

## YÜKSEK ENERJİLİ ELEKTRON DEMETLERİ ÖLÇÜMLERİNDE İKİ FARKLI İYON ODASININ KARŞILAŞTIRILMASI

### COMPARISON OF TWO DIFFERENT IONIZATION CHAMBER FOR MEASUREMENT OF HIGH ENERGY ELECTRON BEAMS

Hasan YENER<sup>\*1,3</sup>, Abdülmecit CANBOLAT<sup>2,3</sup>, Eser BİLEN<sup>2,3</sup>, Sinan YAŞAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 31000, HATAY

<sup>2</sup> Özel Defne Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü, 31000, HATAY

<sup>3</sup> Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fizigi, 01000, ADANA

#### ÖZET

Bu çalışmada yüksek enerjili elektron demetleri için suda soğrulan doz kalibrasyonlarında kullanılan paralel plaka ve silindirik iyon odalarının karakteristikleri incelenmiştir. Referans olarak alınan 0,6cc silindirik iyon odasından elde edilen okumalar tüm etki faktörleri hesaba katılarak düzeltilmiştir. Elektron ölçümlerinde kullanılacak iyon odalarının kalibrasyon faktörleri referans iyon odası ile çapraz kalibrasyon işlemi yapılarak elde edilmiştir. Elde edilen faktörler her bir elektron enerjisi için suda soğrulan doz (Dw) değerlerinde hesaba katılmış ve verilmek istenen radyasyon dozu ölçümündeki duyarlılıkları incelenmiştir. Paralel plaka ve silindirik iyon odaları 12 MeV ve üzeri doz ölçümlerinde aynı hassasiyete sahipken, 6 ve 9 MeV enerjilerde paralel plaka iyon odası çok daha hassas davranmaktadır. 6 ve 9 MeV enerjilerde silindirik iyon odası ile elde edilen soğrulan doz değerleri sırasıyla %2,9 ve %2,5 oranında sapma göstermektedir. Bu sonuç Technical Reports Series (TRS) raporlarında belirtilen 10 MeV ve altındaki elektron ölçümlerinde paralel plaka iyon odasının kullanılması gerekliliğini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Foton, Elektron Işını, Foton Radyoterapi, Lineer Hızlandırıcı

#### ABSTRACT

In this study, the characterization of parallel plate and the cylindrical ionization chamber which is used for calibration absorbed dose in water was investigated. The readings of 0.6 cc cylindrical ion chamber which is reference have been corrected by taking into account all influencing factors. The calibration factors of ionization chambers used in the measurement of electron was collected through reference ionization chamber with cross calibration. Factors derived were taken into account for the values of absorbed dose in water (Dw) for each electron energy and it's sensitivity in measurements were investigated. Parallel plate and cylindrical ionization chamber dose measurements were the same precision above 12 MeV, while parallel plate ionization chamber is much more sensitive for the 6 and 9 MeV. Absorbed dose values obtained with cylindrical ionization chamber for 6 and 9 MeV showed deviation 2.9% and 2.5%, respectively. These results support that the necessity of the use parallel plate ionization chamber for the measurements of electron under 10 MeV mentioned in the Technical Reports Series (TRS).

**Key Words:** Photon, Electron Beam, Photon Radiotherapy, Linear Accelerator

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hasan YENER, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 31000, Hatay, Türkiye , E-mail: hasanyener84@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

Radyoterapide temel amaç, istenilen dozdaki radyasyonu tümöre büyük bir doğrulukla verebilmektir. Tedavinin başarısı ya da başarısızlığı tümöre verilen radyasyon dozuna bağlı olduğundan tümöre verilen dozun verilmek istenen dozdan  $\pm$  % 5'den fazla değişiklik göstermemesi gerekmektedir. Bu da radyasyon dozimetresindeki bütün belirsizliklerin minimuma indirilmesini gerektirmektedir. Radyasyon demetinin kalibrasyonu komplike ölçümlere ve pek çok dönüşüm ve düzeltme faktörünün uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yüzden kalibrasyon işleminin bütün basamakları belirsizliğe yol açmayacak şekilde belirtilmelidir. Bunun için uluslararası atom enerji ajansı (UAEA), 1987 yılında kalibrasyon işleminin bütün basamaklarını detaylı bir şekilde anlatan, fiziksel etkileşimler ve düzeltme faktörlerinin sayısal değerlerini veren böylece bizim soğurulan dozu en iyi şekilde tespit etmemizi sağlayan TRS-277 no'lu protokolü [1] geliştirmiştir. Bu protokol soğurulan doz amaçlı kullanılan iyon odalarının hava kerma cinsinden kalibre edilmesi prensibini içermektedir. Daha sonraki yıllarda paralel plaka iyon odalarının elektron demetlerinin (özellikle 10 MeV altı demetlerin) kalibrasyonunda oldukça avantajlı olduğu görülmüştür. Ancak TRS-277 no'lu protokol bu odaların kalibrasyonu ve kullanımı ile ilgili detaylı bilgi vermemektedir. Bu yüzden 1997 yılında özellikle paralel plaka iyon odaları için TRS-381 no'lu yeni bir protokol [2] geliştirilmiştir. Bu protokol paralel plaka iyon odaların Co-60 gama enerjisinde hava kerma veya suda soğurulmuş doz cinsinden kalibrasyonunu açıklamaktadır. Ayrıca TRS-277 no'lu protokoldeki verilerin ve metodların bir kısmının güncellenmesini de içermektedir. Kısaca TRS-381, TRS-277 no'lu protokoldeki paralel plaka iyon odaları ile ilgili olan boşluğu doldurmakta ve böylece bu odaların kullanıldığı durumlarda maksimum doğruluğu elde etmeyi sağlamaktadır.

TRS-277'deki belirsizlikler elektronlar için %3.7, yüksek enerjili X ışınları için %3.2, Co-60 için ise %2.5'dir. Radyoterapi geliştikçe bu belirsizlikler minimuma indirilerek daha büyük bir kesinlikle soğurulan dozu bulmanın yolları araştırılmaya başlanmıştır. Böylece 2000 yılında TRS-398 no'lu protokol [3] geliştirilmiştir. Daha önceki TRS-277 no'lu protokolda iyon odaları ikincil standart dozimetri laboratuvarlarda (İSDL) hava kerma cinsinden kalibre ediliyorken, kullanıcı ise belirli bir derinlikte sudaki soğurulan dozu hesaplıyordu. Bu hesap sırasında iyon odası ile ilgili bazı düzeltme faktörleri kullanılıyordu ve bu faktörlerin sayısal değerleri farklı iyon odaları için TRS-277 no'lu protokolda verilmekteydi. Bu faktörler  $k_{ATT}$  (fotonların iyon odası materyalinde meydana getirdiği saçılmayı ve azaltmayı dikkate alarak düzelten faktör) ve  $k_M$  (İyon odası materyalinin hava eşdeğeri olmamasını dikkate alarak düzelten faktör)'dir. Bu faktörler TRS-277 no'lu protokolda aynı model bütün iyon odaları için aynıdır. Ancak aynı modelde olsa bütün iyon odalarının imalatı tamamen benzer olmadığından tek bir faktörü kullanmak önemli ölçüde belirsizlik getiriyordu. Bu yüzden olayları biraz daha elektrometre ve iyon odasına özgü yaparak belirsizliği azaltan TRS-398 no'lu protokol geliştirilmiştir[3]. Bu protokolda iyon odaları suda soğurulan doz cinsinden kalibre edilmektedir.

Etki parametreleri ölçümün öznesi olmayan ama ölçümü etkileyen parametreleridir. Eğer iyon odası referans koşullardan farklı koşullarda kullanılırsa ölçülen sinyalin doğru değerlendirilebilmesi için etki parametrelerinin katkılarının düzeltilmesi gerekir.

### 1.1. Sıcaklık, Basınç ve Nem Etkisi “ $k_{TP}$ ”

Odanın duyarlı hacmindeki havanın kütlesi  $\{\rho_{HAVA} \times V_{EFF}\}$ 'dir. Burada  $\rho_{HAVA}$  havanın yoğunluğu,  $V_{EFF}$  odanın efektif duyarlı hacmidir. Pek çok iyon odası atmosfere açık ve  $\rho_{HAVA}$ , atmosferik basınç, sıcaklık ve nem

fonksiyonu olduğundan odanın topladığı yük, atmosferik basınç, sıcaklık ve nem ile ilişkilidir. Çoğu standart laboratuarda kalibrasyon normal koşullar altında (20 °C sıcaklık ve 101.325 kPa basınç) ve rölatif nem % 50 içerisinde. Basınç ve sıcaklığı düzeltmek için kullanıcının kullanması gereken basınç sıcaklık düzeltme faktörü,

$$k_{TP} = \frac{P_0(273,16+T)}{P(273,16+T_0)} \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu formül ölçülen sinyali standart laboratuarda oda kalibrasyonu için kullanılan referans durumlara dönüştürmek için kullanılır. Formüldeki T ve P ölçüm anındaki basınç ve sıcaklık, P<sub>0</sub> ve T<sub>0</sub> ise normal koşullardaki değerlerdir.

### 1.2. Polarite Düzeltme Faktörü “k<sub>POL</sub>”

Oda kavitesi içerisindeki iyon toplama özelliği uygulanan polarizasyon voltajının işaretine göre değişebilir. Aynı ışılama koşulları altında, polarize voltajın polaritesini tersine çevirirsek farklı bir okuma yaparız. Bu olaya polarite etkisi denir. Yüksek enerjili foton demetleri için bu faktör pek çok iyon odasında ihmal edilse de mutlaka kontrol edilmesi gerekir. Ancak elektron demetlerinde özellikle düşük enerjilerde önem taşıyan polarite düzeltme faktörü,

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

ile verilmektedir. M<sub>+</sub> ve M<sub>-</sub> aynı koşullar altında pozitif ve negatif oda polaritelerinde yapılan ölçümlerin okuma değerleridir. M ise rutin olarak kullanılan polaritede yapılan okumadır. Eğer herhangi bir odanın polaritesi %3'den büyükse o oda mutlak dozimetre ölçümleri için uygun değildir.

### 1.3. Yeniden Birleşme Düzeltme Faktörü “k<sub>S</sub>”

Bir iyon odasının cevabı odanın ölçen ve toplayan elektrotları arasına uygulanan voltaja

bağlıdır. Radyasyonun odada oluşturduğu yük gerçekte toplanan yükten farklı olabilir. Bu farklar odanın duyarlı hacminde meydana gelen iyon geçişleri ve odanın elektriksel tasarımına bağlıdır. Yük kayıpları iyonların yeniden birleşmelerinden, fazla yükler ise yük çoğalmasından kaynaklanır. Hem yeniden birleşme hem de yük çoğalması iyon odasına uygulanan potansiyelden etkilenir.

Odanın cevabının (yük veya akım) sabit doz oranında uygulanan voltaja karşı çizilen grafiği doyum eğrisi adını alır. Eğri başlangıçta düşük voltajda lineer bir şekilde artarken sonra yüksek voltajda doyuma ulaşır.

İyonların yeniden birleşmesinden dolayı meydana gelen kayıpları incelerken iyonize radyasyon;

a) Sürekli radyasyon ( Co-60 veya orta voltaj X ışınları ) ve

b) Atımlı demetler ( Lineer hızlandırıcı X ışınları ve elektronlar )

olmak üzere ikiye ayrılır. TRS-398' e göre sürekli radyasyonlar için yeniden birleşme faktörü,

$$k_S = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} \quad (3)$$

ile hesaplanırken, atımlı radyasyonlar için ise,

$$k_S = a_0 + a_1 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (4)$$

ile hesaplanır. Ancak TRS-277 bütün enerjiler için, denklem (4)'ü tavsiye eder. Burada a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> uygulanan voltajların oranına göre bulunan sabitlerdir. M<sub>1</sub> ve M<sub>2</sub> ise V<sub>1</sub> ve V<sub>2</sub> voltajları uygulandığında okunan değerlerdir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Sudaki Soğurulan Doz Tabanlı Protokoller

Bütün dozimetre protokolleri sudaki

soğurulan dozun belirlenmesini amaçlar. Bu yüzden direkt bu parametre cinsinden kalibre edilmiş iyon odası kullanmak daha büyük bir doğruluk sağlar. Çünkü soğurulan doz hesabındaki belirsizlikler azalmaktadır.

Suda referans derinlikte  $Z_{REF}$ , referans demet kalitesi (Q) için sudaki soğurulan doz  $D_{W,Q_0}$  iyon odası yokken,

$$D_{W,Q} = M_{Q_0} N_{D,W,Q_0} \quad (5)$$

ile hesaplanır. Burada  $M_{Q_0}$ ; Standart laboratuarda referans koşullar altında düzeltilmiş okuma değeri ve  $N_{D,W,Q_0}$ ; Standart laboratuarda sudaki soğurulan doz cinsinden bulunmuş kalibrasyon katsayısı olarak bilinir. Eğer oda kalibrasyonda kullanılan demet kalitesinden (Q), farklı bir demet kalitesinde (Q) kullanılırsa sudaki soğurulan doz,

$$D_{W,Q} = M_{Q_0} N_{D,W,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (6)$$

ile verilir. Burada  $k_{Q,Q_0}$ ; Referans demet kalitesi  $Q_0$  ile kullanıcı kalitesi Q arasındaki farkı düzeltme faktör olarak kullanılır. Demet kalite düzeltme faktörü  $k_{Q,Q_0}$  sudaki soğurulan doz cinsinden TRS-398 no'lu rapordan bulunabilir.

## 2.2. Sudaki Soğurulan Doz Tabanlı $N_{D,W,C_0}$ Kalibrasyon Katsayısına Sahip Megavoltaj Elektron Demetlerinin Kalibrasyonu

Verim kalibrasyonu, standart laboratuarda referans demet kalitesinde ( $Q_0$ ) genellikle Co-60 ile ışınlanan ve  $N_{D,W,C_0}$  kalibrasyon katsayısına sahip oda ile yapılır. Paralel plaka iyon odaları bütün elektron enerjileri için tavsiye edilmekte ve 10 MeV altı enerjilerde kullanılması zorunlu kılınmaktadır. 10 MeV ve üstündeki enerjilerde silindirik iyon odası için izin verilmektedir. Paralel plaka odalarda referans noktası, merkezde giriş penceresinin iç

yüzeyi olarak alınmaktadır. Su referans ortam olarak önerilmektedir. Elektron demetleri için demet kalite indeksi  $R_{50}$ 'dir ve Yüzde Derin Doz eğrisinden bulunur.  $R_{50}$ 'yi ölçerken alan boyutu  $R_{50} \leq 7 \text{ g/cm}^2$  için en az  $10 \times 10 \text{ cm}$ ,  $R_{50} > 7 \text{ g/cm}^2$  için ise en az  $20 \times 20 \text{ cm}$  olarak alınacaktır. Detektör iyi korunmuş paralel plaka iyon odası ve ortam ise su olmalıdır. Verim kalibrasyonu su fantomunda referans derinlikte  $10 \times 10 \text{ cm}$  alan boyutu ile yapılır. Referans derinlik,

$$Z_{REF} = 0.6 R_{50} - 0.1 \quad (7)$$

ile verilir [4]. Bu derinlik,  $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$  için  $Z_{MAKS}$  derinliğine yakın daha yüksek enerjilerde ise  $Z_{MAKS}$  derinliğinden daha derindedir. Q demet kalitesindeki elektron için referans derinlikte sudaki soğurulan doz iyon odası yokken,

$$D_{(W,Q)} = M_Q N_{D,W,Q} k_{(Q,C_0)} \quad (8)$$

ile bulunur.  $k_{Q,C_0}$ 'nin  $R_{50}$ 'ye karşı hesaplanmış değerleri pek çok paralel plaka ve silindirik iyon odası için dozimetre protokollerinde verilmektedir (TRS-398).

## 2.3. Çapraz Kalibrasyon

6 MV foton enerjisi için SSD=100cm de  $10 \times 10 \text{ cm}$  alanda  $d_{REF} = 5 \text{ cm}$  'de ölçüm yapılmış, referans iyon odası olarak da FC65-P iyon odası kullanılmıştır. Referans iyon odasının soğurulan dozu,

$$D_{W,QREF} = M_{QREF} N_{D,WREF} k_{QREF} \quad (9)$$

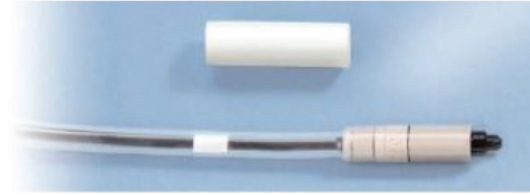
ile hesaplanmıştır. Referans iyon odasının etki parametreleri düzeltilmiş okuma değeri,

$$M_{QREF} = M_Q C_{TP} k_{POL} k_S h_M \quad (10)$$

ile hesaplanmıştır. Burada  $h_M$ , ölçüm ortamı olarak sudan farklı bir ortam kullanıldığında bu ortamın iyon odasının cevabına yaptığı etkiyi düzeltme faktördür. Çalışmamızda bu etki Su\RW3 faktörü kullanılarak düzeltilmiş olup burada Su\RW3 faktörü, Enerjiye bağlı olarak değişen katı su fantomu ile su fantomu değerlerini oranlayan faktördür.



Şekil 1. PPC05 paralel plaka iyon odası



Şekil 2. CC04 silindirik iyon odası

Elektron ölçümlerinde kullanılacak olan PPC05 (Şekil 1) ve CC04 (Şekil 2) iyon odalarının FC65-P referans iyon odası ile çapraz kalibrasyonları yapılarak,  $N_{DW}^{ALAN}$  değerleri bulunmuş ve teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Referans silindirik iyon odası, FC65-P 0.6cc farmer tipi iyon odası, linak cihazında SSD =100cm,  $d_{REF}=5$  cm' de ve 10x10 cm alan boyutlarında 100 cGy doz alacak şekilde ışınlanmıştır.

$$M_{REF} = M_U C_{TP} k_{POL} k_S h_M \quad (11)$$

ile okuma değeri etki parametreleri ile düzeltilmiştir. İkinci adım olarak kalibrasyon faktörünü bulmak istediğimiz iyon odası aynı koşullar altında ışınlanmıştır.

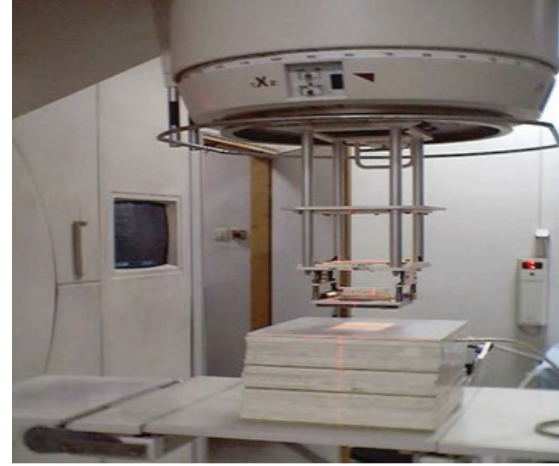
$$M_{ALAN} = M_U C_{TP} k_{POL} k_S h_M \quad (12)$$

Bu iyon odasının okuması da etki parametreleri denklem (12) ile düzeltilmiştir.

$$N_{DW}^{ALAN} = \frac{M_{REF}}{M_{ALAN}} N_{ALAN}^{REF} \quad (13)$$

Burada,  $N_{DW}^{REF}$  referans silindirik iyon odasının kalibrasyon katsayısını,  $N_{DW}^{ALAN}$  ise bulmak istediğimiz paralel plaka ve silindirik iyon odası kalibrasyon katsayısını ifade

etmektedir. Lineer hızlandırıcı cihazında 6, 9, 10, 12, 15 ve 18 MeV enerjilerinde doz verim ölçümleri, SSD=100 cm'de ve 10x10 cm standart kon ile 200 MU verilerek yapılmıştır. Arka arkaya yapılan 3 ölçümün ortalaması değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 3'te elektron doz verim ölçüm düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3. Elektron doz verim ölçüm düzeneği

TRS 381 no'lu protokolün tavsiye ettiği derinlik olan;  $d_{REF}=0.6$ ,  $R_{50} -0.1$ 'de ölçümler yapılmıştır. Yeniden birleşme faktörünün ( $k_S$ ) bulunması için ölçüm hem yüksek hem de düşük voltajda yapılmıştır. Okuma olarak 3 ölçümün ortalaması alınmıştır.  $V_1$  iyon odasının rutin olarak kullandığı voltaj,  $V_2$  ise rutin olarak kullanılan voltajdan farklıdır. Bu çalışmada  $V_1=300$  V ve  $V_2=100$  V olarak kullanılmıştır.  $M_1$  ve  $M_2$  ise  $V_1$  ve  $V_2$  voltajı uygulandığında elde edilen okuma değerleridir. Burada  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  değerleri standart protokollerden alınmış ve bu değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uygulanan voltajların oranına göre yeniden birleşme faktörünün sabitleri

$V_1 / V_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
2.0	2.337	-3.636	2.299
2.5	1.474	-1.587	1.114
3.0	1.198	-0.8753	0.6773



Ölçülen  $k_s$ ,  $k_{pol}$ ,  $C_{TP}$ ,  $SU/RW3$  faktörlerinin sonucu olan soğrulan dozlar karşılaştırılarak elektron ölçümlerinde paralel plaka ve silindirik iyon odasının etkinliği karşılaştırılmıştır.

### 3. BULGULAR

6MV foton enerjisi ile elde edilen yeniden birleşme ve polarite faktörleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** 6MV için polarite ve yeniden birleşme değerleri

İyon Odasının Tipi	$k_s$	$k_{POL}$
FC65-P	1,0051	1.0063
PPC05	1,0065	0,9984
CC04	0,9973	1,0005

Ölçümlerin yapıldığı linak odasında sıcaklık  $20,1\text{ }^\circ\text{C}$  ve basınç  $992,1\text{ kPa}$  olduğundan dolayı  $C_{ip}$  faktörü  $1.021$  olarak hesaplanmıştır. Referans iyon odası olarak kullanılan FC65-P’nin okuma değerinin ölçümü etkileyen parametrelerle çarpılmış durumu, Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3.** Referans odanın etki parametreleri düzeltilmiş okuma değeri

$M_U$	$C_{TP}$	$K_{POL}$	$K_S$	$SU/RW3$	$M_{REF}$
839,1mGy	1,021	1,005	1,006	1,009	874,3

Referans iyon odası ile çapraz kalibre edilen diğer iyon odalarının ölçülen  $N_{DWO}$  değerleri ve İSDL’den alınan değerleri, Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** İSDL den elde edilen kalibrasyon faktörleri ile ölçülen kalibrasyon faktörlerinin karşılaştırılması

İyon Odası	$N_{DWO}$ (Ölçülen)	$N_{DWO}$ (İSDL)	Ölçülen/İSDL
PPC05	0,987	0,989	% 0,2
CC04	0,988	0,991	% 0,3

Beş farklı elektron enerjisi için tavsiye edilen ölçüm derinlikleri ( $Z_{ref}$ ) Tablo 5’te verilmiş ve maksimum doz noktasından olan fark belirtilmiştir.

**Tablo 5.** Elektron enerjilerinin  $d_{MAKS}$  ve  $Z_{ref}$  derinlikleri

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
$d_{MAKS}$	1.2 cm	1.6 cm	2,2 cm	2.5 cm	2.9 cm
$Z_{ref}$	1.4cm	2,1cm	2,8cm	3,5cm	4,3cm
Fark (cm)	0.2cm	0.5cm	0.6cm	1.0cm	1.4cm

Beş farklı elektron enerjisi için  $k_Q$  değerleri, Tablo 6’da PPC05 ve CC04 iyon odaları için verilmiştir.

**Tablo 6.** Beş farklı elektron enerjisi için  $k_Q$  değerleri

İyon Odası	6MeV	9MeV	12MeV	15MeV	18MeV
PPC05	1,039	1,026	1,017	1,007	1,001
CC04	1,027	1,020	1,014	1,007	1,001

Beş farklı elektron enerjisi için polarite değerleri, Tablo 7’de PPC05 ve CC04 iyon odaları için verilmiştir.

**Tablo 7.** Elektron enerjileri için polarite değerleri

Enerji (MeV)	PPC05		CC04	
	$k_s$	$k_{pol}$	$k_s$	$k_{pol}$
6	1,006	0,996	0,995	0,999
9	1,003	0,999	0,993	1,002
12	1,002	0,998	0,999	1,001
15	1,002	0,999	0,996	0,998
18	1,005	0,997	0,998	1,002

Tüm etki parametreleri hesaba katılarak, denklem (6)'dan elde edilen sudaki soğrulan doz ( $D_w$ ) değerleri ve uygulanan doz değerinden olan sapmalar Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** 200 cGy' lik radyasyon dozuna karşılık elde edilen okuma birimleri ve soğrulan doz değerleri

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
*Mu (PPC05)	185,8	188,0	189,8	193,1	194,6
*Mu (CC04)	184,6	186,3	190,7	194,0	194,9
**Dw (PPC05)	199,2	199,2	199,0	199,7	199,2
**Dw (CC04)	194,4	195,1	199,5	199,4	199,3
%Fark (PPC05)	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
%Fark (CC04)	2,9	2,5	0,3	0,3	0,4

\*Mu: measurement unit, \*\*Dw: absorbed dose to water

#### 4. SONUÇLAR

Yüksek enerjili foton ve elektron ölçümlerinde kullanılan paralel plaka ve silindirik iyon odalarının çapraz kalibrasyon sonucu elde edilen  $N_{D_{WQ}}$  değerleri İSDL' de yapılan kalibrasyonlardan elde edilen  $N_{D_{WQ}}$  değerleri ile uyumludur (%0.3). Kullanılan dozimetrik sistemler kalibre edildiği standart laboratuvar ortamından farklı bir ortamda kullanıldığında tüm etki faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Suda soğrulan doz değerleri incelendiğinde, paralel plaka iyon odasının tüm elektron enerjileri ölçümlerinde verilmek istenen doza (200cGy) çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Silindirik iyon odası ise 12MeV ve üstündeki enerjilerde %0.4' ten küçük hata ile okuma yaparken 6 ve 9 MeV enerjilerinde hata payı artmaktadır (sırasıyla: %2.9 ve %2,5). TRS-381 no' lu raporda belirtilen 10MeV altındaki elektron ölçümlerinde silindirik iyon odasından kaynaklı belirsizlik %3.7 iken çalışmamızda elde ettiğimiz belirsizlik %2.9' lara ulaşmaktadır. 10MeV üzerindeki

enerjilerde paralel plaka ve silindirik iyon odaları sonuçları uyumludur. 10MeV altındaki enerjilerde silindirik iyon odasının duyarlılığı azalmaktadır.

#### KAYNAKÇA

- [1]. International Atomic Energy Agency, "Absorbe dose determination in photonan delectron beams: An international code of practice", Tecnical Reports Series No.277, Vienna, Austria, 1987.
- [2]. International Atomic EnergyAgency, "Theuse of plane paralel ionization chambers in high energy electron and photon beams: "Aninternational code of practice for dosimetry", Tecnical Reports Series No.381 Vienna, Austria, 1997.
- [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 towater" Tecnical Reports Series No.398 Vienna, Austria, 2000.
- [4]. I.H. Ferreira, D. Marre, M. SaifulHuq, A. Bridier, A. Beaudre, "Application of TRS 398 using ionization chambers calibrated by PSDLs in France and The United Kingdom in a series of high energy photon and electron beams" Proceedings of an International Symposium, Vienna, 2002.