



Medikal Fizik Derneği

Turkish Medical Physics Association

TRS 398 – ELEKTRON ENERJİLERİNDE DOZ KALİBRASYONU

Doç. Dr. Alper ÖZSEVEN

Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi

Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı



Radyoterapide Doz Doğruluğu

İstenilen Tedavinin uygulanması



Tanımlanan dozun **DOĞRU** olarak verilmesi



Tedavi cihazının mutlak kalibrasyonuna

BAĞLIDIR

Mutlak doz kalibrasyonu, ama nasıl ?



Mutlak doz kalibrasyonu, ama nasıl ?

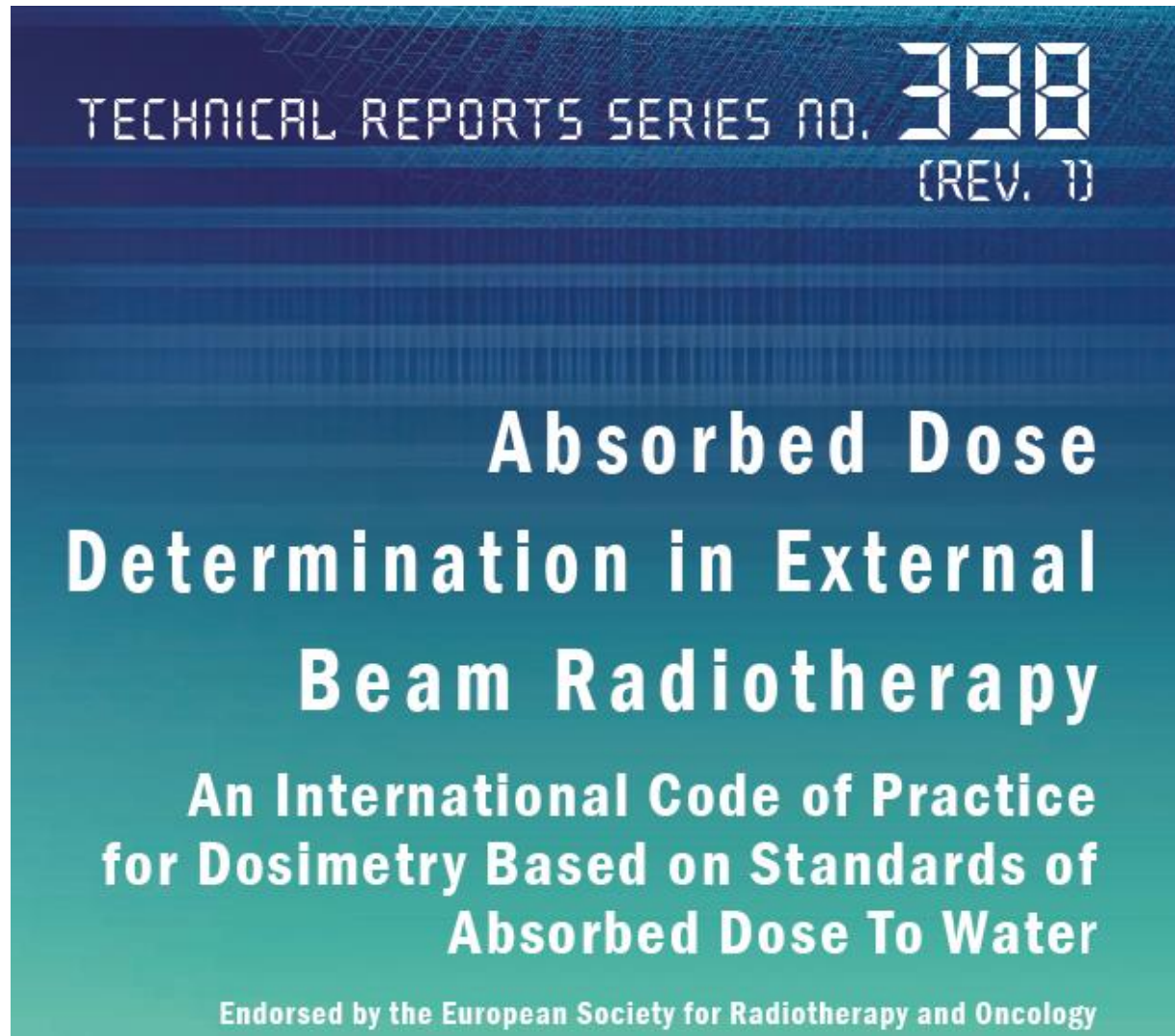


Mutlak Doz Kalibrasyonu

- ▶ Uluslararası kuruluşlar tarafından yayınlanan ve güncel protokollerin uygulanması TRS-398 (Rev1)
- ▶ Uygun ekipmanların seçimi
- ▶ Kalibrasyon öncesi, belirtilen koşullarda ölçüm düzeneğinin kurulması



TRS-398 (Rev1) (Technical Report Series) Şubat 2024



TRS – 398 (Rev1)' in Getirdiği Yenilikler

TABLE 7.I REFERENCE CONDITIONS FOR THE DETERMINATION OF ELECTRON BEAM QUALITY (R_{50})

Influence quantity	Reference value or reference characteristics
Phantom material	for $R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}$, water. For $R_{50} < 4 \text{ g cm}^{-2}$, water or plastic
Chamber type	for $R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}$, plane-parallel or cylindrical. For $R_{50} < 4 \text{ g cm}^{-2}$, plane parallel
Reference point of chamber	for plane-parallel chambers, on the inner surface of the window at its centre. For cylindrical chambers, on the central axis at the centre of the cavity volume
Position of reference point of chamber	for plane-parallel chambers, at the point of interest. For cylindrical chambers, $0.5 r_{cyl}$ deeper than the point of interest
SSD	100 cm
Field size at phantom surface	for $R_{50} \leq 7 \text{ g cm}^{-2}$, at least $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. For $R_{50} > 7 \text{ g cm}^{-2}$, at least $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}^a$

TABLE 18. REFERENCE CONDITIONS FOR THE DETERMINATION OF THE ELECTRON BEAM QUALITY INDEX (R_{50})

Influence quantity	Reference value or reference characteristic
Phantom material	Water
Chamber type	For $R_{50} > 3 \text{ g/cm}^2$, plane parallel or cylindrical For $R_{50} < 3 \text{ g/cm}^2$, plane parallel
Reference point of chamber	For plane parallel chambers, on the inner surface of the window at its centre ^a For cylindrical chambers, on the central axis at the centre of the cavity volume
Position of reference point of chamber	For plane parallel chambers, at the point of interest ^b For cylindrical chambers, $0.5r_{cyl}$ deeper than the point of interest ^c
Source–surface distance	100 cm
Field size at phantom surface	At least $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$

Otomatik güncellemeler



Etkin



Mutlak Doz Kalibrasyonunda Kullanılacak Ekipmanlar

Fantom

Su Fantomu



vs

Plastik Fantom



TRS-398(Rev1) e göre mutlak kalibrasyonda, plastik fantom (katı fantom) kullanımından kaçınılmalıdır. Su fantomu kullanılması gereklidir.

7.8. USE OF PLASTIC PHANTOMS

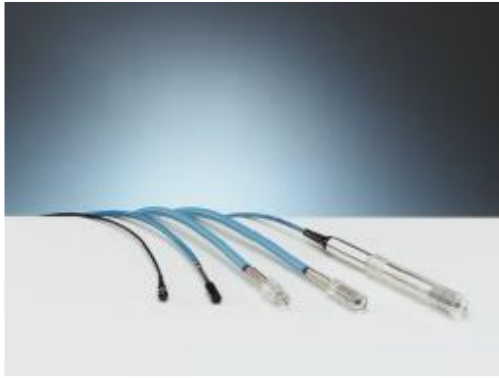
Plastic phantoms may not be used for electron beam reference dosimetry, even at low electron energies. However, their use for quality assurance procedures or relative dosimetry is acceptable, where a solid phantom can provide a simpler experimental set-up without a loss in accuracy. Commercial



Mutlak Doz Kalibrasyonunda Kullanılacak Ekipmanlar

Dedektör ve Elektrometre

Silindirik iyon odası



vs

Paralel düzlem iyon odası



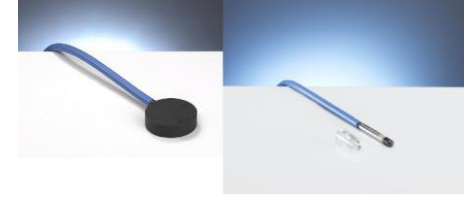
Elektrometre



Mutlak Doz Kalibrasyonunda Kullanılacak Ekipmanlar

Dedektör

$R_{50} \geq 3 \text{ g/cm}^2$ ($E_0 \geq 8 \text{ MeV}$) elektron enerjilerinde paralel düzlem ya da silindirik iyon odalarını



$R_{50} < 3 \text{ g/cm}^2$ ($E_0 < 8 \text{ MeV}$) elektron enerjilerinde ise sadece paralel düzlem iyon odalarının kullanılmasını tavsiye etmektedir.



7.3.2. Measurement of beam quality

The reference conditions for the determination of R_{50} are given in Table 18.

For all beam qualities, the preferred choice of detector for the measurement of R_{50} is a plane parallel chamber. For beam qualities $R_{50} > 3 \text{ g/cm}^2$ ($E_0 > 8 \text{ MeV}$) a cylindrical chamber may be used, with the reference point positioned at the appropriate depth, deeper than the point of interest in the phantom.⁴⁵ A water phantom is the recommended choice. In a vertical beam, the direction of the scan should be towards the surface to reduce water–air interface effects.



Mutlak Doz Kalibrasyonunda Kullanılacak Ekipmanlar

Dedektör



Roos Chamber Type 34001

Waterproof plane parallel chamber for absolute dosimetry in high-energy electron and proton beams

Features

- ▶ Perturbation-free, minimized polarity effect
- ▶ **Waterproof, wide guard ring design**
- ▶ Sensitive volume 0.35 cm^3 , vented to air
- ▶ Radioactive check device (option)

The 34001 Roos chamber is the golden standard for absolute dose measurements in high-energy electron beams. Modern dosimetry protocols refer to the chamber's design and provide dosimetric correction factors. Its waterproof design allows the chamber to be used in water or in solid state phantoms. The Roos chamber is also well suited for the measurement of high-energy photon depth dose curves up to 2.5 mm below the water surface. The chamber can be used for dose measurements of proton beams.

Specification

Type of product	vented plane parallel ionization chamber acc. IEC 60731
Application	absolute dosimetry in high-energy electron and proton beams

Materials and measures:

Entrance window	1 mm PMMA, 1.19 g/cm^3 0.02 mm graphite, 0.82 g/cm^3 0.1 mm varnish, 1.19 g/cm^3
Total window area density	132 mg/cm^2
Water-equivalent window thickness	1.3 mm

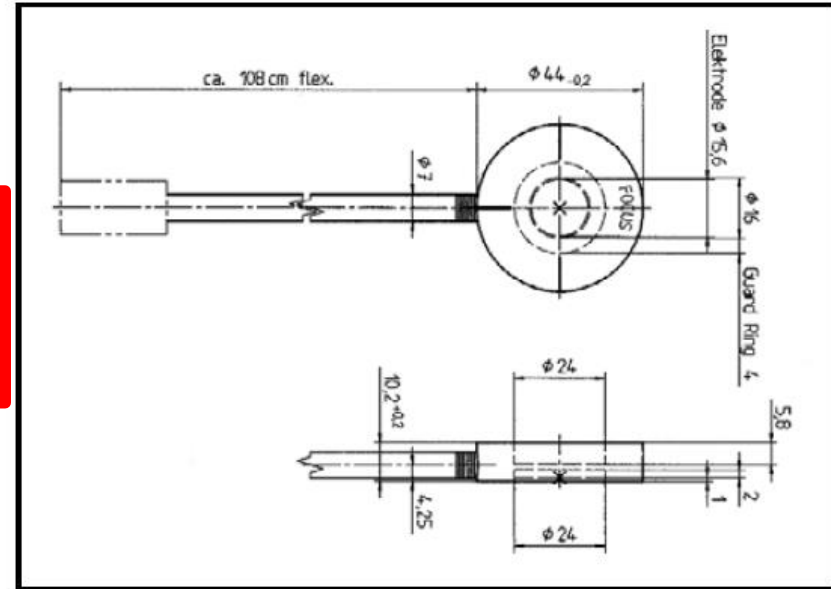
Sensitive volume	radius 7.5 mm depth 2 mm
Guard ring width	4 mm

Ion collection efficiency at nominal voltage:

Ion collection time	125 μs
Max. dose rate for $\geq 99.5 \%$ saturation	5.2 Gy/s
$\geq 99.0 \%$ saturation	10.4 Gy/s
Max. dose per pulse for $\geq 99.5 \%$ saturation	0.46 mGy
$\geq 99.0 \%$ saturation	0.93 mGy

Useful ranges:

Chamber voltage	$\pm (50 \dots 300) \text{ V}$
Radiation quality	(2 ... 45) MeV electrons



Roos Chamber

34001

Mutlak Doz Kalibrasyonunda Kullanılacak Ekipmanlar

Dedektör



0.125 cm³ Semiflex Chamber

Type 31010

Standard therapy chamber for scanning systems and for absolute dosimetry

Features

- Waterproof, semiflexible design for easy mounting in scanning water phantoms
- Minimized directional response
- Sensitive volume 0.125 cm³, vented to air
- Radioactive check device (option)

The 31010 semiflexible chamber is the ideal compromise between small size for reasonable spatial resolution and large sensitive volume for precise dose measurements. This makes the 31010 chamber to one of the most commonly used chambers in scanning water phantom systems. The chamber volume of 0.125 cm³ gives enough signal to use the chamber also for high precision absolute dose measurements. The sensitive volume is approximately spherical resulting in a flat angular response and a uniform spatial resolution along all three axes of a water phantom.

Specification

Type of product vented cylindrical ionization chamber

Materials and measures:

Wall of sensitive volume 0.55 mm PMMA,
1.19 g/cm³
0.15 mm graphite,
0.82 g/cm³

Total wall area density 78 mg/cm²

Dimension of sensitive volume radius 2.75 mm
length 6.5 mm

Central electrode Al 99.98, diameter 1.1 mm

Build-up cap PMMA, thickness 3 mm

Ion collection efficiency at nominal voltage:

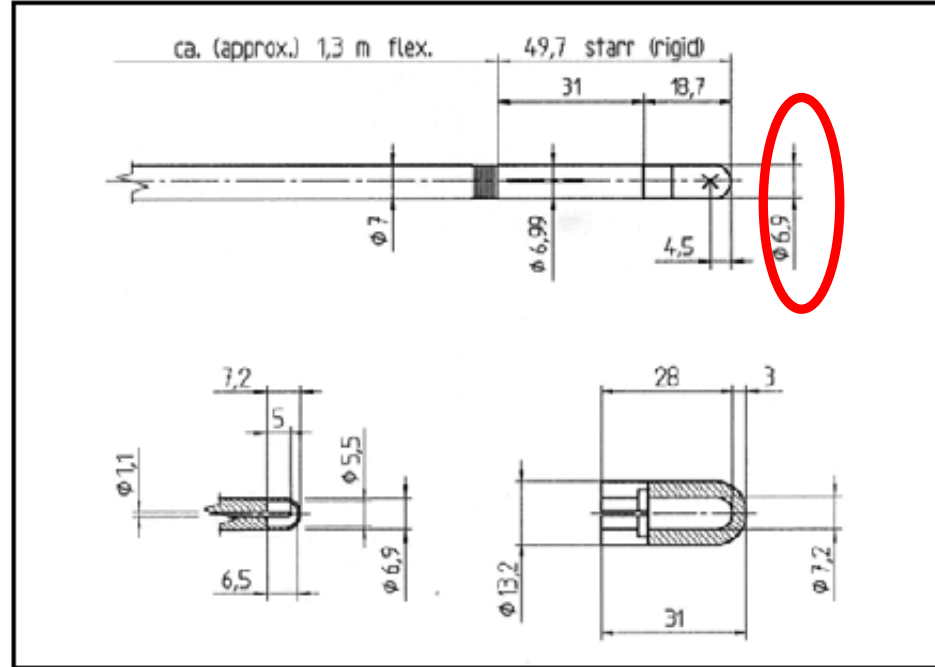
Ion collection time 100 µs

Max. dose rate for
≥ 99.5 % saturation 6 Gy/s
≥ 99.0 % saturation 12 Gy/s

Max. dose per pulse for
≥ 99.5 % saturation 0.5 mGy
≥ 99.0 % saturation 1.0 mGy

Useful ranges:

Chamber voltage ± (100 ... 400) V



0.125 cm³ Semiflex Chamber

31010

Işın Kalitesinin (R_{50}) Ölçülmesi

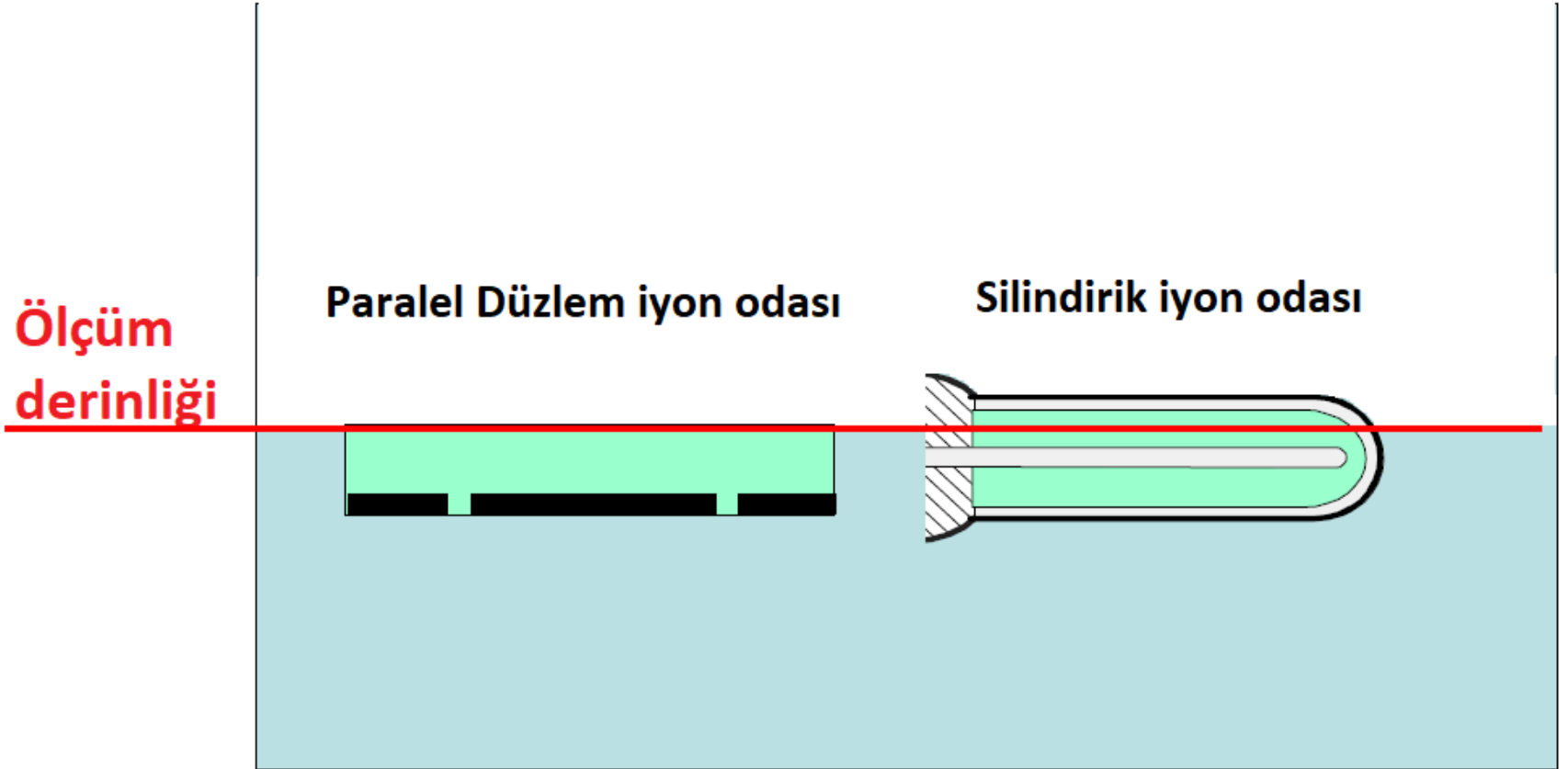
Fantom Materyali	▪Su
İyon Odasının Tipi	▪$R_{50} > 3 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem ya da silindir ▪$R_{50} < 3 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem
İyon Odasını Referans Noktası	▪Paralel düzlem için pencerenin iç yüzeyi ve merkezde ▪Silindirik için merkez eksen ve kavitenin merkezi
İyon Odasının Referans Noktasının Yeri	▪Paralel düzlem için ilgilenilen noktada ▪Silindirik için ilgilenilen noktadan $0.5 r_{cyl}$ daha derinde
SSD	100 cm
Fantom Yüzeyinde Alan Boyutu	En az 10x10

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

Ölçümlere başlamadan önce...

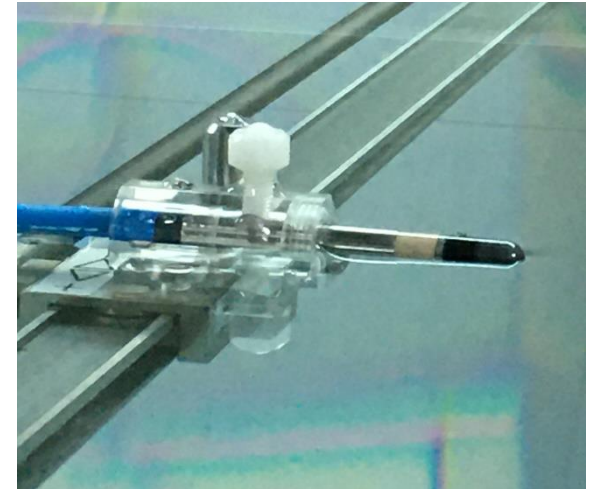
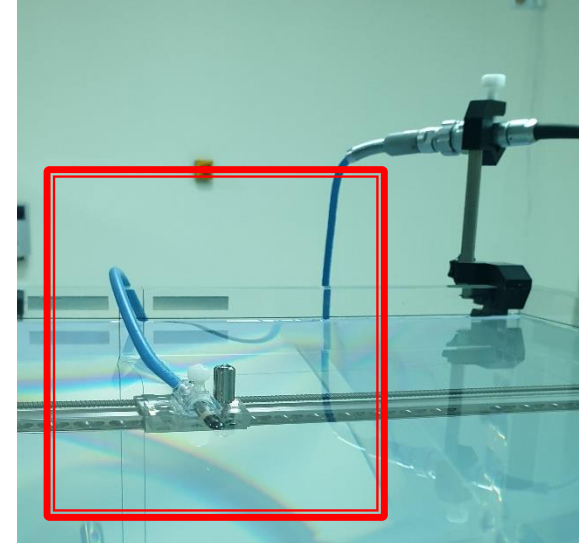
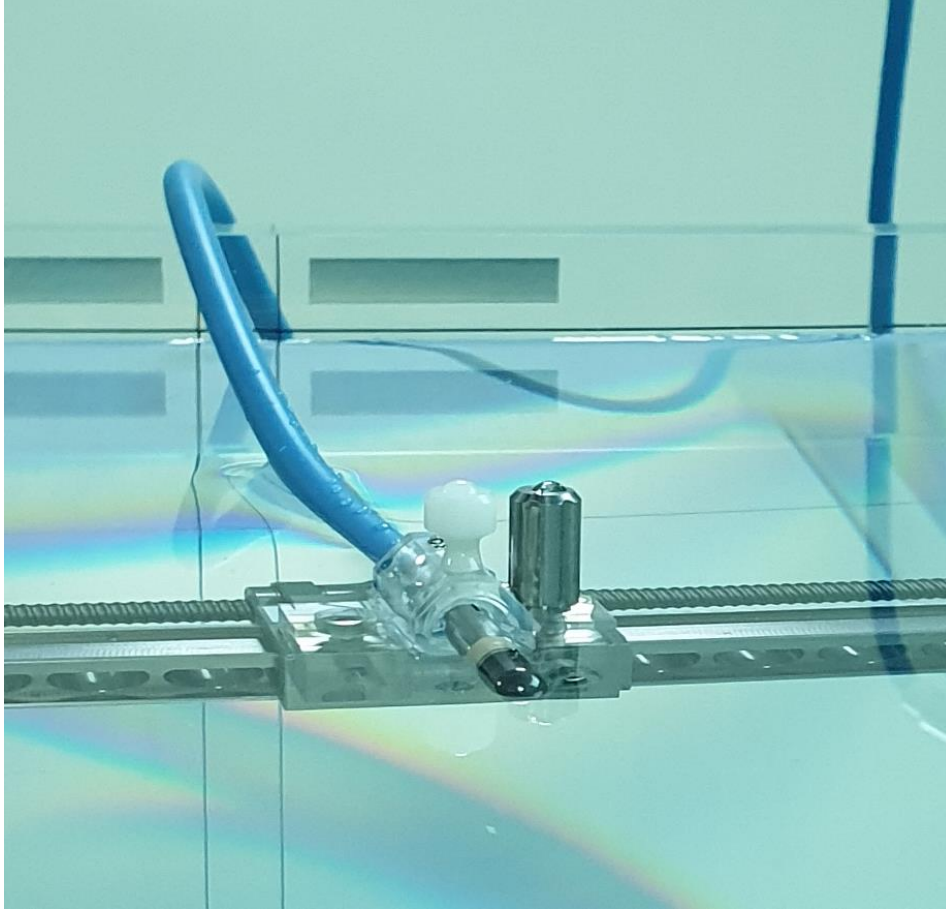
- ▶ Çalışılacak ekipmanların (su fantomu ve dozimetrik ekipmanlar) ölçüm yapılacak cihaz odasına 2 gün öncesinde alınması
- ▶ Oda sıcaklığının mümkün olduğunca sabit değerde tutulması
- ▶ Su fantomu kurulduktan sonra iyon odasının su içinde birkaç saat bekletilmesi
- ▶ Yük dengesi sağlanabilmesi açısından iyon odasının 2 Gy ile 5 Gy arasında bir dozda ön ışınlanmaya tutulması

İyon Odasının Referans Noktasının Yeri



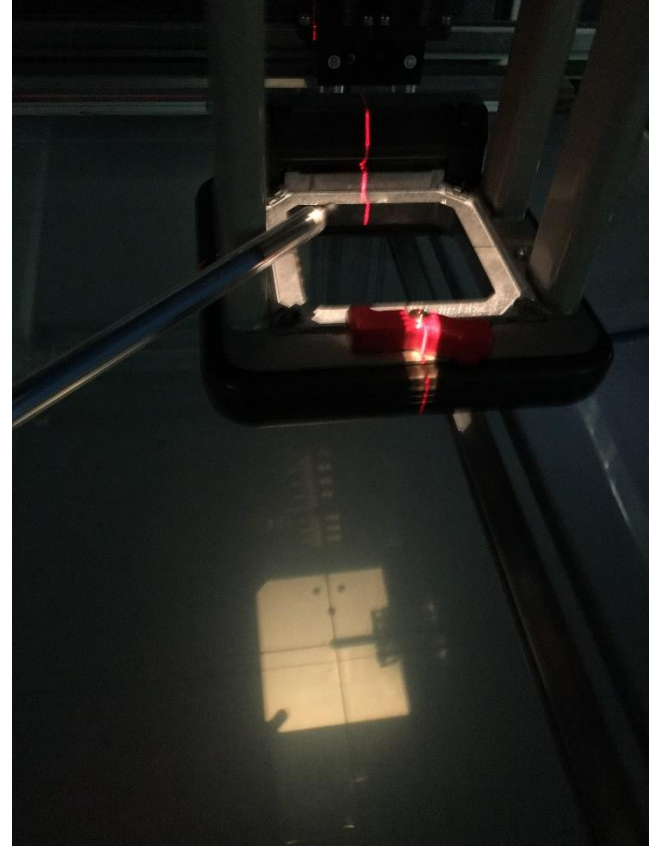
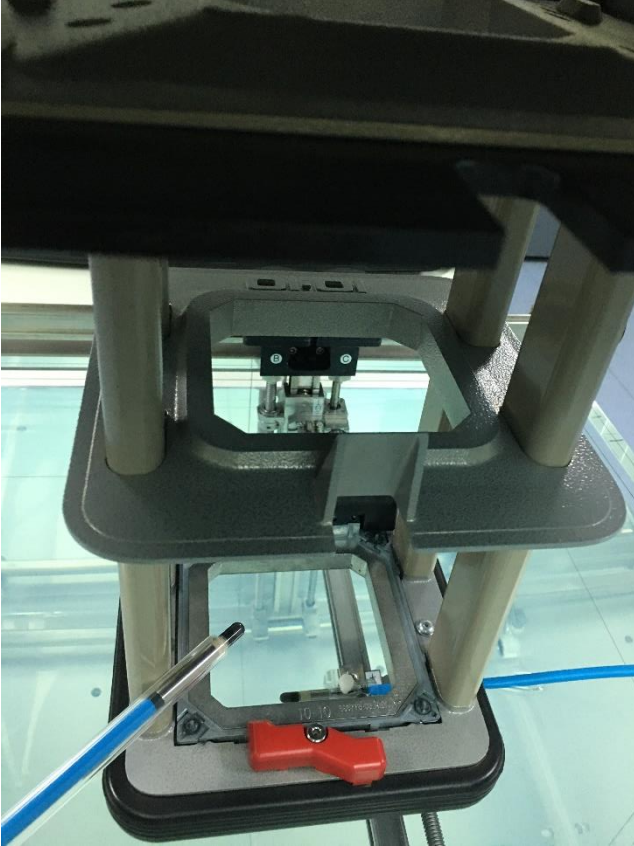
İyon Odasının Referans Noktasının Yeri

Silindirik İyon Odası



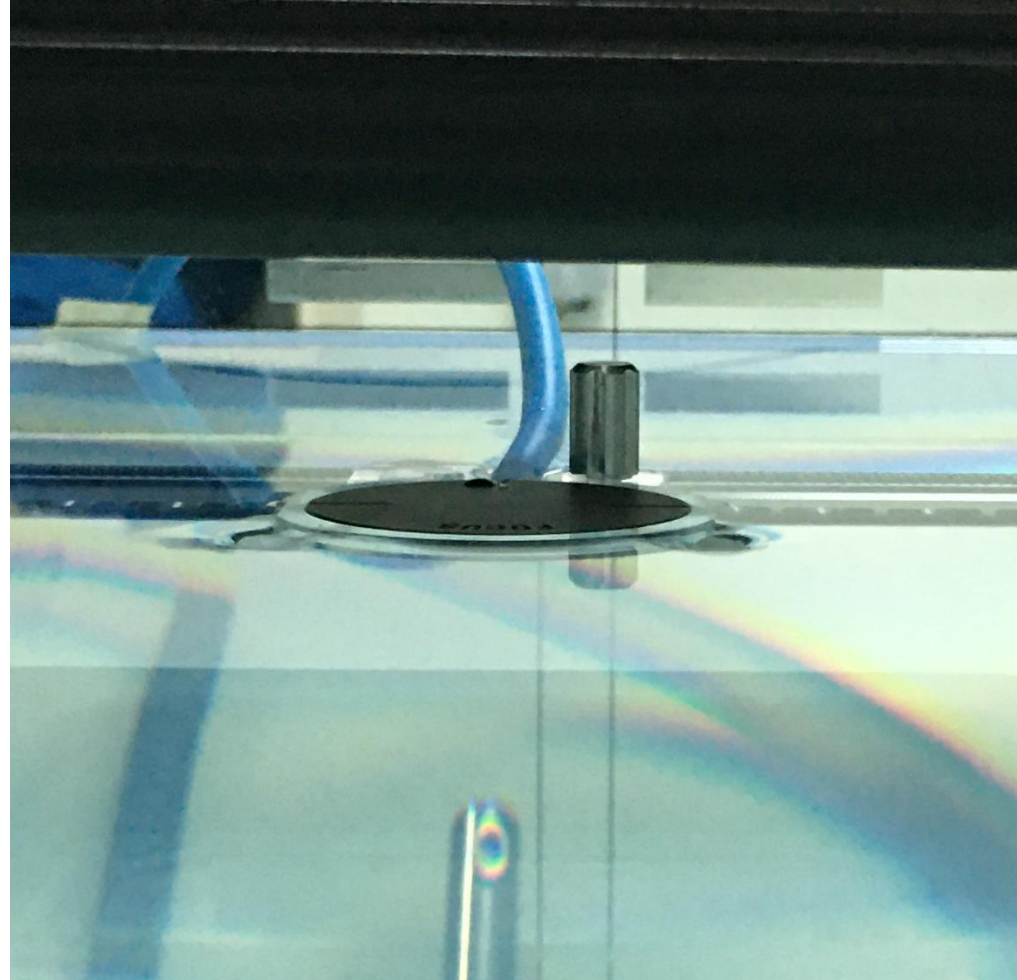
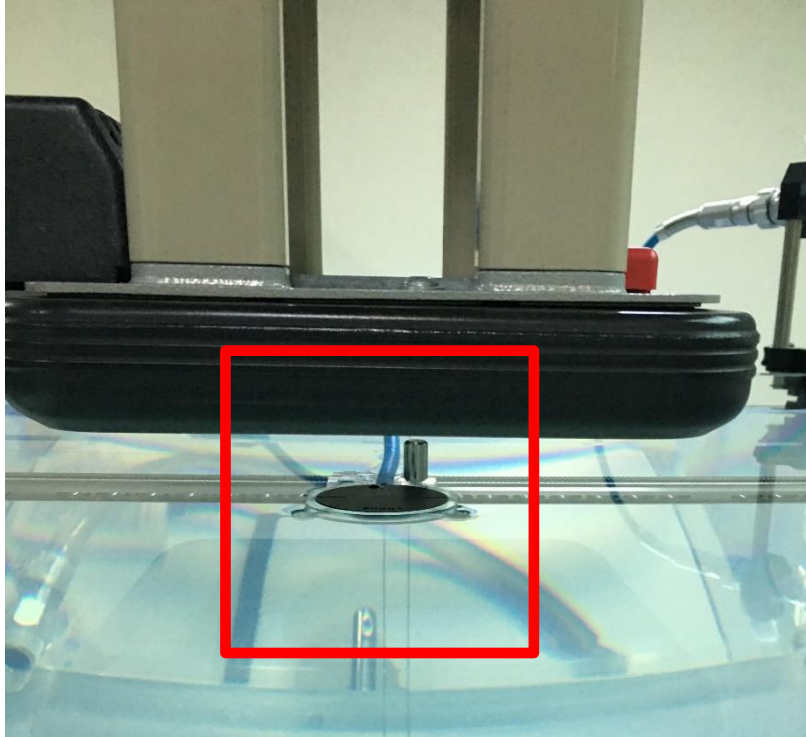
İyon Odasının Referans Noktasının Yeri

Silindirik İyon Odası

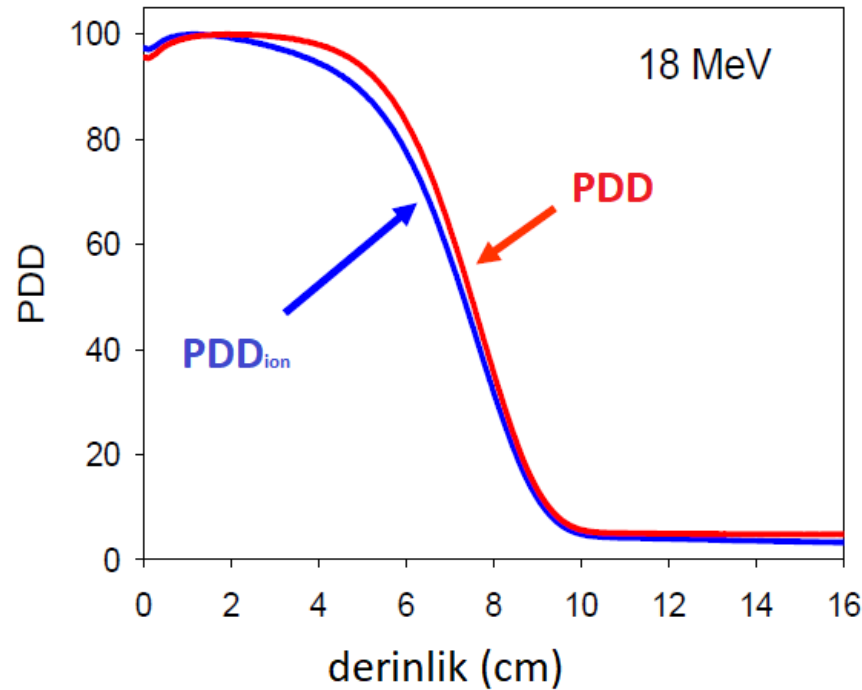


İyon Odasının Referans Noktasının Yeri

Paralel Düzlem İyon Odası



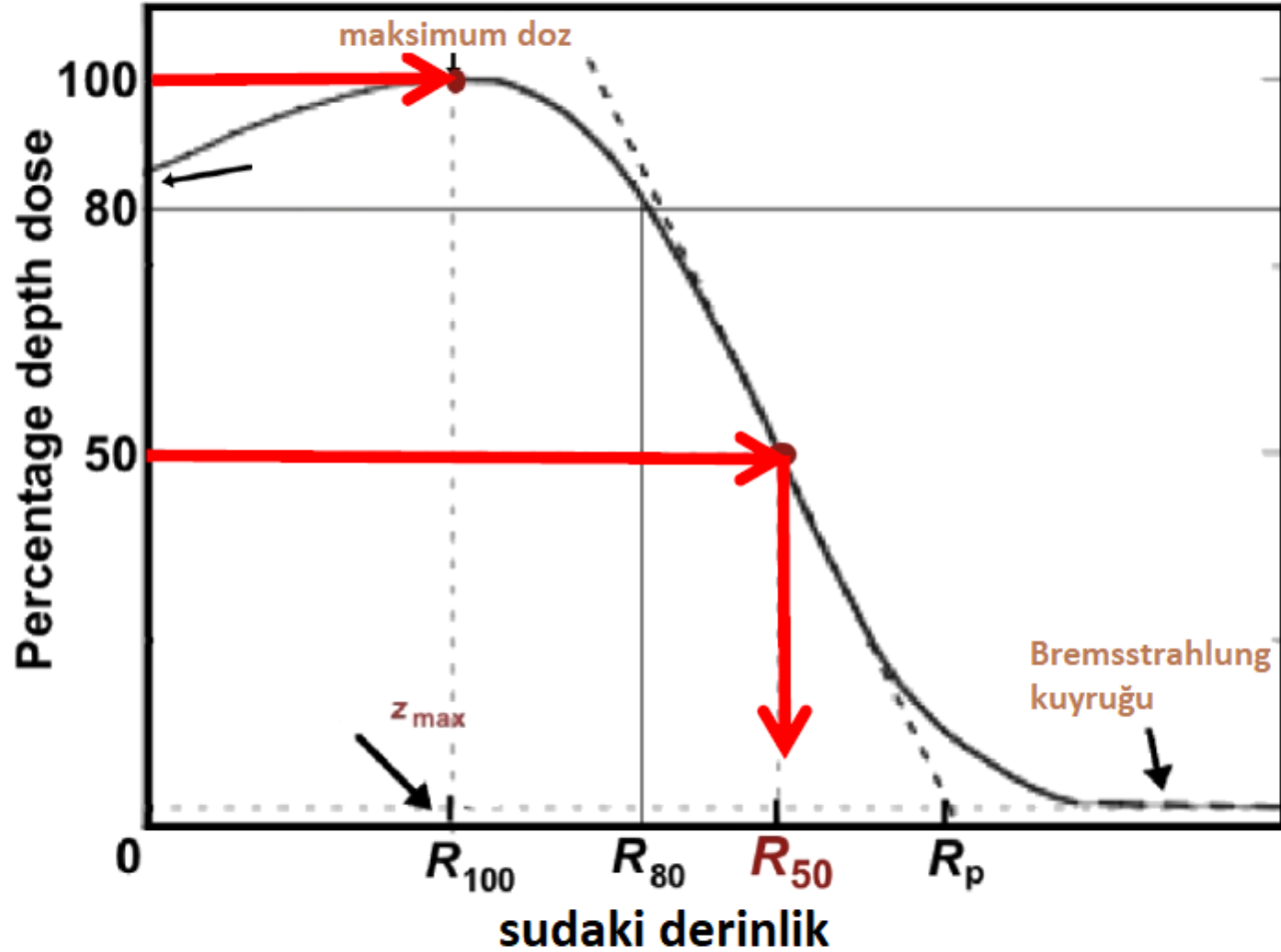
PDD_{ion} - PDD dönüşümü



half-value of the depth dose distribution in water R_{50} is obtained using the following relations⁴⁷ [168]:

$$R_{50} = \begin{cases} 1.029R_{50,\text{ion}} - 0.06 \text{ g/cm}^2 & \text{for } R_{50,\text{ion}} \leq 10 \text{ g/cm}^2 \\ 1.059R_{50,\text{ion}} - 0.37 \text{ g/cm}^2 & \text{for } R_{50,\text{ion}} > 10 \text{ g/cm}^2 \end{cases} \quad (37)$$

Parametrelerin Belirlenmesi



Soğurulan Dozun Ölçülmesi

Fantom Materyali	▪Su
İyon Odasının Tipi	▪$R_{50} \geq 3 \text{ g/cm}^2$ için, paralel düzlem ya da silindir ▪$R_{50} < 3 \text{ g/cm}^2$ 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 r_{cyl} 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

Ölçüm Derinliği

$$Z_{\text{ref}} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2$$



(R_{50} nin birimi cm)

Z_{ref} enerjiye bağlı bir parametredir ve her enerji için R_{50} kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Suda Soğurulan Dozun Hesaplanması

$$D_{w,Q} = M_Q \times k_{Q,Q_0} \times N_{D,w,Q_0}$$

M_Q : Basınç-sıcaklık ve yeniden birleşme faktörleri, elektrometre kalibrasyon faktörü ve polarite etkisi ile düzeltilmiş okuma değeri

$$M_Q : M \times k_{TP} \times k_s \times k_{elec} \times k_{pol}$$

k_{Q,Q_0} : Demet kalitesi R_{50} ' ye ve kullanılan iyon odasının tipine bağlı olarak protokolde verilen değer (TRS 398 den bulunabilir)

N_{D,w,Q_0} : İkincil standart laboratuvarın belirlemiş olduğu kalibrasyon katsayısı



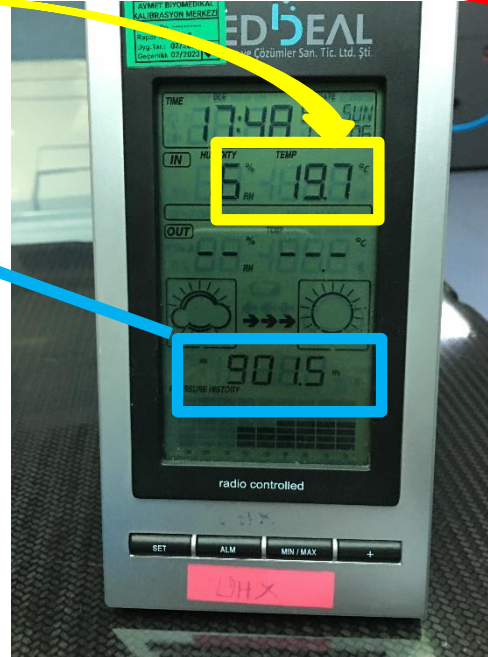
Düzeltilme Faktörleri

Basınç, Sıcaklık (k_{TP})

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

T_0 : referans sıcaklık değeri
(Genellikle 20 °C)

P_0 : referans basınç değeri
(Genellikle 1013 hPa)



4.4.3.1. Pressure, temperature and humidity

reference values (generally 101.3 kPa and 20°C).¹⁹ The temperature of the air in a chamber cavity should be taken to be that of the phantom, which should be measured; this is not necessarily the same as the temperature of the surrounding air.²⁰ For measurements in a water phantom, the chamber waterproof sleeve (if

Düzeltilme Faktörleri

Polarite Düzeltme Faktörü (k_{pol})

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

Işınlama koşullarını değiştirmeden, polarize voltajın polaritesini tersine çevirdiğimizde farklı bir yük okuması yapılır.

Düzeltilme Faktörleri

Yeniden Birleşme Faktörü (k_s)

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

Işınlama koşullarını değiştirmeden, nominal kullanılan voltaj değerinde (V_1) ve bu değer en az 1/3 ün deki voltaj değerinde (V_2) alınan ölçümler sonucunda elde edilen okumalar (sırasıyla, M_1 ve M_2) kullanılarak hesaplanır.

V_1/V_2	Pulsed		
	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	-0.875	0.677
3.5	1.080	-0.542	0.463
4.0	1.022	-0.363	0.341
5.0	0.975	-0.188	0.214

Işın Kalitesi Düzeltme Faktörü

(k_{Q,Q_0})

TABLE 20. CALCULATED k_Q VALUES^a FOR ELECTRON BEAMS, FOR VARIOUS CHAMBER TYPES CALIBRATED IN ^{60}Co GAMMA RADIATION, AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY INDEX R_{50}

Ionization chamber type ^b	Beam quality index, R_{50} (g/cm ²)													
	1.0 ^c	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0
PTW 34001 Roos	0.9743	0.9645	0.9518	0.9428	0.9349	0.9281	0.9222	0.9171	0.9127	0.9088	0.9055	0.9001	0.8960	0.8907
IBA NACP-02	0.9679	0.9580	0.9451	0.9360	0.9281	0.9214	0.9155	0.9104	0.9061	0.9023	0.8990	0.8938	0.8899	0.8848
NE 2571					0.9297	0.9248	0.9210	0.9181	0.9157	0.9137	0.9121	0.9095	0.9075	0.9047
IBA FC65-G					0.9328	0.9279	0.9241	0.9210	0.9184	0.9163	0.9144	0.9114	0.9090	0.9055
Exradin A12					0.9353	0.9304	0.9264	0.9232	0.9205	0.9182	0.9163	0.9130	0.9104	0.9066
Exradin A19					0.9320	0.9273	0.9236	0.9205	0.9178	0.9156	0.9136	0.9103	0.9077	0.9036
PTW 30013					0.9300	0.9247	0.9210	0.9180	0.9155	0.9135	0.9118	0.9090	0.9068	0.9037
PTW 30012					0.9384	0.9331	0.9290	0.9257	0.9230	0.9207	0.9187	0.9156	0.9131	0.9094



Suda Absorblanan Doz Kalibrasyon Katsayısı ($N_{D,W,Q0}$)

TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE MADEN ARAŞTIRMA KURUMU
NÜKLEER ENERJİ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
İSTANBUL YERLEŞKESİ
Yarımburgaz Mah., Nükleer Araştırma Merkezi Yolu, No: 10, 34303, Küçükçekmece/İSTANBUL
Tel: +90 (212) 4732600 Faks: +90 (212) 4732634 www.taek.gov.tr, cnaem@taek.gov.tr
SEKONDER STANDART DOZİMETRİ LABORATUVARI

Kalibrasyon Sertifikası
Calibration Certificate

Sayfa 3/3
Page 3 of 3

Ölçüm
Measure

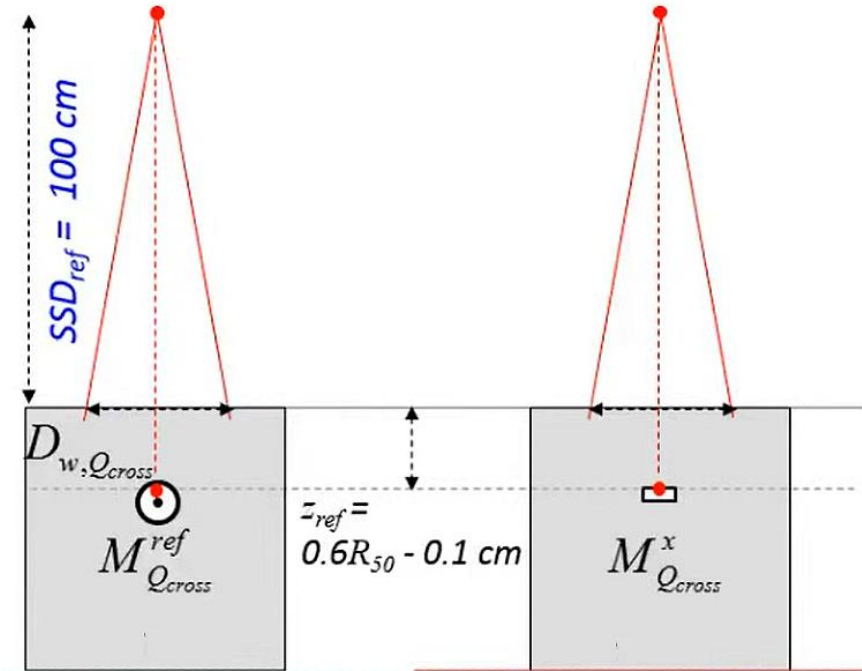
N_{DW}
mGy/nC

84,811

TÜRKAK
Kalibrasyon
TS EN ISO IEC 17025
AB-0073-K
AB-0073-K
1969/245
29-09-2020

Çapraz Kalibrasyon (Cross Calibration)

- ▶ Rutin olarak kullandığımız paralel düzlem iyon odaları, Co - 60 da kalibre edilmiş referans olarak kabul edebileceğimiz bir iyon odasına karşı kalibre edilebilir.
 - Sahip olduğumuz en yüksek elektron enerjisinde gerçekleştirilir
 - Önce referans iyon odası ile ölçüm
 - Sonra aynı referans derinlikte aynı yere paralel düzlem iyon odası yerleştirilerek ölçüm



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

Çapraz Kalibrasyon

- ▶ Çapraz kalibre edilen iyon odasının herhangi bir elektron enerjisi için mutlak doz kalibrasyonunda kullanılması

$$D_{W,Q} = M_Q^X \cdot N_{D,W,Q}^X \cdot k_{Q,Q_{cross}}^X$$

$$k_{Q,Q_{cross}}^X = \frac{k_{Q,Q_{int}}^X}{k_{Q_{cross},Q_{int}}^X}$$

$k_{Q,Q_{cross}}^X$

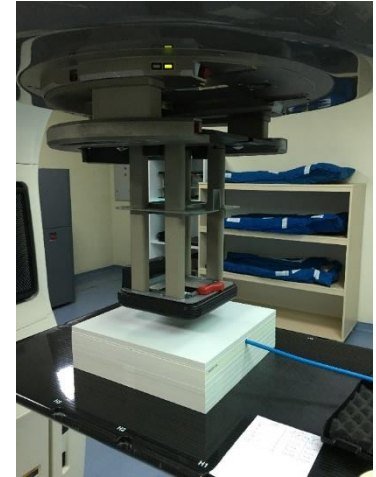
için gerekli değerler TRS-398 (Rev1) raporunda Tablo 21 de bulunmaktadır.

Plastik Fantomla Nasıl Ölçüm Yapabiliriz

4.2.3. *Phantoms*

Water is the reference medium for measurements of absorbed dose for medium energy X rays and photon, electron, proton and heavier ion beams.

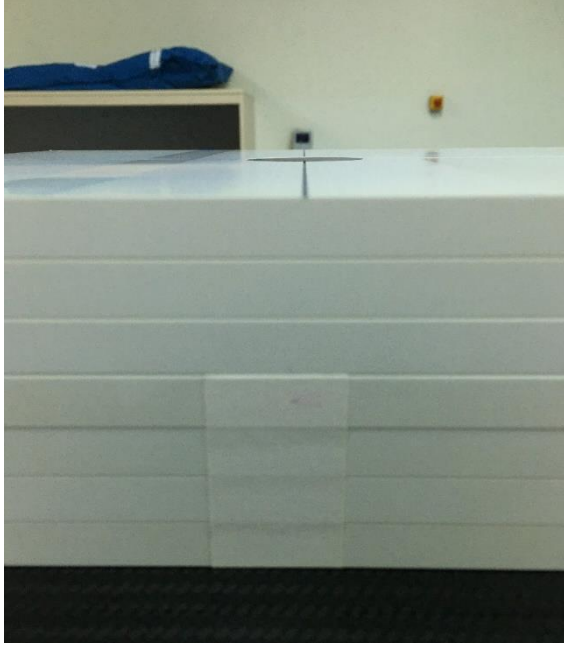
Solid phantoms in slab form, such as polystyrene, PMMA, and certain water equivalent plastics such as Solid Water, Plastic Water and Virtual Water (see Refs [103, 104]) may **not** be used for reference dosimetry, except in the case of low energy X rays, where a PMMA phantom is permitted. However, Ref. [12] mentions the possibility of using solid phantoms for some treatment machines where the use of water phantoms is impractical. In these situations, only a water equivalent solid phantom material may be used for reference dosimetry and for the measurement of beam quality indices.



Plastic (slab) phantoms can be used for routine quality assurance measurements, provided that they have been suitably commissioned. This

Rutin kalite kontrol testleri için kullanılabilir.

Plastik Fantomla Nasıl Ölçüm Yapabiliriz



Derinlik ölçme faktörü (c_{pl}) ve akı ölçme faktörü (h_{pl}) hesaba katılmalı.

Buna ek olarak, parallel düzlem iyon odasının su eşdeğeri ön pencere kalınlığı dikkate alınmalıdır.

$$Z_w = Z_{pl} c_{pl}$$

c_{pl}

Material dependent scaling factor to convert ranges and depths measured in plastic phantoms into the equivalent values in water. This applies to electron, proton and light ion beams.^a

$$M_Q = M_{Q,pl} h_{pl}$$

h_{pl}

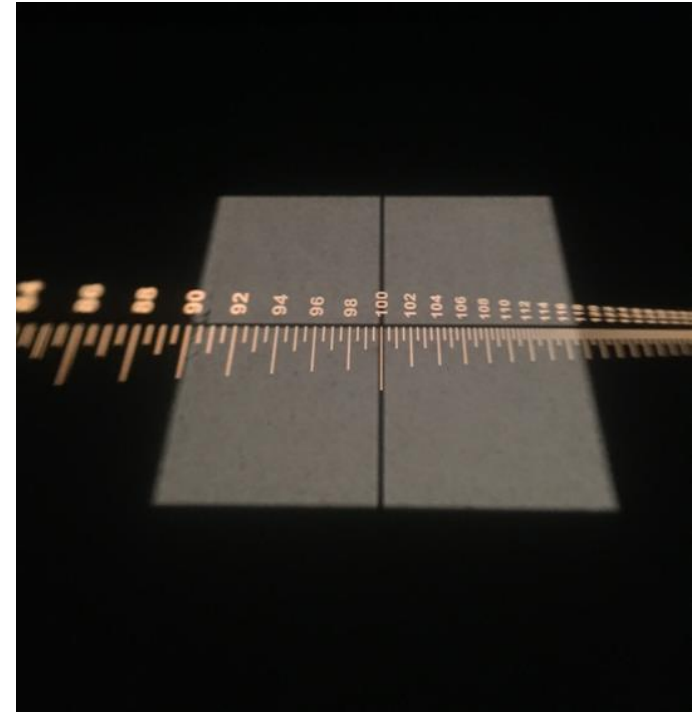
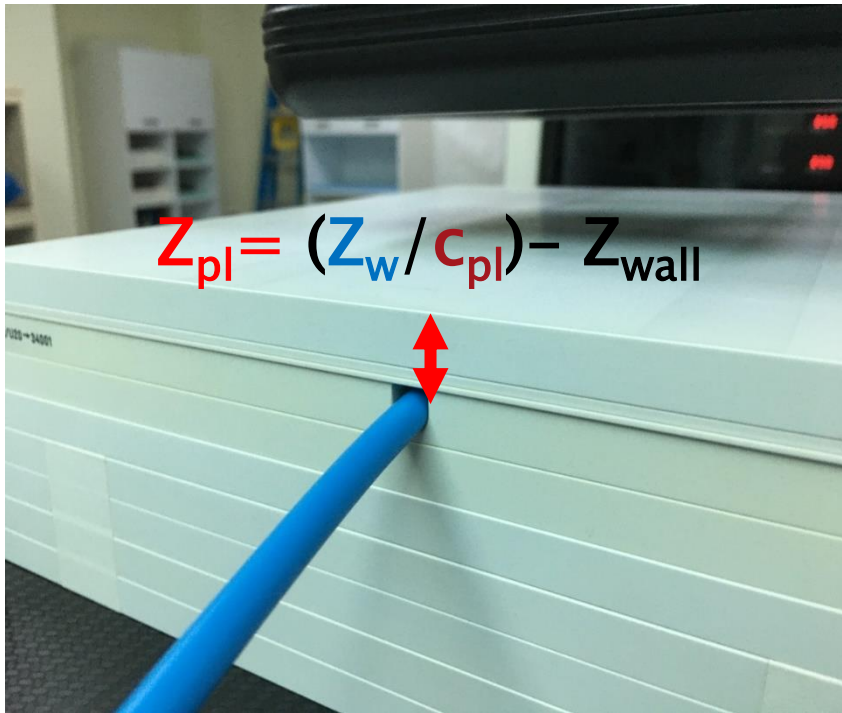
Material dependent charged particle fluence scaling factor to correct for the difference in fluence in plastic compared with that in water at an equivalent depth.

Plastik Fantomla Nasıl Ölçüm Yapabiliriz

TABLE 23. VALUES FOR THE DEPTH SCALING FACTOR, c_{pl} , THE FLUENCE SCALING FACTOR, h_{pl} , AND THE NOMINAL DENSITY, ρ_{pl} , FOR CERTAIN PLASTICS

Plastic phantom	c_{pl} ^a	h_{pl}	ρ_{pl} (g/cm ³)
Solid Water HE (Sun Nuclear) ^b	0.964	1.000	1.03
Wte (Bart's Health NHS Trust) ^c	0.973	0.999	1.04
Plastic Water (CIRS)	0.982	0.998	1.01
Virtual Water (Med-Cal) ^d	0.954	1.003	1.06
PMMA ^e	0.947	1.009	1.19
Clear polystyrene	0.930	1.026	1.06
White polystyrene ^f	0.933	1.019	1.06

Plastik Fantomla Nasıl Ölçüm Yapabiliriz



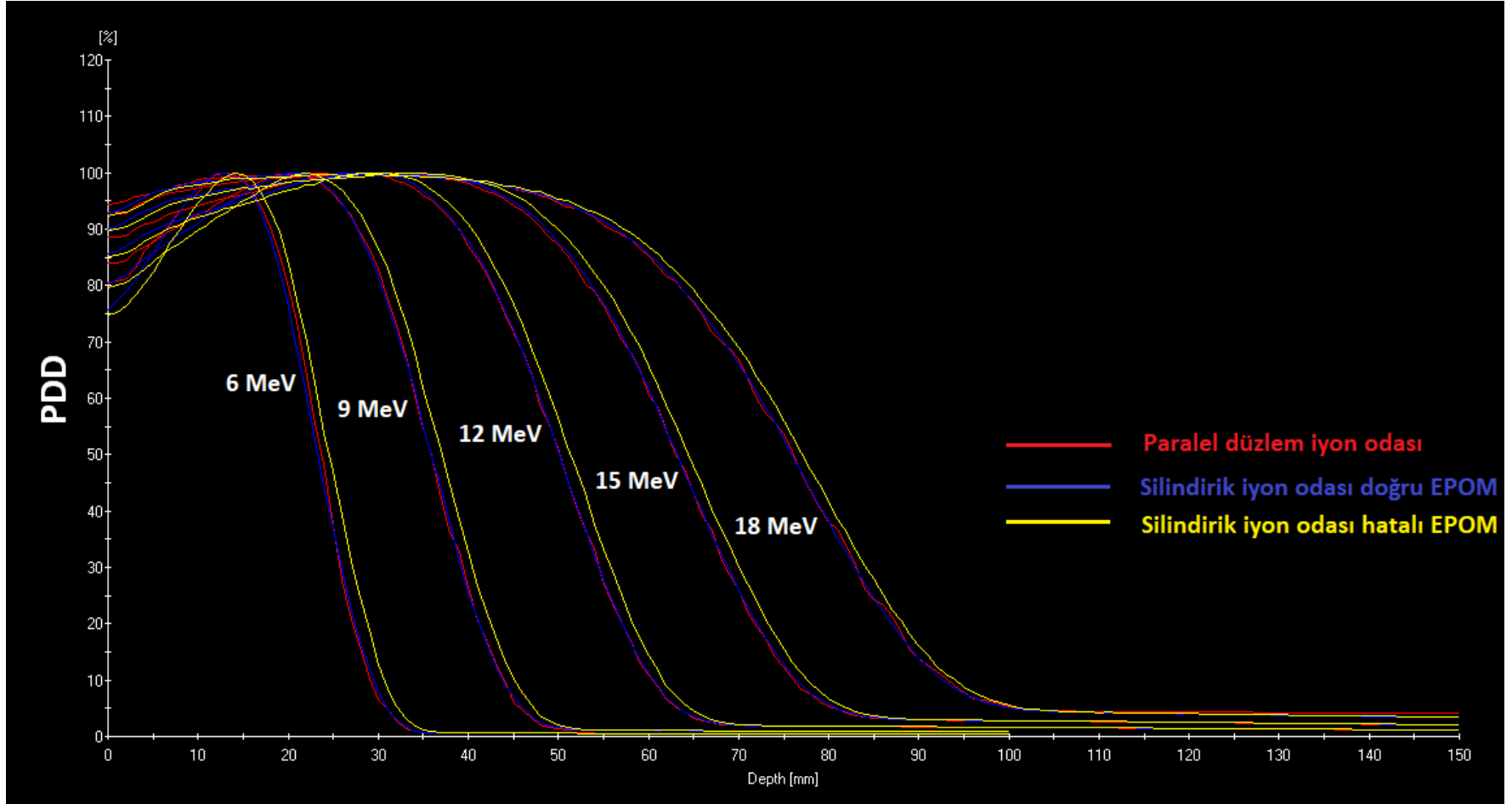
$$M_Q = M_{Q_{pl}} h_{pl}$$

(46)

Note that h_{pl} is depth dependent, being unity at the phantom surface and increasing at larger depths. The values of h_{pl} given in Table 23 are applicable in the region around z_{max} to z_{ref} .

Su Fantomu Ölçümler ve Sonuçları

PDD



Su Fantomu Ölçümler ve Sonuçları

R_{50}

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Paralel Düzlem	2.38 cm	3.60 cm	5.02 cm	6.31 cm	7.61 cm
Silindirik	2.33 cm	3.59 cm	5.02 cm	6.33 cm	7.59 cm
Silindirik Hatalı EPOM*	2.46 cm	3.72 cm	5.14 cm	6.45 cm	7.71 cm

Tablo:3 Farklı iyon odası tipleri için R_{50} değerleri

**EPOM: Effective Point of Measurement*

Su Fantomu Ölçümler ve Sonuçları

Z_{ref}

Enerji	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Paralel Düzlem	1.33 cm	2.06 cm	2.91 cm	3.69 cm	4.47 cm
Silindirik	1.30 cm	2.05 cm	2.91 cm	3.70 cm	4.45 cm
Silindirik Hatalı EPOM*	1.38 cm	2.13 cm	2.98 cm	3.77 cm	4.53 cm

Tablo:4 Farklı iyon odası tipleri için Z_{ref} değerleri

* EPOM: Effective Point of Measurement

Su Fantomu VS Plastik Fantom

Mutlak Doz

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV	18 MeV
Su Fantomunda Silindirik Doğru EPOM	1,014	1,005	0,990	0,986	0,987
Su Fantomunda Silindirik EPOM 1.1 mm hatalı	1,016	1,005	0,988	0,989	0,988
Su Fantomunda Paralel Düzlem Co-60 Kalibrasyonlu	1,016	1,009	0,998	0,998	0,994
Su Fantomunda Paralel Düzlem Çapraz Kalibrasyonlu	1,011	1,003	0,992	0,992	0,989
Katı Fantomda Paralel Düzlem Co-60 Kalibrasyonlu	1,013	0,999	0,984	0,984	0,978
Katı Fantomunda Paralel Düzlem Çapraz Kalibrasyonlu	1,008	0,994	0,979	0,979	0,972

Tablo:5 Farklı fantom tipleri için mutlak doz değerleri

Özet

- ▶ Homojen su fantomu ve paralel düzlem iyon odası kullanarak ölçüm sistemini kolaylaştırabilir ve herhangi bir kısıtlamaya maruz kalmadan en doğru ölçümleri yapabilirsiniz
- ▶ Kullanılan ekipmanların sahip olduğu özelliklerin iyi bilinmesi ölçüm düzeneği ve hesaplamalarında büyük kolaylık sağlayacaktır
- ▶ Homojen su fantomunda ölçüm alınırken dijital termometre ile suyun sıcaklığı hesaba katılırken; plastik fantomda ölçüm alınırken oda hava sıcaklığının hesaba katılması ölçüm doğruluğunu artıracaktır
- ▶ TRS-398 i kılavuz edinerek bu bilgileri defalarca deneysel gerçekleştirmek ölçüm sırasında hata yapma olasılığını azaltacaktır

**KUSURSUZ ÖLÇÜM YOKTUR,
ANCAK KUSURSUZ ÖLÇÜM İÇİN
ÇABALAMAK HATAYI EN AZA
İNDİRECEKTİR**



TEŞEKKÜRLER

