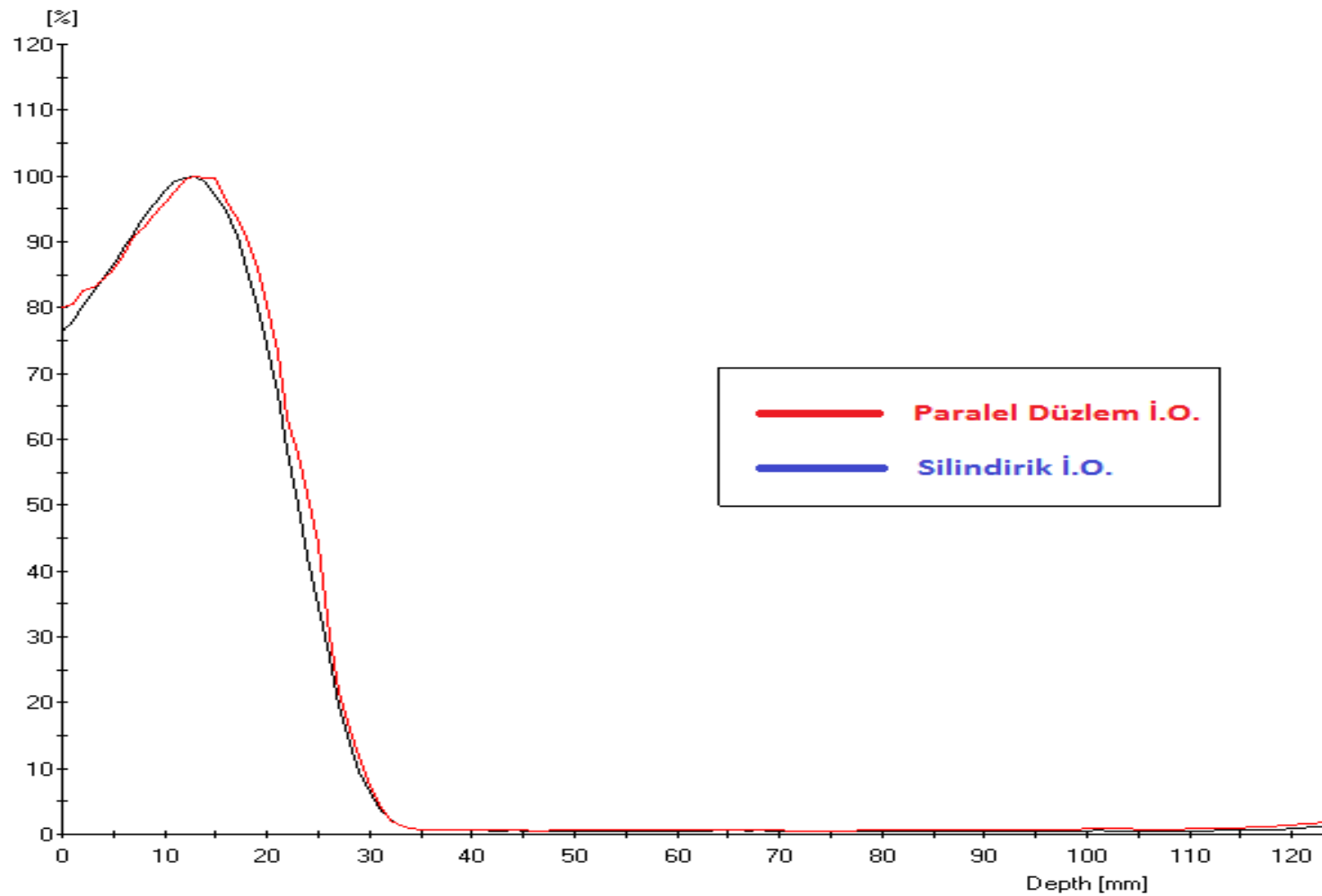
Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Z_{max}	1,30 cm	2 ,00 cm	2,70 cm	2,80 cm	3,00 cm
R50	2,44 cm	3,74 cm	5,18 cm	6,52 cm	7,84 cm
Z_{ref}	1,37 cm	2,14 cm	3,00 cm	3,81 cm	4,60 cm

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Z _{max}	1,30 cm	2 ,00 cm	2,70 cm	2,80 cm	3,00 cm
R50	2,35 cm	3,68 cm	5,16 cm	6,49 cm	7,84 cm
Z _{ref}	1,31 cm	2,11 cm	2,99 cm	3,79 cm	4,60 cm

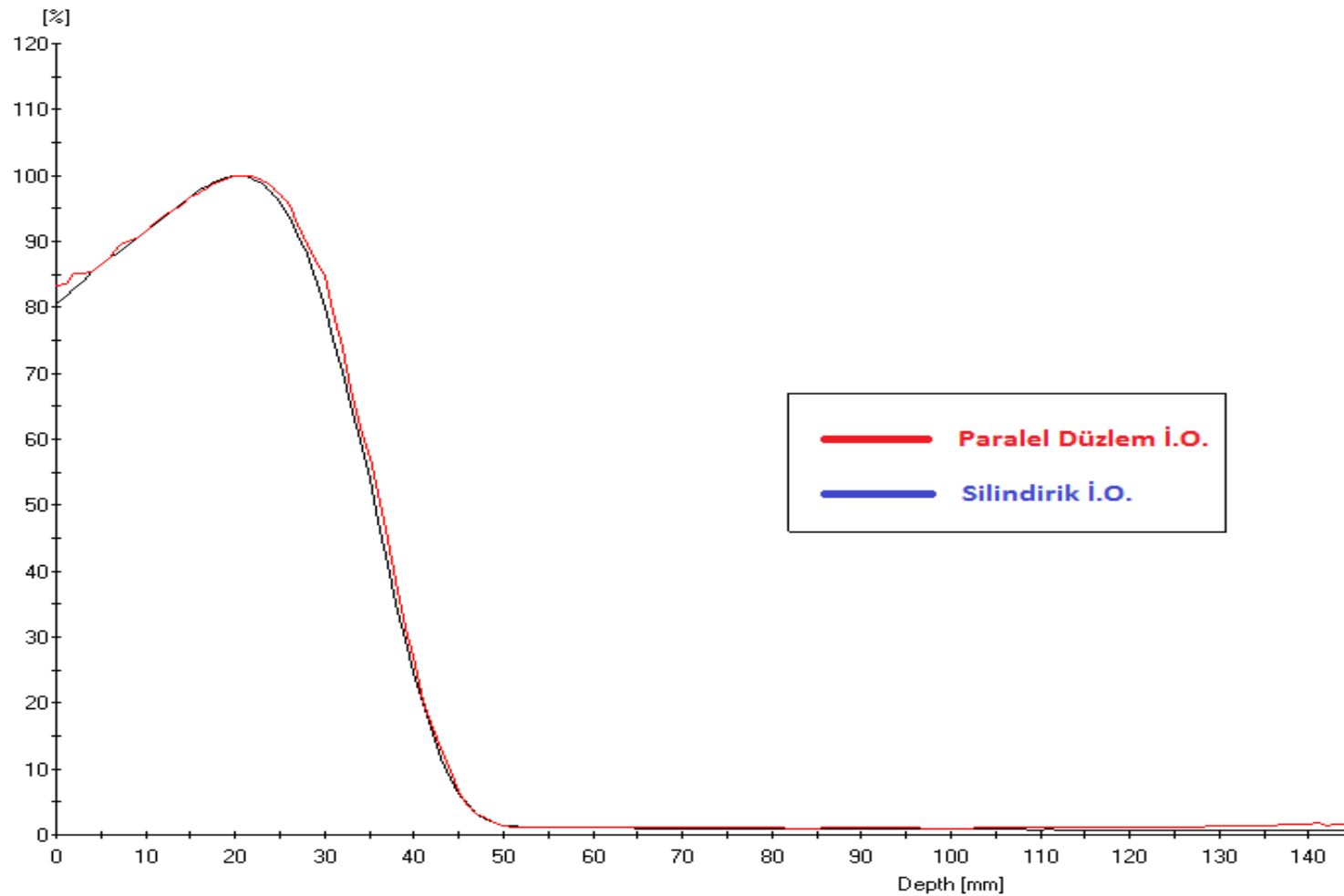
k_Q Değerleri

				k_Q Değerleri					
Electron			PTW	PTW				PTW	
Beam			34001	30001/30010				31002/31010	
Quality				0.6 cm ^s				0.125 cm ^s	
R ₅₀			Roos	Farmer				Flexible	
1	–	0,966	0,965	–	–	–	–	–	–
1,4	–	0,956	0,955	–	–	–	–	–	–
2	0,925	0,945	0,944	–	–	–	–	–	–
2,5	0,92	0,938	0,937	–	–	–	–	–	–
3	0,916	0,932	0,931	–	–	–	–	–	–
3,5	0,913	0,926	0,925	–	–	–	–	–	–
4	0,91	0,921	0,92	0,911	0,916	0,92	0,911	0,912	0,912
4,5	0,907	0,917	0,916	0,909	0,914	0,918	0,909	0,91	0,91
5	0,904	0,912	0,912	0,907	0,912	0,916	0,907	0,908	0,908
5,5	0,901	0,909	0,908	0,905	0,91	0,915	0,905	0,906	0,906
6	0,899	0,905	0,904	0,904	0,909	0,913	0,904	0,905	0,905
7	0,894	0,899	0,898	0,901	0,906	0,91	0,901	0,901	0,901
8	0,889	0,893	0,892	0,898	0,903	0,907	0,898	0,898	0,898

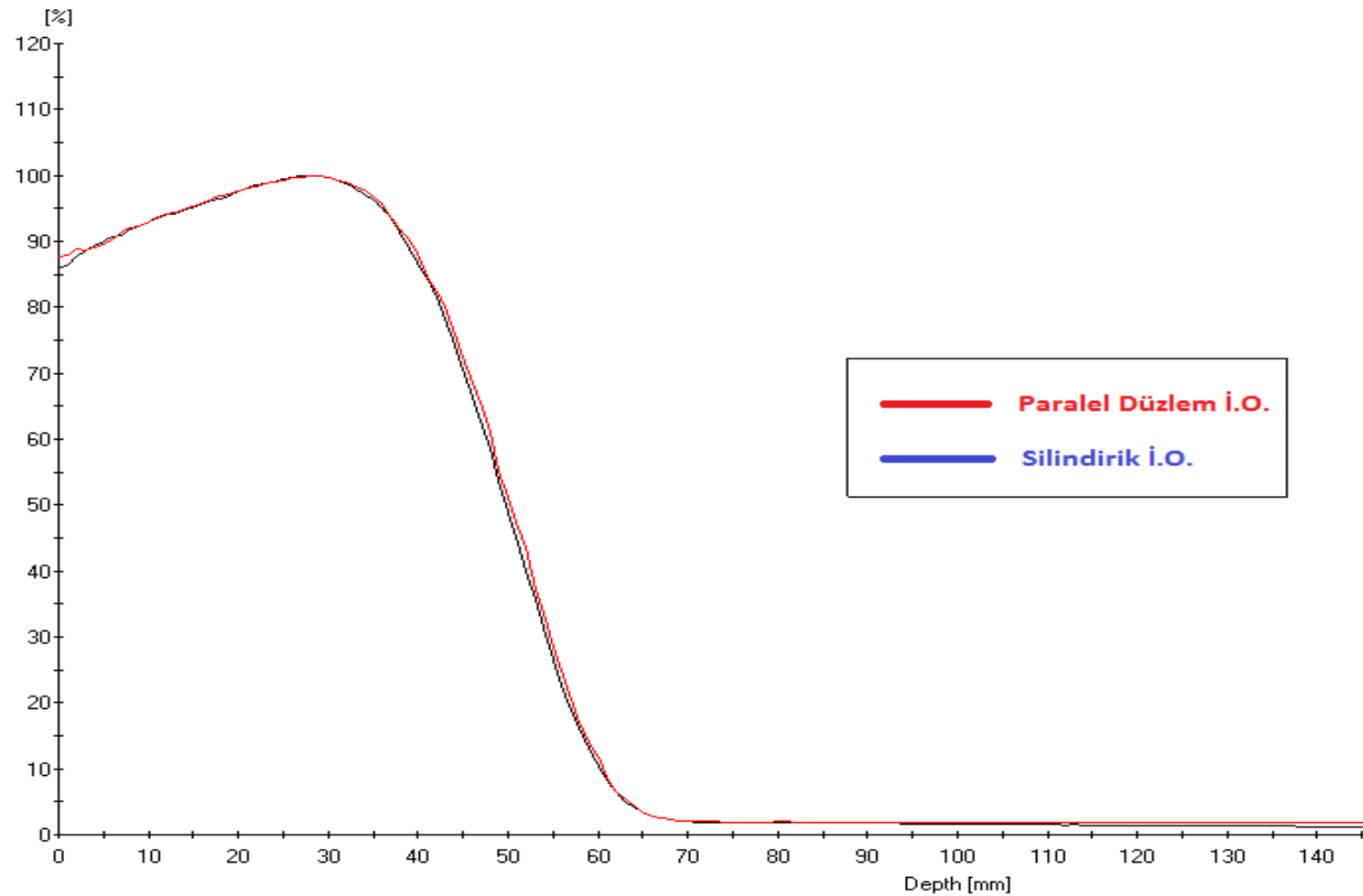
6 MeV



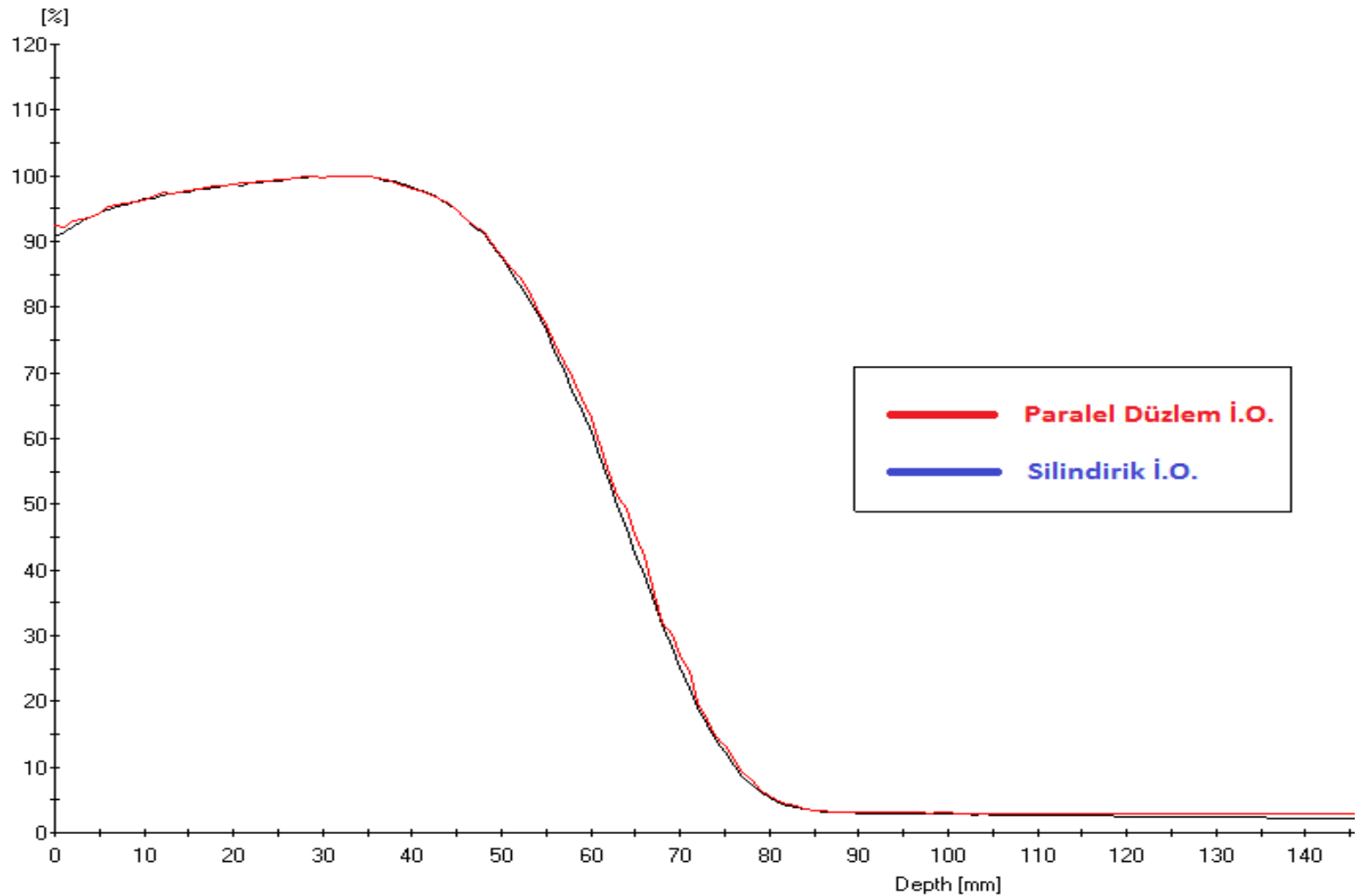
9 MeV



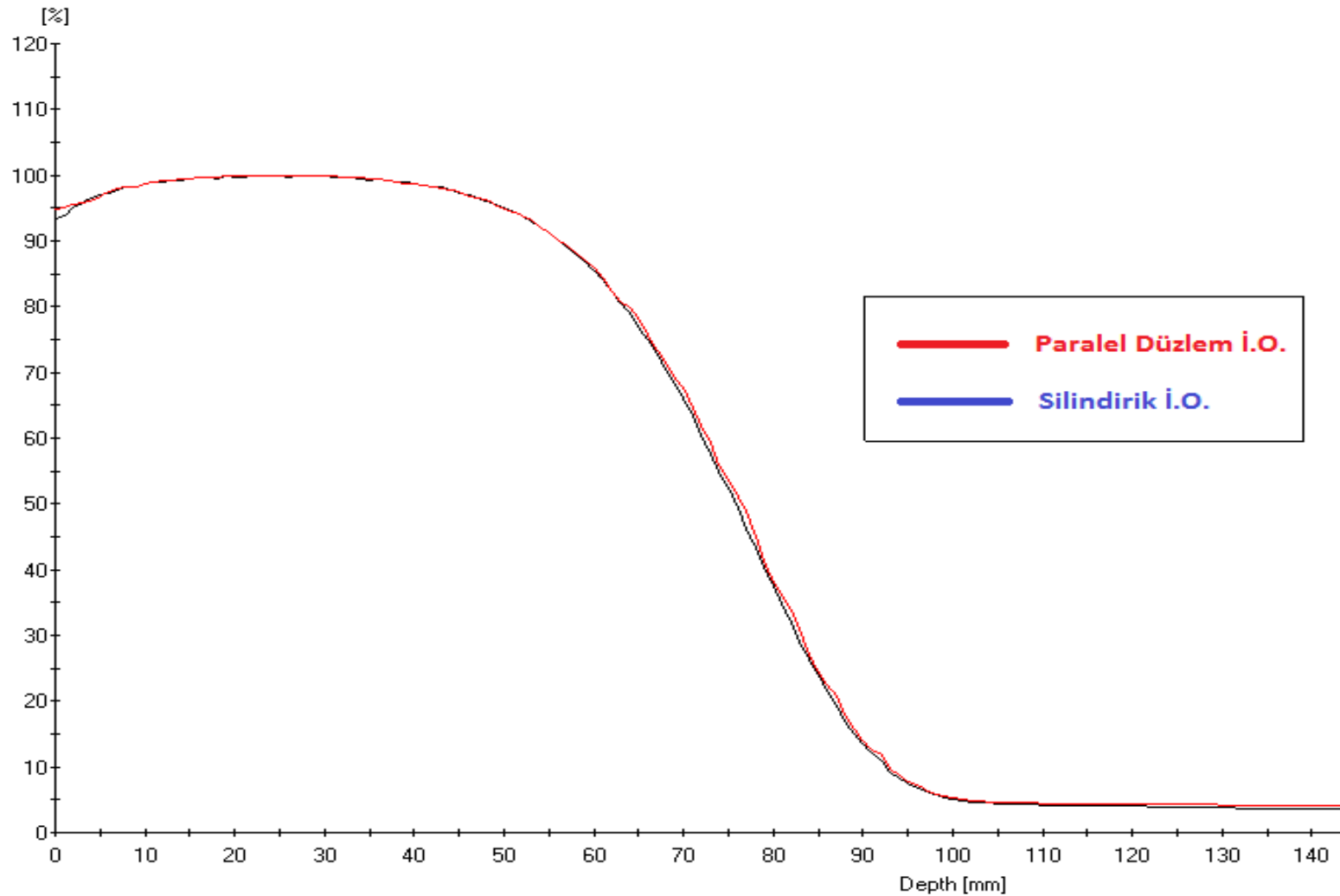
12 MeV



15 MeV



18 MeV

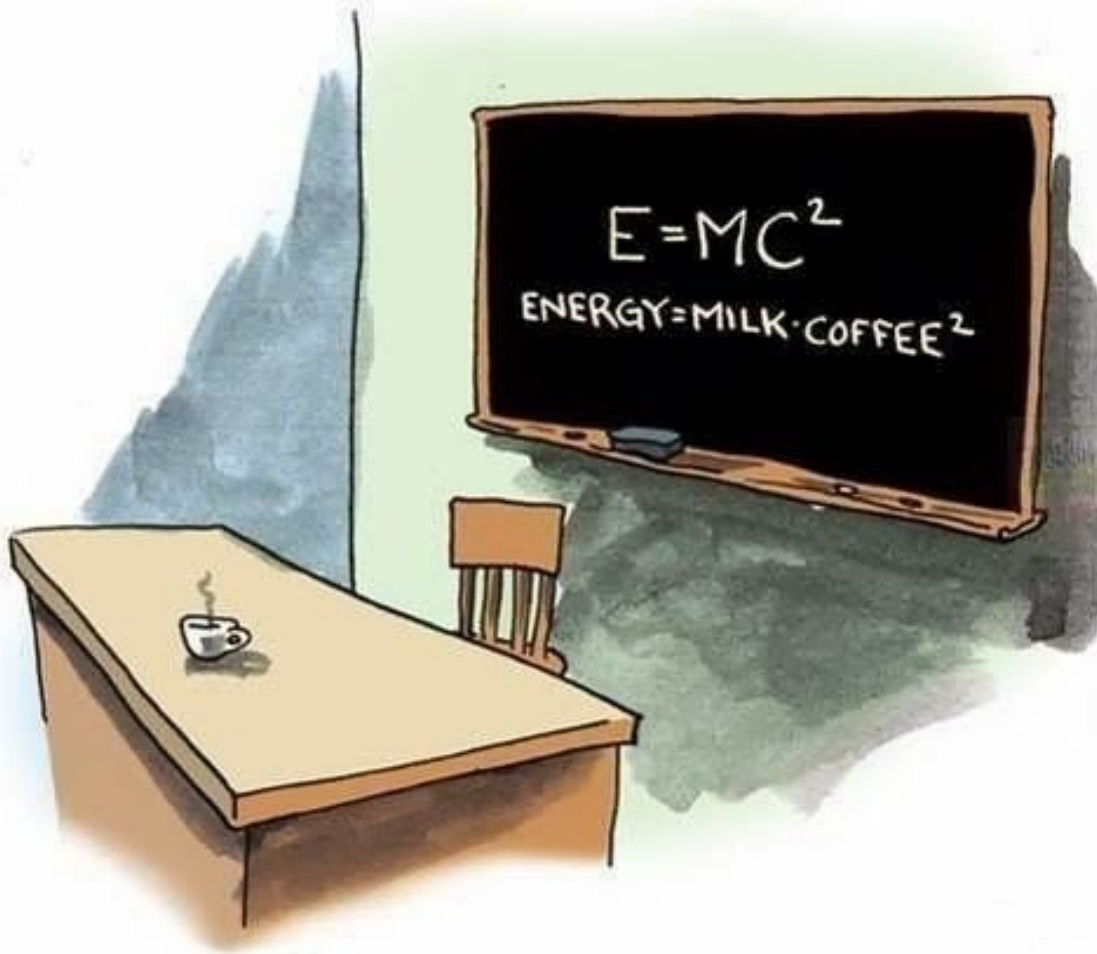


Sonuçlar

- ✓ TRS – 398 her iyon odası için önerilen kalibrasyon faktörleri ve düzeltme faktörlerinin dikkate alınması açısından, belirsizlik diğer protokollere göre daha azalmıştır.
- ✓ 10 MeV den düşük elektron enerjileri için paralel düzlem iyon odalarında polarite düzeltmesi önemli olabilmektedir.
- ✓ Önceki protokollere göre daha basit bir formalizm kullanılması sonucunda, hesaplama kolaylığı getirilmiştir.
- ✓ TRS-398 de suda soğurulan doz cinsinden kalibrasyon faktörü kullanılması ile ölçüm sonuçlarındaki kesinlik ve doğruluk daha fazla olabilmektedir.

Kaynaklar

- An International Code of Practice for Dosimetry based on absorbed dose to water IAEA Tech. Series No.398, Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. Vienna: IAEA; 2000.
- Acar, H. Farklı elektron enerjilerinin absorbe doz ölçümlerinin UAEA protokolleri TRS 277, 381 ve 398'e göre karşılaştırılması, Türk Onkoloji Dergisi 2007; 22(4):166-171
- Sathiyar S, Ravikumar M. Absolute dose determination in high-energy electron beams: Comparison of IAEA dosimetry protocols. J Med Phys 2008;33:108-13



Teşekkürler